

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
-Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau-

---

**Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung  
und Stickstoff-Bilanz von Silomais in Monokultur sowie einer  
Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands**

Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades  
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. agr. Karen Christine Volkers**

aus Heide

Dekan: Prof. Dr. S. Wolffram

1. Berichterstatter: Prof. Dr. F. Taube

2. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Susenbeth

Tag der mündlichen Prüfung: 04. November 2004

Kiel 2004

---

Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; Heft 40, 2005

ISSN: 1435-2613

---

Gedruckt mit der Genehmigung  
des Dekans der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

---

gewidmet

meinem Mann Holger und unseren Kindern Insa Mette und Mika Ben

meinen Eltern Hans und Anke



<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy</b> Karen Volkers, M. Wachendorf, R. Loges, N.J. Jovanovic und F. Taube	<b>5</b>
<b>3. Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität und Untersaat auf Leistung und Stickstoff-Bilanz von Silomais in Monokultur</b>	<b>19</b>
<b>4. Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung und Stickstoff-Bilanz einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge</b>	<b>73</b>
<b>5. Zusammenfassende Diskussion</b>	<b>165</b>
<b>5.1</b> Optimale N-Intensität der Grundfutterproduktion für Geeststandorte Schleswig-Holsteins	166
<b>5.2</b> Reduzierung der N-Bilanzüberschüsse	169
<b>5.3</b> Auswirkungen einer reduzierten N-Düngungsintensität auf ausgewählte Futterqualitätsparameter	173
<b>5.4</b> Praktische Implikationen der Versuchsergebnisse für die Milchvieh-/Futterbaubetriebe Schleswig-Holsteins	176
<b>5.5</b> Literaturverzeichnis für Einleitung und zusammenfassende Diskussion	178
<b>5.6</b> Anhang	183
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>187</b>
<b>7. Summary</b>	<b>190</b>

## Abbildungsverzeichnis

### Kapitel 2

- Figure 1: Relationship for samples of maize validation between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted values of crude protein (CP) and net energy for lactation (NEL) contents. 11
- Figure 2: Relationship for maize fractions between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted crude protein values (CP). 14
- Figure 3: Relationship for various maize fractions between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted net energy for lactation values (NEL). 15

### Kapitel 3

- Abb. 1: Temperatur-, Niederschlags- und Strahlungswerte jeweils von Januar bis Dezember in Dekaden des Versuchszeitraumes 1998 bis 2001 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1980-1999). 27
- Abb. 2: Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der organischen Biomasse (oberirdisch + Wurzeln) der im Herbst geernteten Untersaat in Abhängigkeit von mineralischer und organischer N-Düngung. 36
- Abb. 3: Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der OM (oberirdisch + Wurzeln) der im Frühjahr geernteten Untersaat in Abhängigkeit der mineralischen und organischen N-Düngung. 38
- Abb. 4: TM-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und die durch Untersaat bedingte Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung. 40
- Abb. 5: Funktional angepasste TM-Erträge des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der vier Versuchsjahre in Abhängigkeit der Güllendüngung und der mineralischen N-Düngung. 41
- Abb. 6: N-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und die durch Untersaat bedingte Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung. 42
- Abb. 7: Funktional angepasste N-Erträge des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der vier Versuchsjahre in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung. 43
- Abb. 8: NEL-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und deren Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung. 44

- Abb. 9: Funktional angepasste NEL-Erträge des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der vier Versuchsjahre in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung. 45
- Abb. 10: Einfluss der Gülle- und mineralischen N-Düngung auf den N-Saldo des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der Versuchsjahre. 46
- Abb. 11: Scheinbare N-Ausnutzung (ANR %) der Produktionssysteme (PS) Mais ohne und mit Untersaat (US) bei mineralischer N-Düngung in Abhängigkeit der Versuchsjahre 1 bis 4. 47

#### Kapitel 4

- Abb. 1: N-Flüsse im herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem Grünland und Silomais in Monokultur in Schleswig-Holstein und in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge. 82
- Abb. 2: Temperatur, - Niederschlags- und Strahlungswerte jeweils von Januar bis Dezember in Dekaden des Versuchszeitraumes 2000 bis 2002 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1980-1999). 85
- Abb.3: Weißklee Ertragsanteil im Durchschnitt des 1. - 4. Auswuchses und N<sub>2</sub>-Fixierung in Abhängigkeit der N-Düngung und N-Zufuhr (Mineral-, Gülle-, Deposition-, Exkrement- und Weiderest-N) im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 99
- Abb. 4: Netto TM-Ertrag des Kleeegrases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 100
- Abb. 5: Netto N-Ertrag und RP-Gehalt des Kleeegrases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 101
- Abb. 6: Netto NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Kleeegrases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 101
- Abb. 7: N-Saldo des Kleeegrases in Abhängigkeit des N-Inputs im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 102
- Abb. 8: RP-Gehalt und N-Ertrag der organischen Masse des 5. Aufwuchses des Kleeegrases in Abhängigkeit der N-Düngung zu Vegetationsende im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 103
- Abb. 9: OM-, N-Ertrag und N-Gehalt der organischen Masse (OM) des Kleeegrases im Frühjahr vor Umbruch im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 104
- Abb. 10: TM-Ertrag des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 104

- Abb. 11: N-Ertrag und RP-Gehalt des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 105
- Abb. 12: NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 105
- Abb. 13: N-Saldo des Silomaises in Abhängigkeit des N-Input im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 106
- Abb. 14: Korn- und Stroh-Ertrag der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 107
- Abb. 15: N-Ertrag und RP-Gehalt des Korn, Strohs und der Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2000. 107
- Abb. 16: NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Korn, Strohs und Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 108
- Abb. 17: N-Saldo der Triticale (Korn und Stroh) in Abhängigkeit des N-Inputs im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 108
- Abb. 18: N- und NEL-Ertrag der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras – Silomais - Triticale) in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 109
- Abb. 19: NEL- und RP-Gehalt der einzelnen Kulturarten der Ackerfutterbau-/Fruchtfolge sowie im Mittel der Fruchtfolgeglieder in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 110
- Abb. 20: N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras – Silomais - Triticale) in Abhängigkeit des N-Input im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002. 110
- Abb. 21: N-Ertrag der Kulturarten der Fruchtfolge im Vergleich zur Mähweide II und Mais-Monokultur im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei pflanzenbaulichen N-Intensitäten (extensiv, reduziert, hoch). 114
- Abb. 22: NEL-Ertrag der Kulturarten der Fruchtfolge im Vergleich zur Mähweide II und Mais-Monokultur im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei pflanzenbaulichen N-Intensitäten (extensiv, reduziert, hoch). 115
- Abb. 23: N-Ertrag und NEL-Ertrag der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zum Futterbau-System Mähweide II/Mais-Monokultur (Flächenverteilung: 70 % Mähweide II, 30 % Mais-Monokultur) im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei N-Intensitäten der pflanzlichen Produktion (extensiv: **E**, reduziert: **R**, hoch: **H**). 118



- Abb. 24 N-Saldo des Kleegrases der Ackerfutterbau-Fruchtfolge laut 119  
Düngeverordnung (DVO) und unter Berücksichtigung der N<sub>2</sub>-Fixierung  
und des Exkrement-N.
- Abb. 25 N-Saldo des Silomaises der Ackerfutterbau-Fruchtfolge ohne und mit 119  
Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus den Klee gras-Residuen.
- Abb. 26: N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zum Futterbau- 120  
System Mähweide II/Mais-Monokultur (Flächenverteilung: 70 %  
Mähweide II, 30 % Mais-Monokultur) im „N-Projekt Karkendamm“ in  
Abhängigkeit der drei N-Intensitäten der pflanzlichen Produktion  
(extensiv: **E**, reduziert: **R**, hoch: **H**)

## Kapitel 5

- Abb. 1: Nettoenergie-Ertrag der Kulturarten überjähriges Klee gras, Silomais und 158  
Ganzpflanze der Triticale, angebaut in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge  
(FF) sowie des Silomaises ohne Untersaat in Monokultur (M) und  
Mähweide II des Dauergrünlandes (DG) bei variiert er N-Düngung auf  
humos-sandigen Böden Schleswig-Holsteins sowie die Energie-Erträge der  
Praxisbetriebe der Geest für Gras- und Maissilage sowie Sommergersten-  
Ganzpflanzensilage.
- Abb. 2: TM-Ertrag in Abhängigkeit der N-Düngung (Gülle + Mineral) (I), N- 163  
Verwertungseffizienz (II), N-Saldo in Abhängigkeit der N-Düngung (III)  
und N-Saldo in Abhängigkeit des N-Ertrags (IV) für die Kulturarten Mais  
in Monokulturanbau, Klee gras, Silomais und Ganzpflanze der Triticale der  
Ackerfutterbau-Fruchtfolge (FF) sowie der Mähweide II des  
Dauergrünlandes (DG) (Regressionsfunktionen siehe Anhang A1 ff).
- Abb. 3: Energie- und RP-Gehalt des Silomaises in Monokultur (M), der 166  
Kulturarten Silomais, Klee gras und Ganzpflanzensilage (GPS) der  
Triticale der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (FF) sowie der Mähweide II des  
Dauergrünlandversuches (DG) (TROT, 2003) in Abhängigkeit der N-  
Düngung.

## Tabellenverzeichnis

### Kapitel 2

Table 1:	Statistics of the calibration of maize for crude protein and net energy for lactation for four years including the sample number (n), the range and mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ), the standard error of calibration (SEC), standard error of cross validation (SECV), standard deviation of the laboratory determined values (SD) and the variation coefficients (CV).	10
Table 2:	Statistics of the validation of maize for crude protein and net energy for lactation for three years including the sample number (n), the range, the mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of prediction (SEP).	12
Table 3:	Statistics of the prediction for maize fractions in the validation sets 1998-2000 for crude protein and net energy for lactation including sample number (n), the range, the mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of prediction (SEP). The equation used comprised information of all years.	12

### Kapitel 3

Tab. 1:	Horizontabfolge und Bodenkenndaten der Versuchsfläche von Silomais (SCHOLZ, 1999)	26
Tab. 2:	Ergebnisse der Bodenuntersuchung (Standardmethoden nach VDLUFA, Ø aus Analysen in den Jahren 1998 und 1999)	27
Tab. 3:	Versuchsfaktoren und Faktorstufen des Versuchs.	28
Tab. 4:	Die Zusammensetzung der Rindergülle (VDLUFA-Untersuchungsergebnisse) und die daraus resultierenden Gülle N-Mengen in den Versuchsjahren.	28
Tab. 5:	Die produktions- u. beprobungstechnischen Daten des Silomaisversuches (1998 bis 2001)	30
Tab. 6:	N-Bilanzgrößen für die Feldbilanz	32
Tab. 7:	Einfluss der Gülledüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktion G*N auf den Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der gesamten organischen Biomasse (oberirdisch und Wurzeln) der im Herbst geernteten Deutschen Weidelgras Untersaat der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Versuchsjahre.	35

Tab. 8:	Einfluss der Gülle (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktion G*N auf den Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der gesamten OM (oberirdisch und Wurzeln) der im Frühjahr geernteten Deutschen Weidelgras Untersaat der Versuchsjahre 1999 bis 2002 und im Mittel der Versuchsjahre.	37
Tab. 9:	Varianzanalyse für den TM-Ertrag des Silomaises [dt ha <sup>-1</sup> ] unter Einfluss der Untersaat (US), Gülldüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und den Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	39
Tab. 10:	Varianzanalyse für den N-Ertrag des Silomaises [kg ha <sup>-1</sup> ] unter Einfluss der Untersaat (US), Gülldüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und deren Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	41
Tab. 11:	Varianzanalyse für den NEL-Ertrag des Silomaises [GJ ha <sup>-1</sup> ] unter Einfluss der Untersaat (US), Gülldüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und den Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	43
Tab. 12:	Varianzanalyse für den N-Saldo des Silomaises [kg N ha <sup>-1</sup> ] unter Einfluss der Untersaat (US), Gülldüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	45
Tab. 13:	Varianzanalyse der scheinbaren N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der Produktionssysteme Mais ohne/mit Untersaat und der mineralischen N-Düngung für die Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	46
Tab. 14:	Varianzanalyse der scheinbaren N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der Produktionssysteme Mais ohne/mit Untersaat und der Gülldüngung der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.	47

#### **Kapitel 4**

Tab. 1:	Versuchsfaktoren und Faktorstufen des Versuchs.	86
Tab. 2:	Produktionstechnik Klee gras in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002.	87
Tab. 3:	Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgeglied des Klee gras in den Versuchsjahren 2000 -2002 für die drei Futterbau N-Intensitäten.	88
Tab. 4:	Produktionstechnik Silomais in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002.	89

---

Tab. 5:	Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgeglieders Silomais in den Versuchsjahren 2000-2002 für die drei Futterbau N-Intensitäten.	90
Tab. 6:	Produktionstechnik Triticale in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002.	91
Tab. 7:	Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgeglieders Triticale in den Versuchsjahren 2000-2002 für die drei Futterbau N-Intensitäten.	92
Tab. 8:	N-Düngung der drei N-Intensitäten in der Futterbau-Fruchtfolge im Mittel der Versuchsjahre.	92
Tab. 9:	Schema für die N-Flächenbilanz.	97
Tab. 10:	Regression der Weißklee-Ertragsanteile (y; % der TM) des 1.- 4. Auswuchses im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002 in Abhängigkeit von der N-Düngung (x).	100

## Abkürzungsverzeichnis

ANR	Scheinbare N-Ausnutzung
BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und <i>Chemische Industrie</i>
C	Carbon/ elementarer Kohlenstoff
CDOMD	cellulase digestible organic matter of the dry matter
CP	crude protein content
CV	Coefficient of variation
CV <sub>M</sub>	Coefficient of variation referred to the mean
CV <sub>SD</sub>	Coefficient of variation referred to the standard deviation
DG	Dauergrünland
DM	Dry matter
DOMD	Digestible organic matter of the dry matter
Dt	Dezitonne
DW	Deutsches Weidelgras
E	extensive N-Düngungsintensität der Ackerfutterbau-Fruchtfolge
EA	Ertragsanteil
EC	Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien von Pflanzen
Elos	<i>Enzymlösliche Organische Substanz</i>
Eulos	<i>Enzymunlösliche Organische Substanz</i>
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FF	Ackerfutterbau-Fruchtfolge
FM	Frischmasse
G	Glühverlust
g	Gramm
GJ	Gigajoule
GLM	General linear model
GP	Ganzpflanze
GV	Großvieheinheiten
H	Hohe N-Düngungsintensität der Ackerfutterbau-Fruchtfolge
H	Mahalanobis-distance
Ha	Hektar
IOM	Insoluble organic matter
ISI	Infrasoft International <sup>®</sup>
K	Kalium
k.A.	keine Angaben
Kg	Kilogramm
L	Liter
LSMEANS	Least Square Means
M	Monokultur
M	Mean
m	Meter
ME	metabolizable energy / Metabolische Energie
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
m. US	mit Untersaat
MJ	Megajoule
MPLS	Modified partial least-squares method
MW II	Mähweide II
N	Nitrogen / Stickstoff

---

NEL	Net energy for lactation content / Netto-Energie-Laktation
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NIRS	Near-infrared reflectance spectroscopy/Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NN	Normalnull
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NS	Nicht signifikant
OM	Organic matter/ Organische Masse
Om <sub>cu</sub>	cellulaseunlösliche organische Masse
o. US	Ohne Untersaat
P	Phosphor
p	Wahrscheinlichkeit
PS	Produktionssystem
R	Reflectance
R	Reduzierte N-Düngungsintensität der Ackerfutterbau-Fruchtfolge
RE	Retinierte Energie
R <sup>2</sup>	Coefficient of determination/Bestimmtheitsmaß
RP	Rohprotein
RSD	Root square deviation
S.E.	Standard error/Standard Fehler
SD	Standard deviation of the laboratory determined values
SEC	Standard error of calibration
SECV	Standard error of cross validation
SEP	Standard error of prediction
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
US	Untersaat
VDLUFA	Verband <i>der</i> landwirtschaftlichen <i>Untersuchungs-</i> und <i>Forschungsanstalten</i>
WW	Welsches Weidelgras
XA	Rohasche
XP	Rohprotein
%	Prozent

## **Kapitel 1**

### **Einleitung**

## 1. Einleitung

In Schleswig-Holstein nimmt die Futterfläche zur Erzeugung von Grundfutter für Kühe und Rindermast gemessen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche den höchsten Anteil ein (ANONYMUS, 2003 b). Die Betriebe mit Milchviehhaltung bzw. Bullenmast konzentrieren sich auf die Vorgeest bzw. hohe Geest, einen Landschaftsraum mit vorwiegend sandigen, sorptionsschwachen Böden eiszeitlichen Ursprungs. Auf den fruchtbaren Standorten des östlichen Hügellandes und der Marschen konzentrieren sich dagegen Ackerbaubetriebe.

Im Produktionsprozess Milch als auch Fleisch werden auf den Milchvieh-/Futterbaubetrieben nur verhältnismäßig geringe N-Verwertungseffizienzen erreicht, woraus unausgeglichene Nährstoffbilanzsalden resultieren (ANONYMUS, 2001). Da in Schleswig-Holstein das Trinkwasser zu 100 % aus dem Grundwasser gewonnen wird und die Grundwasserneubildung über die Versickerung der Niederschläge auf der Fläche erfolgt (HOLTHUSEN, 2001), kommt der futterbaulichen Nutzung und der Stickstoff-Intensität im Hinblick auf die Trinkwasserqualität eine besondere Bedeutung zu. Die Grundfutterproduktion der Milchvieh-/Futterbaubetriebe in Schleswig-Holstein erfolgt hauptsächlich in Form der Weide- bzw. Mähweidenutzung und durch den Anbau von Mais in Monokultur. Dabei wurde der Anbau von Mais und damit verbunden der Umbruch von Grünland im erheblichen Maße ausgedehnt, nicht nur, weil der Silomais ein sehr hohes Ertragspotential und eine hohe Futterqualität aufweist, sondern auch, weil mit dem Silomaisanbau eine flächenbezogene Ausgleichszahlung erfolgte und damit die erzeugte Energieeinheit im Gegensatz zum Grünland sehr kostengünstig erzeugt wurde. Dagegen werden zukünftig zum einen die Zahlungen von der Fläche entkoppelt und zum anderen erhält auch das Grünland eine Ausgleichszahlung.

Zwei Punkte werden für die zukünftige Entwicklung der Milchvieh-/Futterbaubetriebe wesentlich sein:

- Seit 1996 sind auf den landwirtschaftlichen Betrieben Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphor und Kali entweder auf Hoftor- oder auf Feldbasis vorgeschrieben (ANONYMUS, 1996). In den letzten zehn Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass auf den Milchvieh-/Futterbaubetrieben nach wie vor ein verhältnismäßig hoher Bilanzüberschuss für Stickstoff zu verzeichnen ist. Mit der in 2005/2006 überarbeiteten **Düngeverordnung** wird es zu einer Verschärfung in der Bewertung der Nährstoffbilanzsalden kommen (ANONYMUS, 2004). So wird z. B. eine vom Tierbesatz abhängige Obergrenze für Stickstoff diskutiert. Dementsprechend sind die landwirtschaftlichen Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland in Zukunft definitiv gefordert, ihren betrieblichen Einsatz von Düngemitteln genauestens dem Bedarf der Pflanzen anzupassen bzw. die N-Verwertung zu steigern, gegebenenfalls die Futterflächennutzung oder Viehdichte neu abzustimmen.
- Ein wesentlicher Eckpunkt der in 2003 beschlossenen EU-Agrarreform ist die Neugestaltung des Systems der Direktzahlungen durch die Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion. Zugleich wird die Gewährung der einzelbetrieblichen Zahlungen von der Einhaltung einer Reihe gesetzlicher Standards in den Bereichen Umweltschutz, Lebensmittelsicherheit, Pflanzenschutz, Tiergesundheit sowie Tierschutz abhängig gemacht. Dieses als Cross Compliance bezeichnete Prinzip würde dann auch zu einer Förderungsmöglichkeit für reines Grünland führen, was bisher nicht möglich war. Andererseits sind damit auch **Modulationsmaßnahmen** inbegriffen. Diese wurden erstmalig in Schleswig-Holstein im Jahr 2003 angeboten und umfassten u.a. Maßnahmen zum Zwischenfruchtanbau und zur Winterbegrünung.

In Schleswig-Holstein wurde im Jahr 2002 13,2 % der Ackerfutterfläche mit Silomais bestellt, davon lagen 60 % auf der Geest (ANONYMUS, 2003 b). Die mit dem Silomaisanbau, vor allem auf sorptionsschwachen Böden, einhergehenden negativen Entwicklungen, wie der vertikalen



N-Verluste, würden gerade durch Maßnahmen des Futterbaus speziell des Zwischenfrucht- bzw. Untersaatenbaus wesentlich vermindert werden. Darüber hinaus trägt der Untersaatenbau wesentlich zur Verbesserung der Humusbilanz im Maisanbau in Monokultur bei.

Die Milchvieh-/Futterbaubetriebe werden in Zukunft aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht gefordert sein, ihre pflanzliche Produktion gerade in Bezug auf die Umweltstandards genauestens zu überprüfen, damit sie im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“ laut Düngeverordnung und aller anderen umweltrelevanten Verordnungen und Richtlinien wie dem Bodenschutzgesetz oder der Wasserrahmenrichtlinie wirtschaften und ihr Einkommen sicherstellen. Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 1997 ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das „**N-Projekt Karkendamm**“, initiiert. In diesem Projekt sollte in einem systemanalytischen Ansatz geprüft werden, inwieweit die N-Verwertungseffizienz im Produktionsprozess Milch durch Maßnahmen des Pflanzenbaus, der Tierhaltung, der Tierzucht und des Managements verbessert werden kann.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet Teilprojekte zu Maßnahmen des Pflanzenbaus und widmet sich im 3. Kapitel der N-Problematik im Silomaisanbau in Monokultur unter besonderer Berücksichtigung der N-Düngungsintensität und dem Anbau einer Untersaat mit Deutschem Weidelgras.

Ein zweites Teilprojekt (Kapitel 4), bestehend aus einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras – Silomais – Triticale), wurde angelegt, um erste Ergebnisse über Leistungsfähigkeit und N-Effizienz einer Futterbau-Fruchtfolge bei unterschiedlicher N-Düngungsintensität zu erhalten.

Im 2. Kapitel wurden Silomaisproben aus diesen beiden eben beschriebenen Teilprojekten herangezogen, um geeignete Kalibrationen für vegetatives und generatives Silomaismaterial im Zuwachsverlauf (Stängel, Blätter, Kolben und Ganzpflanze mit und ohne Kolben) für die Energie- und Rohproteinschätzung mittels der Nah-Infrarot- Reflexions-Spektroskopie zu entwickeln.



## **Kapitel 2**

### **Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy**

K.C. Volkers\*, M. Wachendorf, R. Loges, N.J. Jovanovic, F. Taube

*Institute of Crop Science and Plant Breeding - Grass and Forage Science/Organic*

*Agriculture, Christian-Albrechts-University, 24098 Kiel, Germany*

## Abstract

The aim of this work was to assess the ability of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to be a rapid and reliable method for estimating quality variables for forage maize with an extremely wide range of maturity and growth stage, as it occurs e.g. in experiments dealing with growth analysis. For maximum variability samples for analysis were collected over four years from field trials which comprised a wide range of nitrogen (N) fertiliser (0 to 150 kg N ha<sup>-1</sup>) and slurry application (0, 20, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) treatments, but one maize variety named Naxos. Phenological variability was obtained by sampling in intervals of fourteen days during growth of maize. A total of 6296 samples was collected and 398 samples were selected to calibrate estimated net energy and crude protein contents and validate the equations derived. To increase accuracy separate calibrations were developed for reproductive and vegetative fractions of maize. For both groups NIRS equations were scrutinized by a set of validation samples which were selected from the same sample pool before the samples for calibration were chosen. Predictions of crude protein and net energy contents over a wide range of plant maturity showed satisfactory accuracy. Standard error of prediction was below 0.3 MJ NEL kg DM<sup>-1</sup> for energy value and below 123 g kg<sup>-1</sup> of dry matter (DM) for crude protein. In the course of four years the number of necessary samples to be included in the calibration decreased to between 2.6 and 15 % of sample number in the first year and the validity of the equation increased.

*Keywords:* Near-infrared Reflectance Spectroscopy; Forage Quality; Net Energy; Crude Protein; Forage maize

## 1. Introduction

The quality control of agricultural products is an important field of interest in agricultural research and advisory work. A major advantage of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) is its ability to analyse samples without chemical treatments, hence costs sample material (Barber et al., 1990) and chemical wastes can be reduced. Furthermore NIRS has less variance in analyses of the same sample than laboratory analyses (Marum and Aastveit, 1990). For over thirty years NIRS has been used and is now widely accepted as a common method for analysing forage quality and other feedstuffs for most organic and, in part, for some mineral constituents that can be quantified with an adequate range of concentration in a calibration set of samples (Shenk et al., 1979; Wulfes et al., 1996). There are studies about predicting complex biological properties as for example the legume content in legume-grass mixtures (Pitman et al., 1991; Wachendorf et al., 1998) or the grass dry matter intake and digestibility in grazing animals based on analysis of faeces (Decruyenaere et al., 2002). The use of NIRS to predict the quality of forage maize at a mature stage is commonly accepted (Mainka, 1990; Paul et al., 1992). Although the feeding value of maize silage is considered as rather constant, its digestibility and energy content may vary due to growth conditions and genotype (De Boever et al., 1983; Deinum and Struik, 1988; Andrieu et al., 1993). Particularly under less favourable climatic conditions in the northern parts of Europe, where a low temperature sum during the growing season regularly restricts the growth of maize, its quality can vary considerably. Thus, an accurate prediction of the quality is essential to meet the animals' requirements and to avoid nutrient losses to the environment.

In German breeding programmes extensive analysis routines using NIRS are established for mature maize plants (Tillmann, 1999), but there is no information on the accuracy of NIRS for young maize material (P. Tillmann, personal communication). In evaluation trials with the goal to assess the growth pattern of different genotypes and for the parameterization of growth models (Kornher and Nymann, 1992), accurate quality data for a great number of samples from growth studies covering a wide range of plant maturity are essential. The main objective of this study was to determine the accuracy of NIRS for estimating crude protein and net energy contents of whole maize crops and specific morphological fractions of the plant, varying widely in plant maturity, fertilization and climatic conditions.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Field experiments

The maize plants were collected in two field experiments established on the experimental farm Karkendamm of the Faculty of Agricultural and Nutritional Science at the University of Kiel in Northern Germany (53°55'N, 9°55'E, 14 m elevation). At the site sandy soils (Podzol and Gleyic-Podzol) dominate with less than 5 % of clay.

In Experiment 1, maize was grown in monoculture (plot size: 127 m<sup>2</sup>) with four mineral fertiliser levels (0, 50, 100, 150 kg N ha<sup>-1</sup>) and three slurry application rates (0, 20, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Total nitrogen application ranged from 0 to 286 kg ha<sup>-1</sup>. The maize variety Naxos (FAO220) was established with 10 plants m<sup>-2</sup> and half of the plots were undersown with 6 kg ha<sup>-1</sup> perennial ryegrass (variety Fennema). A total of 5424 samples was available in Experiment 1 from 1997 to 2000. Experiment 2 was a crop rotation with clover/grass-swards, maize and triticale (plot size: 157 m<sup>2</sup>). The maize variety Naxos (10 plants m<sup>-2</sup>) was treated with three mineral fertiliser levels (0, 25, 100 kg N ha<sup>-1</sup>) and two slurry levels (0, 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Total nitrogen application ranged from 0 to 185 kg ha<sup>-1</sup>. A total of 767 samples was available in Experiment 2 from the year 2000.

Samples of 10 plants per plot were taken in intervals of fourteen days over the whole growing season from May until October by cutting above the soil surface. Five complete plants were

weighed and cut in 2 cm pieces and a subsample of 200 g was selected to give the whole crop sample for analysis. The other five plants were separated in stems (inclusive panicles), leaves and cobs and subsamples of 150 g were taken for analysis. All subsamples were immediately dried in the laboratory at 65 °C for five days in a forced-air oven to constant weight. After cooling and weighing, the samples were ground in a Cyclotec mill (Tecator) to pass a 1-mm screen.

## 2.2 NIRS analysis

On the background of preliminary measurements, which showed an unsatisfactory accuracy of overall-calibrations (data not shown), calibrations in this study were developed separately for two groups of samples: i) vegetative group including maize plants without cobs from sampling at an early growth stage and the stem- and leave-fractions from the manual separation and ii) reproductive group including maize plants with cobs and the separated cob-fraction. The samples were scanned with a NIR-Systems 5000 monochromator (NIR Systems, Silver Spring, MD, USA) without replicates over a wavelength range of 1100-2498 nm at every 2 nm to give a total of 700 data points. All spectra data were recorded as  $\log 1/R$ , where  $R$  = reflectance. The software for scanning, mathematical processing, calibration and statistical analysis was supplied with the NIR spectrophotometer by Infrasoft International® (ISI, Port Matilda, PA, USA).

Prior to the calibration the samples were checked for erroneous measurements and outliers, as extreme samples influence wavelength selection and coefficient size in the development of calibration equations. This was done using the "Center samples" module of the ISI® software, which allows the definition of a sample population by ranking the spectral data on the basis of the standardized Mahalanobis (H)-Distance. Samples with H values bigger than 3 were not included in the calibration. The optimum equation was obtained using the standard error of cross-validation as the crucial criterion. This error was calculated by an internal validation of 33% of all samples randomly taken by the software routine, which was predicted by an equation based on a calibration with the remaining 67 % of all samples. Parameters in the mathematical processing were sought through trial and error in order to minimize the standard error of cross-validation, giving best results with the mathematical treatment 1, 5, 5, 1, which means 1 = number of derivative of spectra, 5 = extent of gap over which the derivative was to be calculated, 5 = the smoothing of points, 1 = second smoothing, almost never used and normally set as 1. In comparison with other regression methods, the modified partial least-squares (MPLS) method generally gave the best results (Shenk and Westerhaus, 1991). Only terms were included in the equation that had an F statistic of more than 8. In 1998, 1999 and 2000 the calibration set of the previous year was extended by samples of the actual year using the "Library" module provided by Infrasoft International®. The extended calibration was then validated by predicting samples of known composition of the current year. Approximately 30 samples for validation were selected each year prior to the selection of samples for calibration. To ensure that validation samples covered the whole range of chemical characteristics, samples (e.g. each tenth sample in 1999) were selected after ranking the spectral data according to their H distance.

## 2.3 Laboratory and statistical analysis

In vitro organic matter (OM) digestibilities of the selected reference samples were determined according to the technique of De Boever et al. (1986). The procedure involves a preliminary 24-h incubation with pepsin/HCL at 40 °C, followed by 45-min heating at 80 °C and a final 24-h incubation with a commercial cellulase preparation from *Trichoderma viride* (BÖHRINGER, Ingelheim, Germany). Cellulase digestible organic matter of the dry matter (CDOMD), measured by this technique was closely related to the in vivo digestible organic matter of the dry matter (DOMD) of 40 compound feeds (coefficient of determination,  $R^2 =$

0.94; root square deviation, RSD = 1.5), varying between 59 and 90 % (De Boever et al., 1986). The values obtained with the in vitro procedure were used to determine the metabolizable energy (ME, MJ kg DM<sup>-1</sup>) as proposed by Weißbach et al. (1996a):

$$\text{ME} = 14.27 - 0.0147 \text{ ash} - 0.0120 \text{ IOM} + 0.00234 \text{ CP}$$

where ash is ash content (g kg DM<sup>-1</sup>), IOM is enzymatically insoluble organic matter (g kg DM<sup>-1</sup>) and CP is crude protein content (g kg DM<sup>-1</sup>).

Net energy for lactation content (NEL, MJ kg DM<sup>-1</sup>) was calculated following the equation of Weißbach et al. (1996b):

$$\text{NEL} = \text{ME} [0.46 + 12.38 \text{ ME} / (1000 - \text{ash})]$$

with all variables as given above.

The material on which the equations for ME and NEL are based did not include young, unmaturing maize plants. However, it covers whole maize crop-, cob-, stover- and maize silage-samples with a digestibility of organic matter between 0.57 and 0.90 (Weißbach et al., 1996a). Due to the lack of appropriate equations for very young maize material the use of these equations was assumed to provide a reasonable approximation. N was determined in a C (carbohydrate)/N-analyser (elementar, vario Max CN; Hanau, Germany) and N concentrations were multiplied by 6.25 to estimate crude protein content (CP). For wheat crops with a wide range of N content in dry matter from 5 to 50 g kg<sup>-1</sup>, Kjeldahl-N was in line with N contents determined by C/N-analyser (Böhm et al., 1999). However, for unmaturing plants with high levels of N content, C/N determined values were slightly higher than those assessed by Kjeldahl.

Linear regression analysis were performed with the general linear model (GLM) procedure in SAS (SAS Institute, 1996) to examine relationships between values determined in the laboratory and predicted by NIRS. Coefficient of determination (R<sup>2</sup>), standard error (S.E.) and coefficient of variation (CV) were used to describe the accuracy of prediction.

### 3. Results and discussion

In a preceding study in 1997, vegetative maize material including young unmaturing plants was analysed by NIRS using an equation which was developed from samples of the same field experiment but was based on mature maize material including whole crops with cobs older than a phenological stage of BBCH 61 (beginning of flowering) (Meier, 2001). The standard errors of prediction (SEP) for the energy content was 0.53 MJ NEL kg DM<sup>-1</sup> and 23.3 g kg<sup>-1</sup> of DM CP, which are unacceptable compared to the literature (Paul et al., 1992; Mainka, 1990). Because of the low accuracy of predicting the whole material with one equation, separate calibrations for vegetative and reproductive material were developed.

Automatic sample selection in 1997 resulted in 48 vegetative samples for CP and NEL respectively (Table 1). Number of selected samples decreased continuously over the following years, which shows that the actual spectral variation is increasingly covered by the calibration set of the previous years. In 2000 only 7 additional samples (15 % of 1997) were necessary for extension of CP calibration. For reproductive material 2.6 % of the sample number of 1997 was sufficient to cover the spectral variability in 2000. Wulfes et al. (1996) reported similar findings in the prediction of nonstructural carbohydrate contents in grasses and white clover stolons over a number of years.

Table 1: Statistics of the calibration of maize for crude protein and net energy for lactation for four years including the sample number (n), the range and mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ), the standard error of calibration (SEC), standard error of cross validation (SECV), standard deviation of the laboratory determined values (SD) and the variation coefficients (CV).

Year	n <sup>e</sup>	Crude protein (g kg <sup>-1</sup> dry matter)								Net energy (MJ NEL kg <sup>-1</sup> dry matter)							
		Range	MEAN	R <sup>2</sup>	SEC	SECV	SD	CV <sub>M</sub> <sup>a</sup>	CV <sub>SD</sub> <sup>b</sup>	Range	MEAN	R <sup>2</sup>	SEC	SECV	SD	CV <sub>M</sub> <sup>a</sup>	CV <sub>SD</sub> <sup>b</sup>
Vegetative Samples <sup>c</sup>																	
1997	48	23.7-241.2	97.7	0.97	9.30	11.50	54.20	9.52	17.2	3.63-7.32	5.53	0.95	0.20	0.23	0.69	3.54	28.36
1998	62	23.7-312.9	96.8	0.97	10.50	12.60	64.50	10.85	16.3	3.63-7.32	5.63	0.95	0.21	0.24	0.96	3.73	21.78
1999	73	12.0-312.9	97.4	0.99	8.51	11.52	71.00	8.74	12.0	2.92-7.32	5.58	0.96	0.21	0.24	1.04	3.78	20.23
2000	80	12.0-312.9	95.3	0.98	9.24	12.31	69.30	9.70	13.3	2.92-7.32	5.63	0.95	0.23	0.27	1.04	4.09	22.12
Reproductive Samples <sup>d</sup>																	
1997	77	31.1-138.7	67.5	0.98	3.53	4.24	22.32	5.23	15.8	5.37-8.24	6.91	0.95	0.16	0.17	0.69	2.27	22.72
1998	119	31.1-151.7	70.9	0.98	3.86	4.36	25.78	5.44	15.0	4.14-8.24	6.68	0.95	0.22	0.24	0.94	3.23	22.95
1999	132	31.1-151.7	71.9	0.96	4.98	5.37	26.26	6.93	19.0	4.14-8.60	6.69	0.95	0.23	0.26	0.99	3.39	23.02
2000	134	31.1-151.7	71.8	0.96	5.25	5.37	25.97	7.31	20.2	4.14-8.60	6.71	0.96	0.20	0.22	1.00	2.98	20.00

<sup>a</sup>:  $CV_M = (SEC \cdot 100) / MEAN$

<sup>b</sup>:  $CV_{SD} = (SEC \cdot 100) / SD$

<sup>c</sup>: Stems, leaves and whole crop without cobs

<sup>d</sup>: Whole crop with cobs

<sup>e</sup>: Sample number of the year included the previous and the current years



The CP of vegetative samples covered a wide range of 30 % in the DM with the lowest value of 12.0 in the stem fraction and the greatest with 312 g kg<sup>-1</sup> in leaves. Variation in the reproductive material with 31.0 (unfertilized whole crop) to 152.0 g kg<sup>-1</sup> CP (cobs of intensively fertilized plants) is significantly smaller. Standard errors of calibration (SEC) and of cross validation (SECV) in CP calibration for vegetative samples did not differ among years, whereas for reproductive samples there was a slight increase for both parameters over the years. However the calibration statistic for both groups generally showed high values of R<sup>2</sup> between 0.96 and 0.99. The variation of the NEL was smaller (standard deviation: SD<1.04) than for CP with similar ranges for the two groups. The prediction of the NEL values for both groups resulted in very constant statistics over the years with SECV between 0.17 to 0.26 (R<sup>2</sup> ≥ 0.95).

The variation coefficient referred to the Mean (M) ( $CV_M = SEC \times 100 / \text{Mean}$ ) is an appropriate instrument to compare the accuracy of the NIRS prediction between different plant constituents (Hruschka, 1987; Clark et al., 1987). At low levels of variation in the calibration material the variation coefficient referred to the SD of the reference method ( $CV_{SD} = SEC \times 100 / SD$ ) efficiently describes the accuracy of prediction (Murray, 1986). The SEC should be lower than 10 % of the mean (determined by laboratory) (Hruschka, 1987), to be

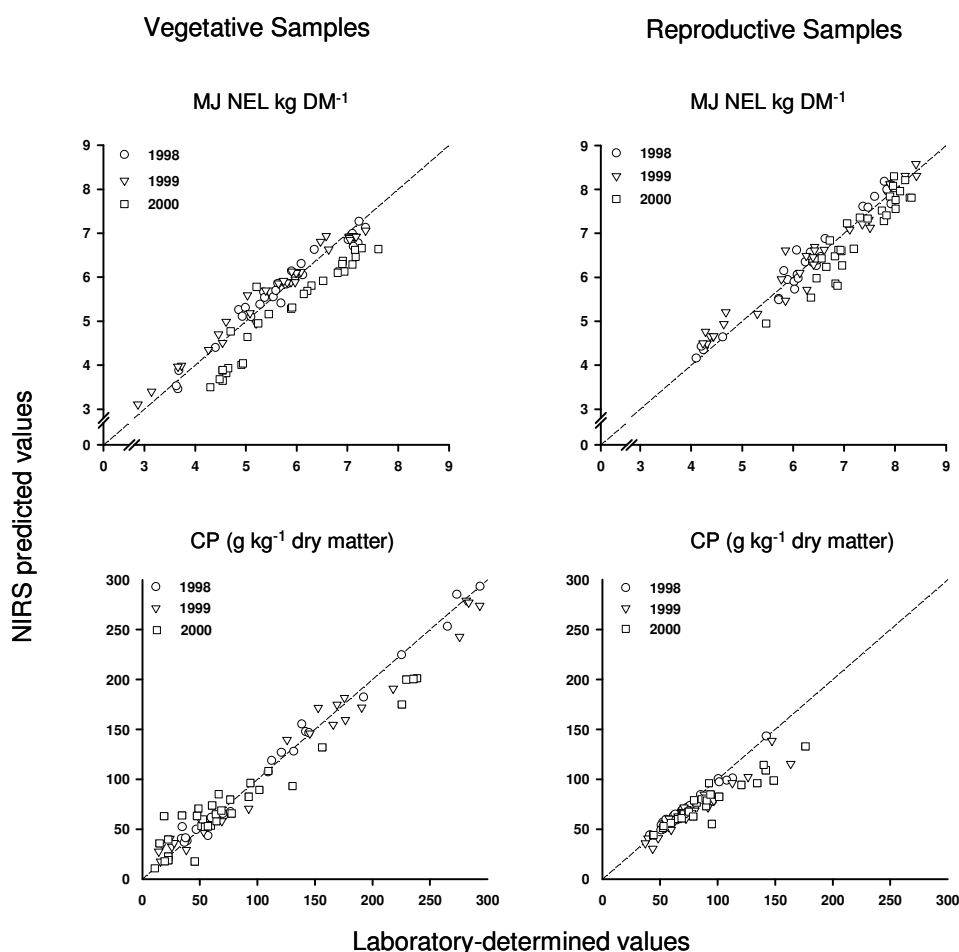


Figure 1: Relationship for samples of maize validation between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted values of crude protein (CP) and net energy for lactation (NEL) contents.

within the margin of the reference method and lower than 30 % of the SD of the reference method (Murray, 1986). Both statistical values are within the margins for crude protein and

energy and the precision with which NIRS predicted the laboratory analyses of the calibration samples agreed well with the results obtained by other authors (Berbarido,1997).

Table 2: Statistics of the validation of maize for crude protein and net energy for lactation for three years including the sample number (n), the range, the mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of prediction (SEP).

Year	n	Crude protein ( $\text{g kg}^{-1}$ dry matter)				Net energy ( $\text{MJ NEL kg}^{-1}$ dry matter)			
		Range	MEAN	$R^2$	SEP	Range	MEAN	$R^2$	SEP
Vegetative Samples <sup>a</sup>									
1998	25	34.0-325.7	148.8	0.99	8.80	3.63 - 7.36	5.75	0.96	0.22
1999	26	14.2-311.0	156.3	0.98	12.20	2.87 - 7.36	5.58	0.97	0.18
2000	31	15.0-238.8	78.4	0.95	12.30	4.3-7.61	5.83	0.92	0.31
Reproductive Samples <sup>b</sup>									
1998	30	41.0-113.2	73.3	0.96	4.20	4.10-7.92	6.27	0.97	0.21
1999	31	37.2-163.5	75.9	0.92	6.70	4.23 - 8.42	6.12	0.96	0.26
2000	26	43.8-148.8	73.2	0.81	6.30	6.46-8.32	7.39	0.88	0.31

<sup>a</sup>: Sample group of whole crop without cobs, leaves and stems

<sup>b</sup>: Sample group of whole crop with cobs and cobs only

The evaluation of the calibration equations against a previously selected sample set (= validation) showed a satisfactory accuracy in all years (Figure 1). Samples for calibration and validation had a similar range of CP, which proves an efficient validation. SEP for CP of vegetative samples ranges from 8.8 (1998) to 12.3 (2000) and for reproductive samples from 4.2 (1998) to 6.7  $\text{g kg}^{-1}$  DM (1999) (Table 2) which corresponds well with the SECV in the calibration. Thus overfitting in the course of calibration could be prevented.

Table 3: Statistics of the prediction for maize fractions in the validation sets 1998-2000 for crude protein and net energy for lactation including sample number (n), the range, the mean of the laboratory data, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of prediction (SEP). The equation used comprised information of all years.

Fraction	Crude protein ( $\text{g kg}^{-1}$ dry matter)					Net energie ( $\text{MJ NEL kg}^{-1}$ dry matter)				
	n	Range	MEAN	$R^2$	SEP	n	Range	MEAN	$R^2$	SEP
Vegetative Samples										
Whole crop <sup>a</sup>	18	37.6-293.5	184.0	0.96	11.30	12	3.66-7.61	6.09	0.93	0.32
Leaves	27	19.6-315.7	159.6	0.97	15.00	24	5.39-7.21	6.26	0.54	0.24
Stems	32	15.7-278.4	75.7	0.95	11.90	30	3.63-7.36	5.31	0.84	0.33
Reproductive Samples										
Whole crop <sup>b</sup>	39	39.4-140.1	68.8	0.86	7.10	39	5.30-7.11	6.38	0.46	0.35
Cobs	30	53.3-176.0	76.9	0.56	15.40	30	7.06-8.42	7.79	0.52	0.27

<sup>a</sup>: without cobs

<sup>b</sup>: with cobs

The prediction of NEL for the validation set showed a close relation between laboratory-determined and NIRS-determined values (Table 2). The SEP varied for the vegetative group from 0.22 to 0.31 MJ NEL kg DM<sup>-1</sup> and for the reproductive material from 0.21 to 0.31 MJ NEL kg DM<sup>-1</sup>. The low level of R<sup>2</sup> for the reproductive group in 2000 may be a result of the relative small range of energy contents in the samples of this year. An automatic selection procedure based on the H distance of samples may not guarantee the maximum range in every case. Thus prior to reference analysis in the laboratory, the level and range of constituent values for actual validation should be checked e.g. by a preliminary equation. However the results obtained in validation were almost identical to those reported for the calibration set and similar to those, found by other authors (Thumm, 1996; Tillmann, 1999).

For research and plant breeding purposes, it may be interesting to investigate how accurate NIRS can predict forage quality of specific morphological fractions of the maize plant. On this account samples of leaves, stems and cobs were separated from the overall calibration set and predicted by the most refined NIRS equations from year 2000 (Table 3). Though prediction for CP of cobs shows a relative small R<sup>2</sup> value, the SEP is far lower than those from leaves and stems (Figure 2). The same holds for NEL of leaves and cobs compared to stem samples (Figure 3). For most constituents the slope of the regression is somewhat lower than 1. In case of CP of cobs and NEL of leaves with both variables covering a relatively small range of values this is particularly the case. While at high levels of CP and NEL the accuracy of the equations was not satisfactory, the agreement between observed and predicted values was better at low and medium values.

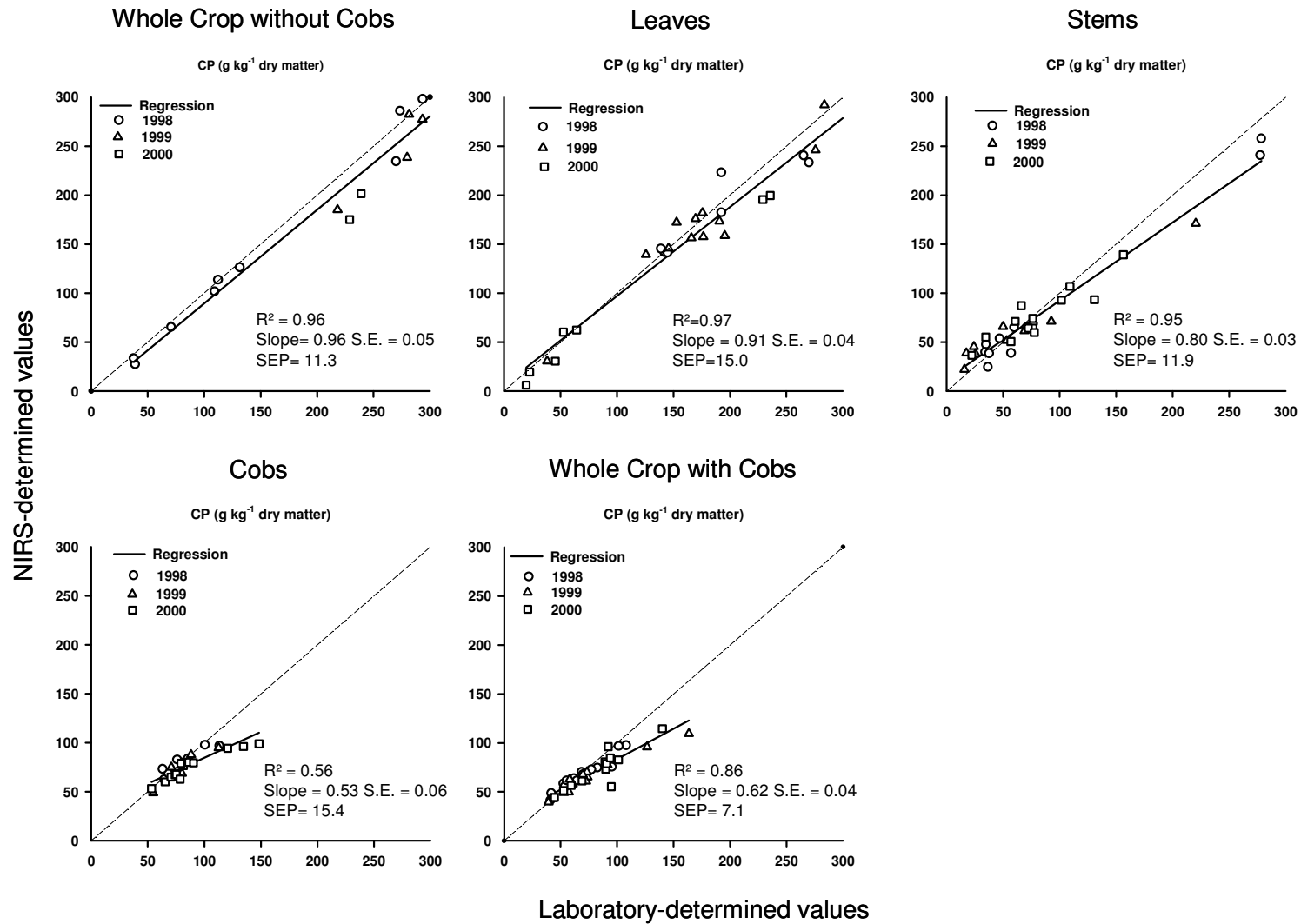


Figure 2: Relationship for maize fractions between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted crude protein values (CP).

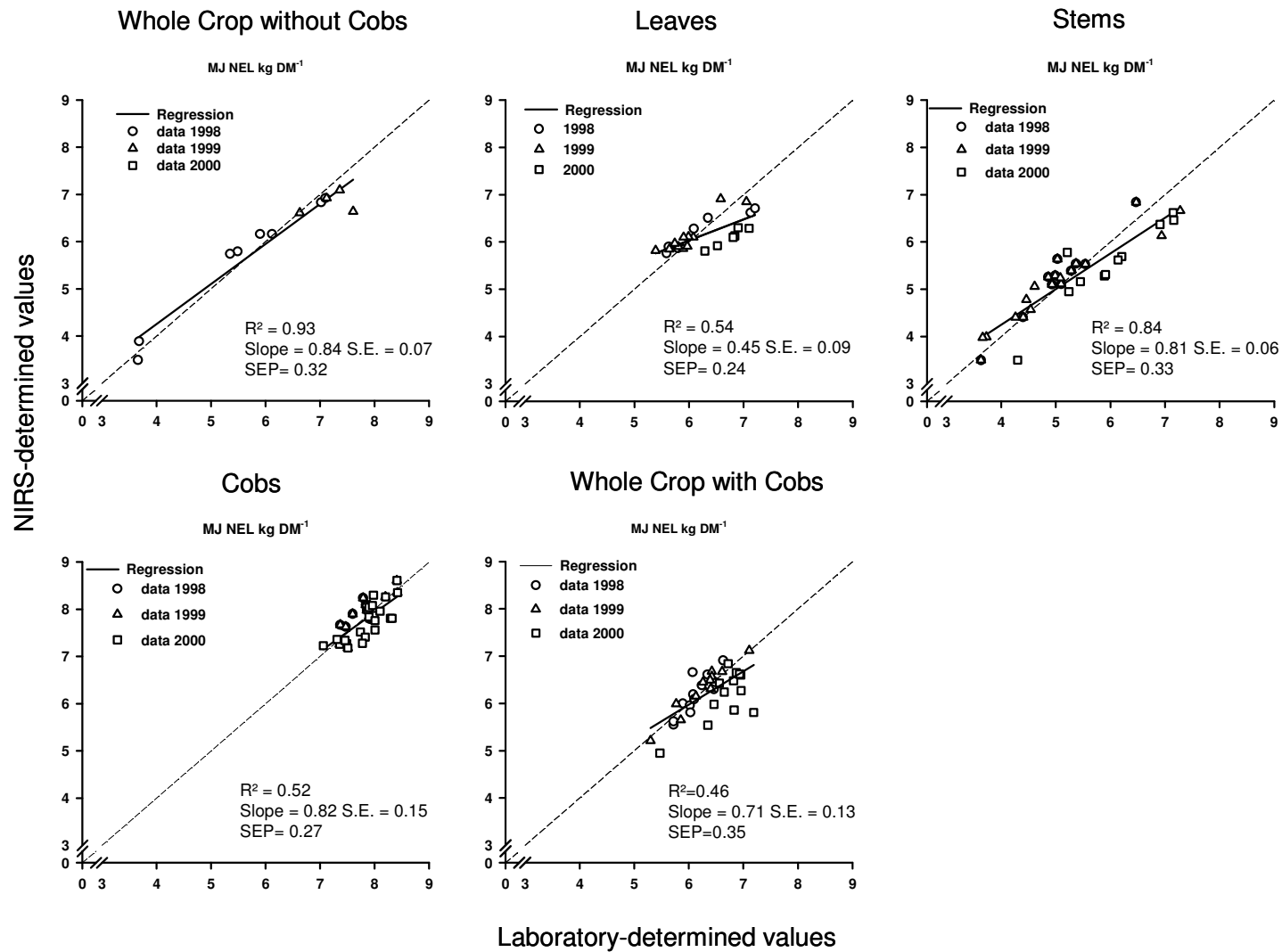


Figure 3: Relationship for various maize fractions between laboratory-determined and near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) predicted net energy for lactation values (NEL).

## 4. Conclusions

Over four years maize samples were collected in a field experiment which comprised a wide range of nitrogen fertiliser and slurry application treatments. Phenological variability was obtained by sampling in intervals of fourteen days during growth of maize. Calibrations were developed for net energy and crude protein contents and validation was performed on previously selected samples. To increase accuracy separate calibrations were developed for vegetative and reproductive fractions of maize. Prediction by NIRS of crude protein and net energy contents for maize fractions of different physiological maturity gave acceptable accuracy at low to medium levels, but NIRS consistently underpredicted at high levels of crude protein and net energy contents. Future extension of the dataset with material from other maize genotypes will help to overcome the present limitations. Over time the number of necessary samples to be included in the calibration decreased and the validity of predictions increased.

### *Acknowledgements:*

The authors thank K. Makoben, G. Schnack, H. Stoltenberg and M. Krumbholz for their technical assistance. We are very grateful to Prof. Dr. K.-H. Südekum for discussions, advice and valuable comments on the manuscript. This study was part of an integrated research project, supported by the Ministry of Environment, Nature and Forest of the region Schleswig-Holstein and by the foundation "Schleswig-Holsteinische Landschaft", which we gratefully acknowledge.

## References

- Andrieu, J., Demarquilly, P., Barrière, Y., Lila, M., Maupetit, P., Rivière, F., Femenias, N., 1993. Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. I. Factors of variation. *Ann. Zootech.*, 42, 221-249.
- Barber, G.D., Givens, D.I., Kridis, M.S., Offer, N.W., Murray, I., 1990. Prediction of organic matter digestibility of grass silage. *Anim. Feed Sc. Technol.*, 28, 115-128.
- Berbardo, N. 1997. Prediction of the chemical composition of white clover by near-infrared reflectance spectroscopy. *Grass Forage Sc.*, 52, 27-32.
- Böhm, H., Loges, R. and Taube, F., 1999. Vergleich der N-Bestimmung mit den Methoden Kjeldahl und Elementaranalyse sowie der Schätzgenauigkeit mittels NIRS. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 12, 189-190.
- De Boever, J.L., Nuyts, J., De Brabander, D.L., Cottyn, B.G., Vanacker, J.M., Buysse, F.X. 1983. Comparaison de la digestibilité et du rendement de quelques variétés de maïs. *Rev. Agric. (Brussels)*, 36, 1683-1690.
- Clark, D.H., Mayland, H.F., Lamb, R.C., 1987. Mineral analysis of forages with near infrared reflectance spectroscopy. *Agron. J.*, 79, 485-490.
- Decruyenaere, V., Stilmant, D., Lecomte, Ph., Buldgen, A., Dardenne, P., 2002. Improvement and indirect validation of the NIRS analysis applied to faeces to measure grass intake in pasture. 'Multi-Function Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Proceedings of the 19<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, La Rochelle, France', (Eds. Durand, J.-C., Emile, J.-C., Huyghe, C., Lemaire, G.) 196-197.
- Deinum, B., Struik, P.C., 1988. Genetic variation in digestibility of forage maize (*Zea mays* L.) and its estimation by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). In: *Quality of Silage Maize, Digestibility and Zootechnical Performance*, Proc. Int. Sem., Center for Agricultural Research, Gembloux, 1-20.
- Hruschka, W.R., 1987. Data analysis: Wavelength selection methods. In: P. Williams and K. Norris (Eds.): *Near infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of cereal chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Kornher, A., P. Nyman, 1992: A model for prediction of growth and quality change of grass swards. Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Lahti, Finland, 378-382.
- Mainka, C., 1990. Futterbewertung von Silomais mit der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS). *Landbauforsch. Völkenrode, Sonderheft 119*, 1-96.
- Marum, A.H., Aastveit, P., 1990. The precision of the Tilley and Terry method compared to the NIRS method in estimating digestibility in breeding programs. Proceedings of the 3rd International Conference on Near Infrared Spectroscopy, 566-569.
- Meier, Uwe, 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph, 2nd edition. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Braunschweig, Germany.

- Murray, I., 1986. Near infrared reflectance analysis in forages. In: W. Haresign, D. J. A. Cole (Eds.): *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworth. London, pp. 141-156.
- Paul, C., Mainka C., Müller J., 1992. Möglichkeiten der NIRS-Technik bei Silomais. *Mais*, 20 (4), 20-22.
- Pitman, W.D., Piacitelli, C.K., Aiken, G.E., Barton, F.E.II, 1991. Botanical composition of tropical grass-legumes pastures estimated with near-infrared reflectance spectroscopy. *Agron. J.*, 83, 103-107.
- SAS Institute 1996. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.12 Edition. Cary, NC: SAS Institute.
- Shenk, J.S., Westerhaus M.O., 1991. Population structuring of near infrared spectra and modified partial least square regression. *Crop Sc.*, 31, 1548-1555.
- Shenk, J.S., Westerhaus M.O., Hoover, M.R., 1979. Analysis of forage by near infrared reflectance. *J. Dairy Sc.*, 62, 807-812.
- Thumm, U., 1996. Erfahrungen beim Einsatz der NIRS-Methodik zur Untersuchung der Grünlandfutterqualität. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau. In' 40. Jahrestagung vom 29. bis 31. August 1996 in Neuruppin/Paulinenaue Kurzfassung der Referate und Poster'. (Eds. Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften), 190-192.
- Tillmann, P., 1999. Qualitätssicherung für die NIRS-Analytik – Das Netzwerk des VDLUFA für die Untersuchung von Silomais aus Sortenversuchen, *Ergebnisse 1998*. VDLUFA-Schriftenreihe 52, 357-360.
- Wachendorf, M., Ingwersen, B., Taube, F., 1998. Prediction of the clover content of red clover- and white clover-grass mixtures by near-infrared reflectance spectroscopy. *Grass Forage Sc.*, 54,87-90.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996a. Estimation of the metabolizable energy in forages by a cellulase-method. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 115.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996b. Simplified method for calculation of NEL from metabolizable energy. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 117.
- Wulfes, R., Kornher, A., Bahnemann, S., Taube, F., 1996. Prediction of nonstructural carbohydrate contents in grasses and white clover stolons by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Grassland and Land use systems. Proceedings of the 16<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Grado/Italy* (Eds. Parente, G., Frame, L., Orsi,S.),671-675.



## **Kapitel 3**

### **Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität und Untersaat auf Leistung und Stickstoff-Bilanz von Silomais in Monokultur**

## 1. Einleitung

In intensiv geführten Silomais-Monokulturen kommt es vergleichsweise häufig zu N-Akkumulationen im Boden, da der Mais den über den Bedarf hinausgehenden N u.a. in den Reihenzwischenräumen, nicht nutzen kann. Infolge dessen kann es zu hohen N-Verlusten durch Nitratauswaschung mit dem Sickerwasser unter Silomais in maritimen Klimaten kommen (ENGEL & MANGSTL, 1988; SIMON et al., 1988; EULENSTEIN et al., 1993; STICKSEL, 1994). Mit der Senkung des Trinkwassergrenzwertes auf  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$  im Jahr 1986 (ANONYMUS, 1986), der Einführung von  $N_{\min}$ -Grenzwerten im Herbst in Wasserschutzgebieten (HUGGER, 1987), dem Inkrafttreten des Bodenschutzgesetzes vom 01. März 1999 und vor der Einführung von zulässigen Höchstgrenzen für N-Bilanz-Überschüsse  $\text{ha}^{-1}$  im Rahmen der Düngeverordnung (ANONYMUS, 2004) ist die Optimierung der Produktionstechnik im Sinne einer hohen Umweltverträglichkeit ein nach wie vor hochaktuelles Thema.

Eines der Hauptprobleme während und nach dem Anbau von Mais ist die vertikale Verlagerung von Nährstoffen im Boden, insbesondere von Nitrat in das Grundwasser (BÄR & NUNGESSER, 1987). Überhöhte Nitratwerte im Boden lassen sich wie folgt begründen:

1. Auf den Betrieben liegt ein zu hohes N-Düngungsniveau vor.  
Nach einer repräsentativen Umfrage in deutschen Praxisbetrieben düngten vor 10 Jahren 45% der Landwirte über  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  Stickstoff (N) zu Mais, welcher überwiegend vor der Saat verabreicht wurde. (LÜDTKE ENTRUP et al., 1992). Dieses wurde auch in einer jüngeren Untersuchung von SCHERINGER & ISSELSTEIN (2000) festgestellt, die Milchvieh-/Futterbaubetriebe in Niedersachsen hinsichtlich der aktuellen Stickstoffwirtschaft und der Umsetzung von Optimierungsstrategien untersuchten.
2. Die Gülledüngung konzentriert sich häufig aus arbeitswirtschaftlichen Gründen und wegen der hohen Verträglichkeit auf die Maisäcker.
3. Die Terminierung der N-Düngung korrespondiert nicht mit dem zeitlichen Bedarf des Bestandes.  
In der Praxis sind Düngungsstrategien anzutreffen, die dem Bedarf des Maises wenig angepasst sind (SCHLEGEL et al., 1996). Vom Aufgang des Maises bis zum Erscheinen des 8. Blattes werden lediglich 2 % der benötigten N-Menge aufgenommen. Zu hohe N-Gaben vor oder kurz nach der Saat können von der Maispflanze nicht verwertet werden (VAN DER MEER & VAN DER PUTTEN, 1995). Bis zum Eintrocknen der Narbenfäden werden 85 % und bis zur Kolbenreife noch weitere 13 % des N-Bedarfs aufgenommen. (ZSCHEISCHLER, 1990, HUGGER 1993 und 1995). Charakteristisch für die N-Aufnahme der Maispflanze ist der geringe Bedarf in der Periode „Kornfüllung bis Reife“ (ca. 13 %). Im August/September werden aber noch erhebliche Reserven aus dem N-Pool des Bodens freigesetzt.
4. Langjährig intensive Bodenbewirtschaftung mit dem Ziel der Humusanreicherung, das Verbleiben des Getreidestrohs auf dem Acker und eine kontinuierliche Gülledüngung bewirken eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Vermehrt freigesetzte Nährstoffe aus der organischen Substanz finden zu wenig Berücksichtigung im Rahmen der Düngung und können vom Mais im Herbst nicht genutzt werden (SEVERIN & FÖRSTER, 1988; MITCHELL et al., 2000).

## 2. Literaturübersicht

### *Relative Vorzüglichkeit des Maisanbaus*

Silo- und Körnermais standen 2002 mit 1,57 Mio. ha Anbaufläche nach Weizen und Gerste in Deutschland an dritter Stelle in der Anbaustatistik (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2002). Die wirtschaftliche Bedeutung des Maisanbaus stieg stetig seit Mitte der 50er Jahre. Neuentwickelte, ertragreiche und klimatisch angepasste Hybridsorten ermöglichten auch bei weniger günstigen Anbaubedingungen hohe und sichere Erträge. Innerhalb der vergangenen 40 Jahre stiegen die Durchschnittserträge bei Silomais von etwa 75 dt auf über 150 dt ha<sup>-1</sup> TM-Ertrag (ALBER, 1996). Neben der Ertragsleistung wurden alle anderen für Anbau und Verwertung wichtigen Eigenschaften wie Reifezeitpunkt, Standfestigkeit, Krankheitsresistenz und Futterqualität durch züchterische Maßnahmen stark verbessert (FEIL, 2000). Die hohe Futterqualität in Verbindung mit der hohen Ertragsleistung macht den Silomais besonders interessant für die Milchviehhaltung und Rindermast. Maissilage ist insbesondere durch ihre hohe Energiekonzentration eine überaus wertvolle Grundfutterkomponente in der Futtermischung für Wiederkäuer und ergänzt hervorragend die eiweißreiche Futtergrundlage durch Gras- oder Kleegrassilage und ist deshalb aus der Futtermischung konventionell wirtschaftender Milchvieh-/Futterbaubetriebe nicht mehr wegzudenken. Neben der verbesserten Produktivität hat auch die einfache Mechanisierbarkeit die Ausdehnung des Maisanbaus gefördert. Der Mais wird auf den Futterbaubetrieben in Schleswig-Holstein überwiegend in Monokultur angebaut, auf sandigen Böden mit einem relativ hohen Potential der vertikalen Nährstoffverlagerung in der Sickerwasserperiode. Folgende Strategien führen zu einer höheren Ausnutzung des eingesetzten Dünger-N im Silomaisanbau:

### *Strategien zur Optimierung der N-Verwertung des Maises und der Konservierung des mineralisierten Boden-N nach der Maisernte*

#### **1. Terminierung der N-Düngungsapplikation**

Silomais benötigt zur Ausschöpfung seines hohen Ertragspotentials und der Erzielung hoher Futterqualitäten neben einer ausreichenden Wasserversorgung (CRASTA & COX, 1996) N-Mengen von 150 bis 200 kg ha<sup>-1</sup> (HORNUNG, 1992; HUGGER, 1992; AUFHAMMER, 1998). Bei der N-Bedarfsermittlung sollten die N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens im Frühjahr berücksichtigt werden, vor allem auf Böden mit einer geringen Feldkapazität (WALTHER & JÄGGLI, 1989; HORNUNG, 1992). Die Maispflanzen nehmen erst ab Mitte Juni größere N-Mengen auf (AUFHAMMER et al., 1991), da die Maispflanze zunächst die Kornreserve ausnutzt und korrespondierend dazu relativ langsam das Wurzelsystem ausbildet (DOSCH & GUTSER, 1994). Erfolge in diesem Vegetationsabschnitt starke sommerliche Niederschläge, können hohe NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser auftreten (STICKSEL; 1994). Unter diesen Witterungsbedingungen bzw. sorptionsschwachen Böden bietet sich eine Teilung der N-Gabe an. Eine Berücksichtigung des N<sub>min</sub>-Gehaltes des Bodens zu diesem Zeitpunkt wird empfohlen, da der Mais in der Lage ist, hohe Mengen mineralisierten N des Bodens aufzunehmen (RICHTER & SCHMALER, 1998). Ergebnisse von STICKSEL et al. (1999) belegen, dass über die Terminierung der N-Düngung eine Steuerung des Ertragszuwachses von Mais möglich ist. Eine N-Startgabe fördert eindeutig die vegetative Entwicklung und ist somit für das Produktionsziel Silomais von größter Bedeutung. Der Verzicht auf eine Startdüngung mit dem Ziel, die N-Austragsgefährdung während der Jugendentwicklung von Silomais zu reduzieren, ist nach deren Erkenntnissen nicht sinnvoll. Auf die Ausbringung der gesamten N-Gabe

zur Saat, was in der Praxis häufig zu beobachten ist (LÜTKE-ENTRUP et al., 1993) kann verzichtet werden.

## 2. Platzierung der N-Düngungsapplikation

### *Gülle-Düngung*

Bei der Gülledüngung ist zur Verbesserung der N-Ausnutzung die Minderung der Ammoniakverflüchtigungen von besonderem Interesse. Untersuchungen von DITTERT et al. (1999) belegen, dass die Gülle-Ausbringung per Schleppschlauch und sofortiges flaches Einarbeiten zu einer starken Reduzierung der Ammoniakverflüchtigungen im Vergleich zum herkömmlichen System (Breitverteilung) führten. Sie konnten feststellen, dass die Ammoniak-Ausgasung von folgenden Punkten abhängig ist: Ausbringungs- und Einarbeitungstechnik, Witterung, Bodentyp und der verwendeten Gülle. MAIDL et al. (1999) zeigten anhand verschiedener Gülleapplikationstechniken (ohne Einarbeitung zur Saat, Einarbeitung zur Saat, Güllereihendüngung) im Silomaisanbau, dass die sofortige Einarbeitung zur Saat die wirkungsvollste Methode ist, um die höchsten TM-Erträge im Silomais zu erzielen, da durch die Einarbeitung eine Unterbindung der  $\text{NH}_3$ -N-Verluste nach der Gülleausbringung erfolgt. SCHRÖDER et al., (1997) konnten eine höhere N-Aufnahme und einen höheren TM-Ertrag des Silomaises bei Reiheninjektion (10 cm von der Maisreihe entfernt) gegenüber der Standardinjektion nach der Saat feststellen. Sie führten dieses auf die bessere räumliche Verfügbarkeit der Nährstoffe an der Maiswurzel zurück.

### *Mineraldünger*

In den ersten zwei Monaten nach der Maisaussaat erreichen die Maiswurzeln eine begrenzte räumliche Ausdehnung entlang der Maisreihe. Gerade zum Zeitpunkt der Umstellung von Kornreserve auf die Versorgung durch die Maiswurzeln wirkt die gezielte N- und P-Versorgung durch Unterfußdüngung sehr förderlich auf die N-Verfügbarkeit und den TM-Ertrag des Silomaises (SCHRÖDER et al., 1996; VAN DIJK & BROUWER, 1998). Die Unterfußdüngung insbesondere für N ist auf ca.  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  begrenzt, um Säureschäden an der Maiswurzel zu verhindern. Aber auch höhere Konzentrationen führten zu positiven Ertragseffekten im Silomaisanbau (VAN DIJK & BROUWER, 1998).

## 3. Zwischenfruchtanbau

Unter den humiden Witterungsbedingungen in Nordwesteuropa ist nach einer frühen Maisernte als Winterzwischenfrucht Futterroggen oder Deutsches bzw. Welsches Weidelgras anbauwürdig. Ein Zwischenfruchtanbauversuch mit Winterroggen im Vergleich zum Untersaatanbau mit Welschem Weidelgras (WW) von SCHRÖDER et al. (1996) zeigten zwar, dass beide Kulturarten die gleiche Menge N in den oberirdischen Pflanzenteilen speicherten, doch in Abhängigkeit der mineralischen N-Düngung zeigte sich für den Winterroggen eine höhere Nitratverlagerung über Winter, da dieser im Vergleich zum Welschen Weidelgras über ein noch nicht so tief greifendes Wurzelsystem verfügte, und die Bodenbearbeitung zu Winterroggen die N-Mineralisation förderte. Nach einer späten Maisernte ist die Begrünungsmaßnahme mit Winterroggen kaum noch effektiv, da die Trockenmassebildung und damit auch die N-Bindung sehr gering ist. MARTINEZ & GUIRAUD (1990) stellten bei einer vorangestellten Zwischenfruchtnutzung mit Deutschem Weidelgras, welches vor der Maisbestellung chemisch behandelt und gepflügt wurde, Ertragsminderungen beim Silomais fest. HEPTING (1984), WAGGER (1989) und OLNES et al. (1990) ermittelten Ertrags- und Qualitätseinbußen von 20 bis 35 % und führten dieses auf den verzögerten Aussaattermin bei Zwischenfruchtanbau zur Futtergewinnung des Maises zurück. Eine

Minimierung der  $\text{NO}_3$ -Verluste durch erhöhte Wassereffizienz wurde durch den Effekt der Minimalbodenbearbeitung (Mulchsaat) in Zwischenfrüchte bzw. Untersaaten in einer Reihe von Versuchen nachgewiesen (RICHTER & SCHMALER, 1998; RUEGG et al., 1998; EDWARDS et al., 1999).

#### **4. Untersaaten**

Der Untersaatanbau während des Wachstums der Hauptkultur bewirkt, dass überschüssige N-Mengen während der Abreifephase des Mais und vor allem nach der Maisernte aufgenommen und vor der winterlichen Auswaschung bewahrt werden (STEFFENS & VETTER, 1984; ELMERS & HARTMANN, 1986; MARTINEZ & GIURAUD, 1990; SHIPLEY et al., 1992; MCCRACKEN et al., 1994). Die Untersaaten bewirken in Verbindung mit einer reduzierten Bodenbearbeitung eine Erosionsminderung und fördern die Bodenfruchtbarkeit (RÜTTIMANN et al., 1995). Die erfolgreiche Etablierung der Untersaaten ist von den Umwelt- und den Aussaatbedingungen abhängig. Von größter Bedeutung für die Entwicklung der Untersaaten ist die Lichtverfügbarkeit zu nennen bzw. die Toleranz gegenüber der Beschattung durch den Silomais. Die Beschattung der Untersaat hängt vom Blattflächenindex und der Blattstellung des Mais ab. (MADDONNI & OTEGUI, 1996). Hinsichtlich der geeigneten Maissorten für einen Untersaatanbau werden diese vor allem nach ihrer Blattstellung ausgewählt. Die Blattstellung wird dabei durch den Winkel, den die Blätter mit der Horizontalen bilden, beschrieben. Nach MADDONNI & OTEGUI (1996) kann die Sonnenstrahlung bei einer erektophilen Blattstellung tiefer in den Maisbestand einfallen und effizienter genutzt werden. Durch diesen Blattstellungstyp kommt es bei der Untersaat zu einer höheren Lichtverfügbarkeit. Zahlreiche Arbeiten haben sich mit der Etablierung von Untersaaten beschäftigt (HUGGER, 1989; LÜTKE ENTRUP & STEMANN, 1989; STEMANN et al., 1993; OTT & TAUBE, 1995). Folgende Erkenntnisse bestehen bisher bezüglich der Untersaatetablierung:

##### **Saatstärke**

Die Saatstärke für Deutsches Weidelgras (DW) kann von 30-40 kg bei spätem Aussaattermin auf 4-8 kg  $\text{ha}^{-1}$  bei frühem Aussaattermin verringert werden. Welsches Weidelgras (WW) wird bei spätem Aussaattermin mit einer Menge von 30-40 kg  $\text{ha}^{-1}$  ausgesät. Aber auch Gemenge aus DW und WW (zusammen 10 bis 40 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) bzw. DW (8 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) und Weißklee bzw. Erdklee (4 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) können erfolgreich untergesät werden. Kleearten an sich wurden bei einer Aussaatstärke von 15 kg  $\text{ha}^{-1}$  erfolgreich etabliert, ohne dass der Silomais Mindererträge aufwies. Ein weiterer wichtiger Punkt der Reduzierung der Aussaatmenge sind die hohen Saatgutkosten bei z. B. 30 bis 40 kg DW-Saat  $\text{ha}^{-1}$ , diese würden auf der Höhe einer Neuansaat liegen, welches aus produktionstechnischer und wirtschaftlicher Sicht nicht gerechtfertigt ist.

##### **Aussaattermin**

Erfolgt die Aussaat der Untersaat unmittelbar nach der Maisaussaat, dann wurden die stärksten Ertragseinbußen beim Mais beobachtet (LÜTKE ENTRUP & STEMANN, 1989). Nach dem Auflaufen des Mais erfolgt eine Wachstumsverzögerung, wenn die Kornreserven verbraucht sind und das Wurzelsystem noch nicht genügend Nährstoffe aufnehmen kann, aber auch auf Grund von späten Kälteeinbrüchen (AUFHAMMER, 1998). Diese Phase ist überwunden, wenn der Mais das 2- bis 3-Blatt-Stadium erreicht hat und die Witterung eine zügige Entwicklung erlaubt. Jetzt können Kulturarten ausgesät werden, die sich durch eine zügige Jugendentwicklung

auszeichnen. Erfolgt die Ansaat der Kulturarten vor dem 2- bis 3- Blattstadium (BBCH 12), dann ist eine mögliche Konkurrenz zwischen Mais und Untersaat bei ungünstigen Witterungsbedingungen (kühle und nasse Witterung) sehr wahrscheinlich, die dann zu einem geringeren Trockenmasseertrag des Maises führen kann.

### **Kulturart**

Hier eignen sich als Untersaaten allgemein C<sub>3</sub>-Pflanzen und im Besonderen die Gräser, unter ihnen das DW bzw. WW, da diese über eine zügige Jugendentwicklung und eine hohe N-Effizienz verfügen (SHIPLEY et al., 1992) und untersaatverträglich sind. Aber auch Leguminosen wie Weißklee oder Erdklee wurden geprüft und eignen sich als Untersaat.

### **Technik**

Die Technik der Untersaatetablierung wurde mit der Zeit immer mehr verbessert. Die Saat wurde anfangs mit einem Düngerstreuer in Verbindung mit hohen Aussaatmengen und späten Aussaatterminen breitverteilt ausgebracht. Mit dieser Technik wuchs die Untersaat direkt in der Maisreihe, welches je nach Witterungsverlauf und Bodenart zu starken Ertragseinbußen beim Silomais auf Grund der starken Wasserkonkurrenz führte. Die Technik wurde in der Weise verbessert, in dem die Untersaat mit einer Drillmaschine in den Reihenzwischenraum bei einem Abstand von ca. 12 bis 20 cm zur Maisreihe abgelegt wurde. Die Drillschare über und neben der Maisreihe wurden geschlossen und hochgebunden. Die Anzahl der Drillreihen zwischen den Maisreihen variierte zwischen 2 und 4 und hatte keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Silomaises.

### **Untersaaten sollten grundsätzliche Vorgaben erfüllen:**

Sie dürfen den Mais TM-Ertrag und die Futterqualität nicht wesentlich beeinträchtigen. Die Etablierung der Untersaaten sollte aus technischer Sicht einfach und schnell bewerkstelligt werden können, zudem muss eine ausreichend sichere Unkrautbekämpfung gewährleistet sein. Besonders vor dem Hintergrund der erfolgreichen Bekämpfung der Unkräuter bedarf es einer möglichst genauen Kenntnis der Unkräuter und der Mittelauswahl mit Beachtung der Wartezeiten für die spätere Untersaatetablierung. Die Kosten einer Untersaat sollten möglichst niedrig sein und sich durch ackerbauliche Vorteile langfristig rentieren (BAER, 1987; BUCHNER, 1987, AMMON et al., 1990, STEMANN & LÜTKE ENTRUP, 1991).

### **Fragestellung und Einbindung des Projektes**

Der hohe Stellenwert des Silomaisanbaus ist eng mit der Hofdüngewirtschaft verknüpft. Während Düngungsverhalten und Gülleausbringung relativ leicht den Anforderungen der Kulturpflanze angepasst werden können, müssen, zur Verhinderung der N-Verlagerung der überschüssigen Herbst N-Mengen nach dem Anbau von Mais aus dem durchwurzelten Bodenhorizont, pflanzenbauliche Strategien angewandt werden, die es ermöglichen, überschüssige Nitratmengen in pflanzlicher Trockenmasse zu konservieren (SCHRÖDER et al., 1996). In Schleswig-Holstein wird das Grundfutter im Wesentlichen durch Weide- bzw. Mähweidesysteme auf der einen und Mais in Monokultur auf der anderen Seite erstellt. Es fehlen Erkenntnisse, wie sich mittelfristig der Untersaatanbau mit DW bei Mais in Monokultur auf sorptionsschwachen Böden in Abhängigkeit einer weit gesteckten N-Düngungsintensität aus mineralischem N-Dünger und Gülledüngung auf die Leistungsfähigkeit und insbesondere auf den N-Saldo

auswirken. Die vorliegende Untersuchung war eingebunden in das N-Projekt Karkendamm "Steigerung der N-Effizienz im spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieb" mit dem Ziel der quantitativen Erfassung der wesentlichen N-Flüsse im System Boden – Pflanze - Tier. Die in der landwirtschaftlichen Praxis zur Grundfuttergewinnung angebauten Kulturarten Grünland und Silomais in Monokultur stellten dabei den Kernbereich der in der ersten Projektphase erfolgten Untersuchungen dar (TAUBE & WACHENDORF, 2000).

Folgende pflanzenbauliche Fragestellungen lagen u. a. dem Anbau einer Untersaat im Silomaisversuch zu Grunde:

- Wie reagiert die Untersaat DW auf den weit gesteckten N-Düngungsgradienten?
- Welchen Einfluss hat die Untersaat auf Trockenmasse (TM)-, Netto-Energie-Laktation (NEL)- und N-Ertrag sowie den N-Saldo des Silomaises?
- Welchen Einfluss hat eine Untersaat auf die scheinbare N-Ausnutzung im Silomaisanbau?

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Standorteigenschaften

Die vorliegende Untersuchung wurde in den Jahren 1997 bis 2001 auf Flächen des Versuchsgutes Karkendamm der Christian-Albrechts-Universität Kiel im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „N-Flüsse im spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieb“ durchgeführt. Dieser für Schleswig-Holstein typische Standort für Milchviehbetriebe liegt etwa 50 km südlich von Kiel in der Nähe von Bad Bramstedt, im Übergangsbereich der Störniederung zur vorderen Geest in einer Höhe von 16 m über NN. Der Bodentyp ist ein Gley-Podsol, der aus periglazialen Sanden über Sandmudde über glazifluviatilen Sanden entstanden ist. Die Bodenart ist als humoser Sand mit dominierender Fraktion Mittelsand anzusprechen. Die Bodenwertzahl beträgt 18-25. Aus den Tabellen 1 und 2 sind der Profilaufbau sowie die bodenphysikalischen und chemischen Kenndaten der Versuchsfläche des Silomais ersichtlich.

Tab. 1: Horizontabfolge und Bodenkenndaten der Versuchsfläche von Silomais (SCHOLZ, 1999)

Horizont	Mächtigkeit [cm]	LD <sup>1</sup> [g/cm <sup>3</sup> ]	GPV <sup>2</sup> [g/cm <sup>3</sup> ]	nFK <sup>3</sup> [mm]	C-Gehalt [%]	N-Gehalt [%]	C/N <sup>4</sup>
Ap	0-28	1,06	50,8	27,0	7,47	0,30	24,9
Ae+Bh	28-57	1,43	42,3	22,3	1,49	0,07	21,3
Bh	57-79	1,62	34,3	16,1	0,89	0,04	22,3
Gor	79-94	1,65	37,4	17,1	0,40	0,02	20,0

<sup>1</sup>Lagerungsdichte, <sup>2</sup>Gesamtporenvolumen, <sup>3</sup>Nutzbare Feldkapazität, <sup>4</sup>C/N – Verhältnis

Tab. 2: Ergebnisse der Bodenuntersuchung (Standardmethoden nach VDLUFA, Ø aus Analysen in den Jahren 1998 und 1999)

pH (CaCl <sub>2</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (DL)* [mg/100g]	K <sub>2</sub> O (DL) [mg/100g]	MgO (DL) [mg/100g]
5,4	14,2	6,1	15,3

\*) DL= Doppel-Lactat-Methode

#### 3.2 Witterung

Die Klimadaten im Zeitraum von 1998 bis 2001 wurden von der Wetterstation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung - Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm erhoben. Die Strahlungswerte stammen in allen Versuchsjahren von der Station des Deutschen Wetterdienstes in Quickborn.

Abbildung 1 zeigt den Witterungsverlauf während der 4 Versuchsjahre im Vergleich zum langjährigen Mittel.



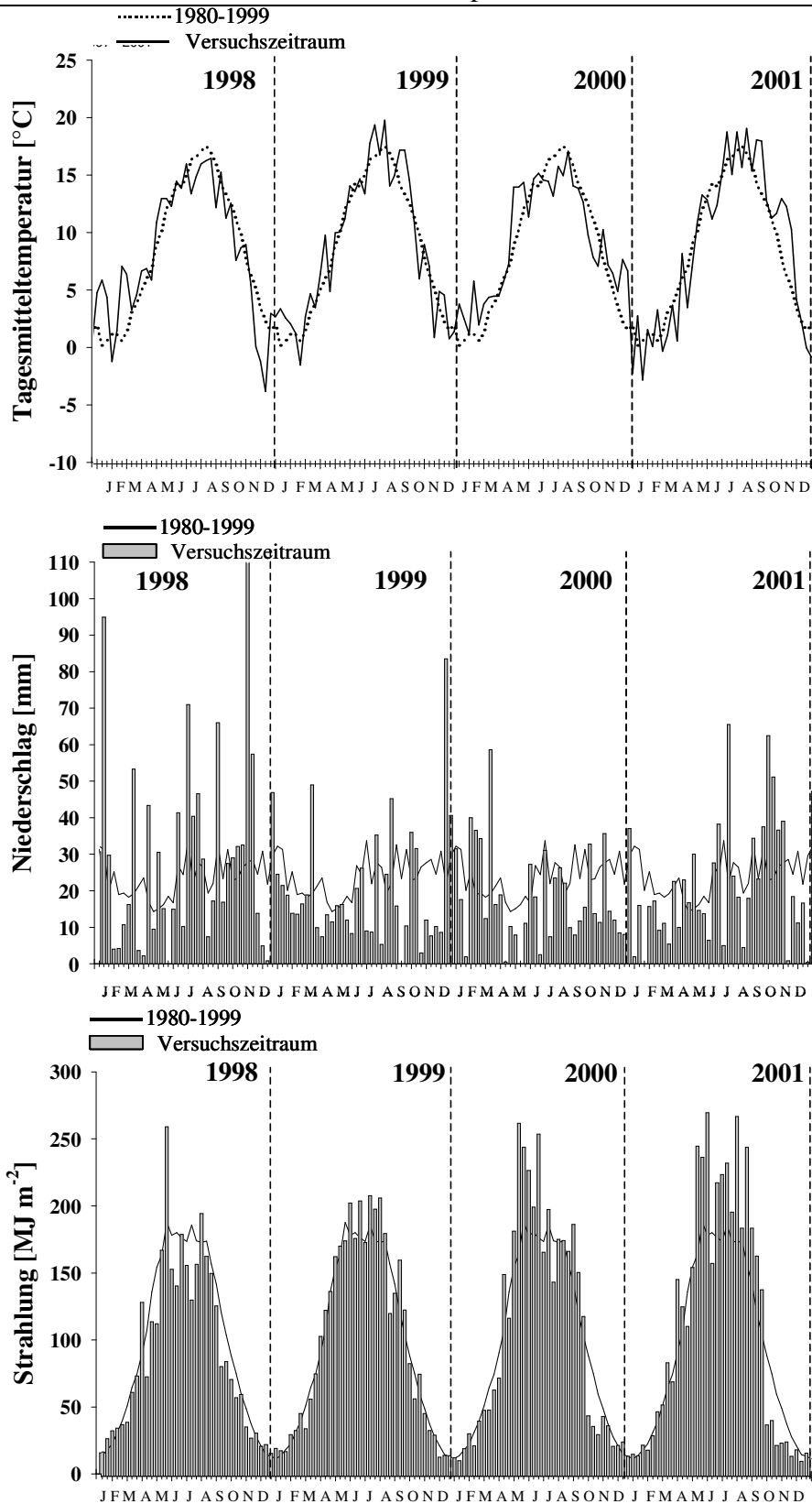


Abb.1: Temperatur,- Niederschlags- und Strahlungswerte jeweils von Januar bis Dezember in Dekaden des Versuchszeitraumes 1998 bis 2001 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1980-1999)

Während das Jahr 1998 bei durchschnittlichen Temperaturbedingungen und geringerer Einstrahlung als deutlich feuchter im Vergleich zum langjährigen Jahres- und Vegetationsperiodenmittel bezeichnet werden kann, war die Witterung der Versuchsjahre 1999 und 2000 durch überdurchschnittliche Temperaturen und Strahlungswerte bei gleichzeitig unter dem Durchschnittswert liegenden Niederschlagssummen gekennzeichnet. Das Versuchsjahr 2001 zeichnete sich durch überdurchschnittliche Temperaturen und Strahlungswerte, aber einer gleichmäßigen Verteilung und durchschnittlichen Höhe der Niederschlagsmengen aus.

### 3.3 Versuchsanlage und -durchführung

Die Anlage des Versuchs erfolgte im Frühjahr des Jahres 1997 in Form einer dreifaktoriellen Spaltanlage in vierfacher Wiederholung auf einer Fläche von 1,5 ha. Die Einzelparzellengröße betrug 51 m<sup>2</sup> (17 m x 3 m). Auf den Versuchsfeldern wurde mehrjährig vor Versuchsbeginn Mais in Monokultur gebaut (Ø 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> Rindergülle). Die Erhebungen wurden im Zeitraum 1998 bis 2001 durchgeführt. Folgende Versuchsfaktoren wurden in die Untersuchung einbezogen :

Tab. 3: Versuchsfaktoren und Faktorstufen des Versuchs.

<u>Faktor</u>	<u>Stufen</u>		
Gülldüngung (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	0	20	40
Mineralische N-Düngung (kg ha <sup>-1</sup> )	0	50	100 150
Untersaatanbau (kg DW ha <sup>-1</sup> )	0	6	

#### Gülldüngung (Großteilstücke)

Die Düngung mit Rindergülle erfolgte im April jeden Jahres. Die Variante ohne Gülleeinsatz diente zur Quantifizierung der N-Nachlieferung des Bodens. Die Gülle wurde unter Anwendung des Schleppschauchverfahrens unmittelbar nach dem Pflügen im Frühjahr vor Aussaat des Mais ausgebracht. Um gasförmige Ammoniakverluste zu minimieren, folgte sofort eine flache Einarbeitung mit dem Grubber. Die Zusammensetzung der Gülle wird in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Die Zusammensetzung der Rindergülle (VDLUFA-Untersuchungsergebnisse) und die daraus resultierenden Gülle N-Mengen in den Versuchsjahren.

<u>Jahr</u>	<u>TM-Gehalt</u> [%]	<u>N</u> [kg m <sup>-3</sup> ]	<u>N in G20</u> [kg ha <sup>-1</sup> *]	<u>N in G40</u> [kg ha <sup>-1</sup> ]
<b>1998</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>36</b>	<b>72</b>
<b>1999</b>	<b>k. A.</b>	<b>3,4</b>	<b>68</b>	<b>136</b>
<b>2000</b>	<b>9,3</b>	<b>3,7</b>	<b>74</b>	<b>148</b>
<b>2001</b>	<b>7,5</b>	<b>3,3</b>	<b>66</b>	<b>132</b>
<b>Ø1998-2001<sup>§</sup></b>	<b>6,3</b>	<b>3,1</b>	<b>61</b>	<b>122</b>

\* ) Verluste bei der Gülleausbringung wurden nicht berücksichtigt; k. A) keine Angaben

§: Mittel aus den Jahren mit Messwerten

Die durchschnittliche Applikation an P, K und Mg über die Gülle betrug 14, 62 und 9 kg ha<sup>-1</sup>.

### **Mineralische Stickstoffdüngung (Mittelstück)**

Die mineralische N-Düngung erfolgte in Form von Kalkammonsalpeter (27 % N) mittels geteilter Applikation aliquoter Mengen (N1/N2) nach dem BBCH-Code (WEBER & BLEICHOLDER, 1990) zum 1-Blattstadium (BBCH-CODE 11) und zum 6/8-Blattstadium (BBCH-CODE 18) des Maises (Tab.5).

### **Untersaat (Kleinteilstück)**

Basierend auf den Erfahrungen vorangegangener Feldversuche (OTT & TAUBE, 1995) wurde Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne L., Sorte Fennema*) als Grasart ausgewählt. In allen Versuchsjahren wurde die Untersaat zum 3-4 Blattstadium gedrillt. Die Aussaat erfolgte mit einer konventionellen Drillmaschine in vier Drillreihen mit dem Abstand von jeweils 12,5 cm zu den Maisreihen und einer Aussaatstärke von 6 kg ha<sup>-1</sup>. Die Untersaat wurde im zeitigen Frühjahr des Folgejahres mit dem Totalherbizid „Round up®“ (Glyphosat) behandelt. Um Feuchtigkeitsverluste zu vermeiden und Zersetzungsprozesse zu fördern, erfolgte nach 14 Tagen die Einarbeitung der Biomasse mit der Fräse. Um mögliche Nährstoffanreicherungsprozesse und kumulative Effekte zu erfassen, wurden die einzelnen Versuchsvarianten jedes Jahr an der selben Stelle angebaut.

### **Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz im Mais**

In allen vier Versuchsjahren kam die Silomaisorte „NAXOS“ (AgroPlant) zur Ansaat. Diese im Jahr 1987 zugelassene frühe (Siloreifezahl 220), hartmaisdominierte Einfachhybride, ist kolbenbetont und eignet sich sowohl für den Silo- als auch für den Körnermaisbau (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 1999). Bei einer N-Düngung von 150 kg mineralischen N ha<sup>-1</sup> erreichte Naxos einen für den Untersaatanbau geeigneten maximalen Blattflächenindex zwischen 3 und 4 (JOVANOVIĆ, persönliche Mitteilung). Die Bodenbearbeitung wurde jedes Jahr mit dem Pflug (26 cm tiefe Pflugfurche) in der letzten Aprildekade durchgeführt. Die Saatbettbereitung erfolgte mit einer Rüttelegge. Die Grunddüngung mit Phosphor (Superphosphat, 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) wurde in eine Unterfuß- (13,1 kg P ha<sup>-1</sup>) und in eine Nachdüngung (15,3 kg P ha<sup>-1</sup>) zum 1-Blattstadium des Maises aufgeteilt. Die Kalidüngung (40er Kali) wurde für alle Varianten entsprechend dem Niveau der höchsten Güllestufe angeglichen. Das mit TMTD (gegen Auflaufkrankheiten) gebeizte und mit Mesurool (gegen Fritfliege und Vogelfraß) inkrustierte Saatgut wurde in allen Versuchsjahren Ende April/Anfang Mai mit einer Einzelkorn-Sämaschine ausgesät. Bei einem Reihenabstand von 75 cm wurde eine Bestandesdichte von 10 Pfl. m<sup>-2</sup> angestrebt. Pflegemaßnahmen beschränkten sich auf zwei Herbizidanwendungen (Tab. A15) zum Maisauflaufen (BBCH-Code 09) bzw. zum 2 bis 4-Blattstadium (BBCH-Code 14), die in Anpassung an das auftretende Unkrautspektrum und unter Beachtung der Verträglichkeit sowohl der Maispflanzen als auch der Untersaat vorgenommen worden sind. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die relevanten, produktionstechnischen Daten.

Tab. 5: Die produktions- u. beprobungstechnischen Daten des Silomaisversuches (1998 bis 2001)

Jahr	Silomais					Untersaat	
	Gülle- einsatz	Pfl. m <sup>-2</sup>	Aussaat	N1 N2	Maisernte- bzw. Beprobungstermin	Aussaat	Beprobungstermin Herbst/Frühjahr <sup>§</sup>
1998	24.04.	12	04.05.	15.05 18.06.	05.10.	20.05.	05.10./01.04.
1999	23.04.	10	28.04.	10.05. 08.06.	22.09.	01.06.	22.09./21.03.
2000	19.04.	11	26.04.	11.05. 31.05.	29.09.	23.05.	09.11./27.03.
2001	23.04.	10	25.04.	02.05. 05.06.	03.10./09.10.	30.05.	05.11./04.04.

§: und darauf folgenden Frühjahr

Im Jahre 2001 erfolgte die Kernbeerntung des Versuches an zwei Terminen, da auf Grund vorangegangener Regenfälle eine Befahrbarkeit der Versuchsfläche nur zum Teil möglich war.

### 3.4 Methoden

#### 3.4.1 Ertragsparameter

Zur Ermittlung der Ertragsleistung und der N-Aufnahme des Silomaises wurde zum Erntetermin sowohl die Hand- als auch die Kernbeerntung durchgeführt. Für die Erfassung der Pflanzenfraktionen wurden je Variante 10 aufeinanderfolgende Pflanzen einer Reihe bodennah von Hand beerntet. Aus den 10 Pflanzen wurden zufällig 5 Pflanzen für die Gesamtpflanzenmischprobe und weitere 5 Pflanzen für die Fraktionierung entnommen. Das gewonnene Pflanzenmaterial der Mischprobe wurde gewogen und mit einem Häcksler (TH 3500 DNB, Fa. ELEKTRA BECKUM) frisch zerkleinert. Von den 5 Pflanzen für die Fraktionierung wurde die Gesamtfrischmasse bestimmt und der Spross in die Blattspreite, Stängel (mit Blattscheide und Rispe) und Kolben (einschließlich Lieschen) separiert und zerkleinert. Die Trockenmassegehalte wurden an Teilproben von 150 bis 250 g Frischmasse (FM) ermittelt. Die Trocknung bis zur Gewichtskonstanz erfolgte bei 65 °C für die Dauer von 4-5 Tagen.

Für die Erfassung der TM-, N- und NEL-Erträge wurden aus dem Kern der Parzellen zwei Maisreihen (Ø 15 m Länge) mit einem zweireihigen Versuchshäcksler (Fa. HEGE) bei einer Schnitthöhe von 20 cm geerntet. Der TM-Gehalt wurde an einer

Teilprobe von 500-600 g FM bestimmt. Das Pflanzenmaterial wurde wie bei der Handbeerntung beschrieben getrocknet.

Zur Bestimmung der Ertragsparameter der Untersaat (*Lolium perenne* L.) fanden im Versuchszeitraum 1998-2001 die Pflanzenbeprobungen zu den in Tabelle 5 beschriebenen Herbst- bzw. Frühjahrsterminen des folgenden Jahres statt. Von einer für den Pflanzenbestand repräsentativ ausgewählten Probefläche (zwei Parallelen, 0,5 m<sup>2</sup> je Parzelle) wurde die gesamte oberirdische Biomasse an der Erdoberfläche abgeschnitten. Im Anschluss daran wurde das gewonnene Pflanzenmaterial gewogen und eine repräsentative Teilprobe von ca. 50 g FM bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. An denselben Stellen wurde eine Wurzelprobe des Grases nach der Bohrkernmethode (BÖHM, 1979) mit Hilfe eines Wurzelbohrers (Fa. EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT, Niederlande) stufenweise in 15 cm Abschnitten bis 30 cm Bodentiefe entnommen. Die entnommenen Bohrkern (Ø 8 cm) wurden nach der Probenahme in Plastikbeutel verpackt und bei -22 °C eingefroren. Nach dem Wiederauftauen wurde das Wurzelmaterial mit Hilfe einer Wurzelwaschanlage (EHMSOMAT TYP 1/thGTI-99) ausgewaschen. In Anlehnung an die von LOGES (1998) beschriebene Vorgehensweise wurden zunächst die Bohrkern durch mit Injektordüsen beschleunigtes Wasser in einem Stahlzylinder erodiert. Der aufsteigende Wasser- und Luftstrom überführt das im Vergleich zu Wasser spezifisch leichtere Wurzelmaterial sowie andere organische Substanz in ein Auffangsieb mit der Maschenweite 530 µm. Durch mehrfaches Dekantieren bzw. durch Verlesen mit der Pinzette über 630 µm-Sieben wurde schließlich das Wurzelmaterial von den mineralischen und restlichen organischen Partikeln (z.B. Stoppelreste von Mais) gesäubert. Die gewonnenen Wurzelproben wurden bei 65 °C zur Bestimmung des Trockenmassegehaltes für die Dauer von 48 Stunden getrocknet.

Bei der Berechnung des Trockenmasseertrags aus oberirdischer Biomasse und den Graswurzeln der Untersaat wurde berücksichtigt, dass die Untersaat mit einem Abstand von insgesamt 0,25 m zu den benachbarten Reihen des Silomaises ausgesät wurde. Unter Berücksichtigung des Aschegehaltes der jeweiligen Probe wurde die gesamte organische Masse (OM) aus oberirdischem und unterirdischem Pflanzenmaterial ermittelt.

### 3.4.2 Qualitätsparameter

Sämtliche untersuchten Qualitätsparameter wurden mittels der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) (MARTEN et al., 1989) geschätzt. Dieses physikalische Verfahren beruht auf den Absorptionen von Molekülbindungen (-OH, -CH, -NH, -SH) im Wellenbereich des Infrarots sowie im nahen Infrarot, das sich von 700 bis 2500 nm erstreckt (TILLMANN, 1996). Durch die materialspezifischen Absorptionsmuster wird je nach Wellenlänge die reflektierte Strahlung verändert. Über die Intensität der Lichtreflexion kann dann unter Anwendung statistischer Verfahren die Konzentration der Inhaltsstoffe geschätzt werden (WULFES, 1993). In der Arbeit von VOLKERS et al. (2003), in der vegetatives und generatives Maispflanzenmaterial aus diesem vorliegenden Versuch mit NIRS geschätzt wurde, wird das genaue Vorgehen bei der Bearbeitung und Messung der Proben mittels NIRS sowie die statistische Auswertung beschrieben. In dieser Arbeit wurden Kalibrationen für die Parameter Rohproteingehalt (RP) und Nettoenergiegehalt (NEL) erstellt.

Die nasschemische Analyse dieser Parameter wurde am identischen Kalibrations- und Validationsprobensatz für die zu untersuchenden Parameter wie folgt durchgeführt:

Rohprotein- bzw. Stickstoffgehalt

Als Referenzmethode für die Ermittlung des RP-Gehaltes wurde die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes nach KJELDAHL (1983) angewandt. Der RP-Gehalt wurde nach KIRCHGEBNER (1987) durch Multiplikation des Gesamt-N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 ermittelt.

Aschegehalt

Der Aschegehalt bzw. der Gehalt an organischer Substanz wurden nach fünfstündiger Veraschung der Pflanzenproben bei 550 °C in einem Muffelofen bestimmt.

Nettoenergiegehalt

Die Berechnung des NEL-Gehaltes basierte auf der Bestimmung der durch Pepsin-Salzsäure und Cellulase unlöslichen organischen Substanz (Eulos) in den ausgewählten Proben. Als enzymatischer Verdaulichkeitstest wurde die modifizierte Methode nach DE BOEVER et al. (1986) in einem zweistufigen Aufschluss angewandt. Zur Bestimmung des Gehaltes an enzymunlöslicher organischer Substanz (Eulos) wurde diese Methode durch die genaue Angabe der Wassermenge für das Auswaschen der Probenrückstände überarbeitet (SCHMIDT & ECKSTEIN, 1999). Die Analysen wurden für RP in zweifacher bzw. für Eulos in vierfacher Laborwiederholung durchgeführt. Eine wiederholte Analyse erfolgte dann, wenn Abweichungen von mehr als 0,5 % für RP bzw. 1,2 % bei der Bestimmung der Glühverluste zwischen den Wiederholungen festgestellt wurden.

Die Bestimmung der RP-Gehalte der oberirdischen Biomasse und der Wurzeln der Untersaat erfolgte mittels NIRS-Schätzgleichungen, die vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau der Universität Kiel erstellt wurden (KASKE, 2000). Diese Kalibration basiert auf Pflanzenmaterial (Deutsches Weidelgras), das an repräsentativen Standorten in Schleswig-Holstein gewonnen wurde.

**3.4.3 Ermittlung der N-Bilanzgrößen und Bilanzierungsansatz**

Der hier verwendete methodische Ansatz (Feldbilanz) berücksichtigt die in Tabelle 6 dargestellten Größen: organische und mineralische Düngung ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) sowie der auf  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  geschätzte, atmosphärische N-Eintrag in Form von nasser und trockener Deposition (WELLBROCK, 2002). Der N-Saldo wurde aus der Summe der flächenbezogenen N-Zufuhren nach Abzug der N-Entzüge errechnet.

Tab. 6: N-Bilanzgrößen für die Feldbilanz

NÄHRSTOFF-ZUFUHR [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	-	NÄHRSTOFF-ABFUHR [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]	=	NÄHRSTOFF-SALDO [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]
organische N-Düngung mineralische N-Düngung N-Einträge aus Deposition	-	Sproß-N-Ertrag Silomais <sup>1</sup>	=	N-Flächenbilanz

1) Der N-Ertrag zum Erntetermin des Silomaises.

**3.4.4 Scheinbare N-Ausnutzung**

Die Berechnung der scheinbaren N-Ausnutzung (ANR, %) erfolgte über die Differenzmethode (SCHRÖDER, 1997). Diese beruht auf der Annahme, dass eine N-

Düngung die Mineralisationsprozesse bzw. die N-Aufnahme aus dem Boden nicht beeinflusst. Die ANR der geprüften Produktionssysteme (PS) ohne bzw. mit Untersaat (o. US; m. US) wurden wie folgt kalkuliert:

$$ANR[\%]_{PS\ o.\ US} = \frac{N - \text{Ertrag Silomais gedüngt} \text{ minus } N - \text{Ertrag Silomais ungedüngt}}{N - \text{Angebot}} * 100$$

$$ANR[\%]_{PS\ m.\ US} = \frac{(N - \text{Ertrag Silomais} + N - \text{Ertrag US; gedüngt}) \text{ minus } (N - \text{Ertrag Silomais} + N - \text{Ertrag US; ungedüngt})}{N - \text{Angebot}} * 100$$

Die Besonderheit am Produktionssystem mit Untersaat resultiert aus dem Umstand, dass die durch die Untersaat akkumulierten N-Mengen des Frühjahrs des folgenden Jahres in die Berechnung mit einbezogen werden. Die ANR werden nach diesem Schema sowohl für die mineralischen als auch für die Gülle N-Stufen berechnet.

### 3.4.5 Statistische Auswertung

Die statistische Verrechnung des Datenmaterials erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System) Version 8.2 (SAS<sup>®</sup>, 2002). Die mehrfaktoriellen Varianzanalysen der Merkmale wurden mit der Prozedur MIXED nach der Überprüfung der Normalverteilung der Residuen und der Homoskedastizität für die einzelnen Versuchsjahre getrennt sowie im Mittel der Versuchsjahre durchgeführt. Das Jahr ging als zufälliger Effekt (random) ein. Die Verrechnung erfolgte unter Berücksichtigung des Split-Plot-Designs des Versuches. Dieses Verfahren liefert neben den Signifikanzen der Versuchsfaktoren auch Mittelwerte LSMEANS (least squares means), sowie deren Varianz. Die Sicherungsgrenzen ( $p < 0,001 = ***$ / sehr hoch signifikant,  $p < 0,01 = **$ / hoch signifikant,  $p < 0,05 = *$ / signifikant,  $p > 0,05 = \text{n.s.}$ / nicht signifikant) und der Standardfehler des Mittelwertes (S.E.) werden in den folgenden Ergebnisdarstellungen angegeben. Regressionsbeziehungen zwischen Merkmalen wurden mit der Prozedur GLM (General Linear Model) untersucht. Die Regressionsgleichungen enthielten unabhängige Faktoren in linearer und quadratischer Form sowie die Interaktionen zwischen diesen Größen.

### 3.4.6 Funktionale Anpassung

Die Schätzung der Erträge und Qualitäten wurde in Abhängigkeit der geprüften Faktoren mit der Prozedur „NLIN“ (NonLINear regression) im Programmpaket „SAS“ (Statistical Analysis System) Version 8.2 (SAS<sup>®</sup>, 2002) durchgeführt. Für die Auswahl der Funktion war ausschlaggebend, dass häufig asymptotische Verläufe für Ertrags- und Qualitätsparameter in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung bestehen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die betrachteten Parameter einen konstanten Wert erreichen, sobald der Pflanzenbestand eine bestimmte Stickstoffmenge aufgenommen hat und eine weitere Steigerung der Stickstoffzufuhr weder eine Zu- noch Abnahme der Werte im beobachteten Wertebereich bewirkt.

Die Anpassungen erfolgten mit folgender Funktion:

$$y = m - e^{(b_0 - b_1 * x)}$$

- y= z.B. TM-Ertrag [dt ha<sup>-1</sup>]
- m= z.B. maximaler TM-Ertrag [dt ha<sup>-1</sup>]
- b<sub>0</sub>= Koeffizient mit Bedeutung für den y-Achsenabschnitt (Intercept)
- b<sub>1</sub>= Koeffizient, der die Steigung der Funktion charakterisiert
- x= eingesetzte Stickstoffmenge [kg ha<sup>-1</sup>] als mineralische N-Düngung oder als Gesamt-N-Zufuhr

### 3.4.7 Umweltindex

Während des Versuchszeitraums wurden die Witterungsdaten (siehe 3.2 Witterung) aufgezeichnet. Damit standen Informationen über Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Verdunstung während der Vegetationsperiode zur Verfügung. Mittels des Modells FOPROQ (KORNHER et al., 1991) wurde der tägliche Umweltindex für alle Kulturarten berechnet, der das tägliche Produkt aus Temperatur-, Wasser-, und Strahlungsindex darstellt. Der Umweltindex beschreibt die tägliche Umweltveränderung, bei der Werte kleiner 1 Umweltstress anzeigen.



## 4. Ergebnisse

Zunächst werden die Erträge und N-Gehalte der Untersaat DW zum Zeitpunkt der Ernte des Silomaises im Herbst und zum Zeitpunkt des Beginns der Vegetationsperiode im darauffolgenden Jahr in Abhängigkeit der organischen und mineralischen N-Düngung dargestellt. Danach folgt die Darstellung der Erträge und Qualitätseigenschaften des Silomaises zum Zeitpunkt der Kernbeerntung in Abhängigkeit der geprüften Faktoren und Wechselwirkungen.

### 4.1 Gesamtertrag an organischer Masse und aufgenommener N-Menge der Untersaat im Herbst

Tabelle 7 zeigt für die einzelnen Versuchsjahre die Varianzanalyse für den Gesamtertrag der OM (dt ha<sup>-1</sup>), den N-Gehalt (% d. TM) und den N-Ertrag (kg ha<sup>-1</sup>) der gesamten OM im Herbst, Abb. 2 beschreibt die LS MEANS. Im Mittel der Jahre beeinflusste die mineralischen N-Düngung den OM-Ertrag sehr hoch signifikant in der Weise, dass bei steigender mineralischer N-Düngung die OM-Erträge sanken. Im Durchschnitt der Versuchsjahre stieg dagegen der N-Gehalt signifikant bei Erhöhung der Gülledüngung an, bei letzterer lagen die N-Gehalte im Durchschnitt um 0,22 % höher.

Tab. 7: Einfluss der Gülledüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktion G\*N auf den Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der gesamten organischen Biomasse (oberirdisch und Wurzeln) der im Herbst geernteten Deutschen Weidelgras Untersaat der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Versuchsjahre.

Jahr/ Faktor	Gesamt- OM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	N-Gehalt [% d. TM]	Gesamt- N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]
1998			
G	***	*	n.s.
N	***	***	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
1999			
G	n.s.	n.s.	n.s.
N	***	***	**
G*N	*	n.s.	*
2000			
G	n.s.	**	n.s.
N	n.s.	n.s.	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
2001			
G	n.s.	***	n.s.
N	**	***	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
Ø '98-'01			
G	n.s.	*	n.s.
N	***	***	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.

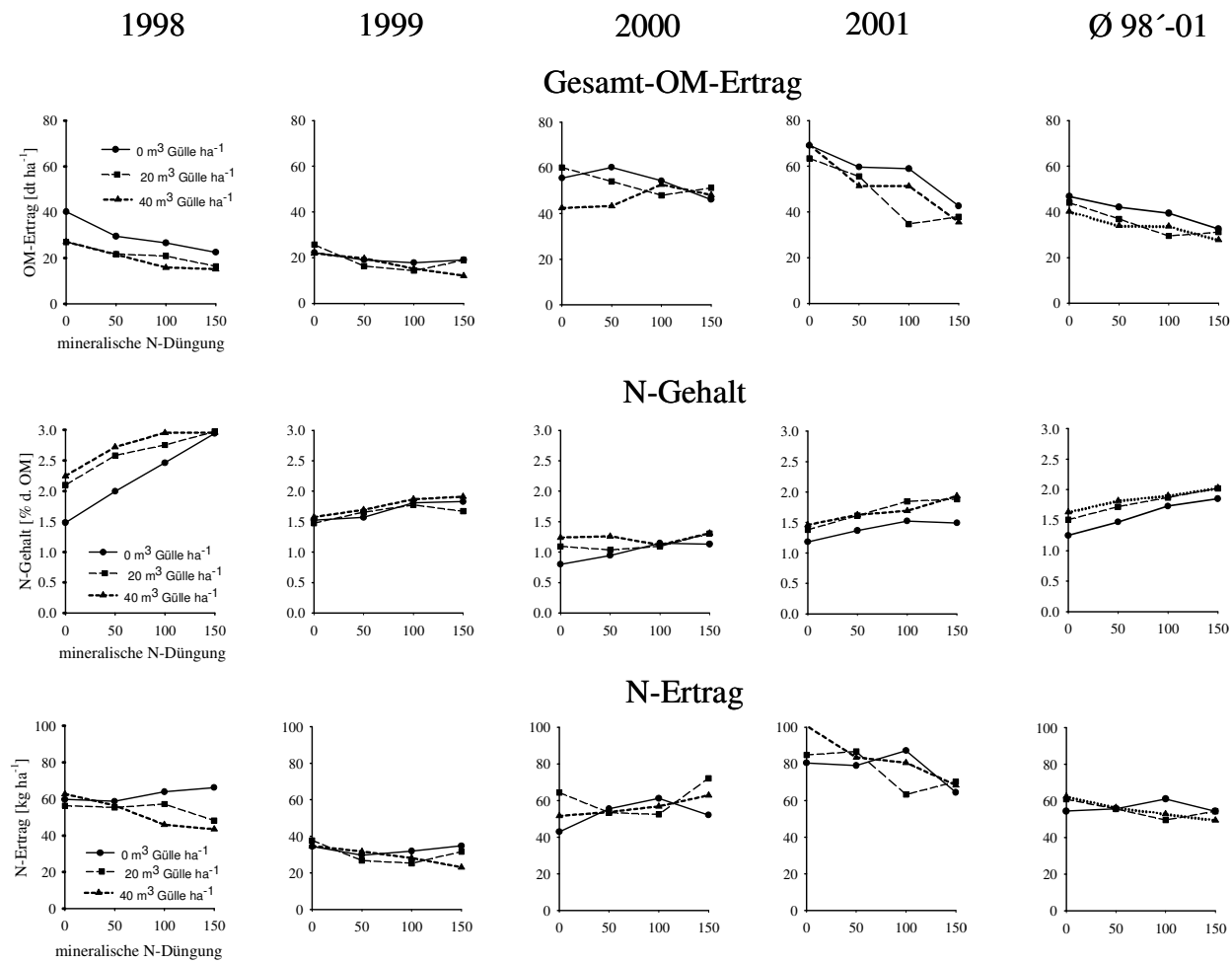


Abb. 2: Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der organischen Biomasse (oberirdisch +Wurzeln) der im Herbst geernteten Untersaat in Abhängigkeit von mineralischer und organischer N-Düngung.

Durch den Faktor mineralische N-Düngung wurden die N-Gehalte sehr hoch signifikant beeinflusst, so dass mit zunehmender mineralischer N-Düngung eine Zunahme der N-Gehalte einherging. Die Jahreseffekte äußerten sich insbesondere in Niveauunterschieden. Die Faktoren Gülledüngung und mineralische N-Düngung hatten im Mittel der Jahre keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag. Die gegenläufigen signifikanten Reaktionen von Gesamt-OM-Ertrag und N-Gehalt führten zu nicht signifikanten Effekten auf den N-Ertrag der Untersaat im Herbst. Im Mittel der Jahre hat die Untersaat im Herbst 55,6 kg N ha<sup>-1</sup> in der gesamten OM gebunden.

#### 4.2 Gesamtertrag an organischer Masse und aufgenommene N-Menge der Untersaat im Frühjahr

Im Mittel der Jahre konnte für die mineralische N-Düngung ein hoch signifikanter Einfluss auf den Gesamt-OM-Ertrag nachgewiesen werden, d. h. bei steigender mineralischer N-Düngung sanken die OM-Erträge (Tab. 8). Die Gülledüngung hatte im Mittel der Jahre keine signifikante Wirkung auf die geprüften Parameter. Im Mittel der Jahre erzielte die Untersaat im Frühjahr vor der Maisaussaat einen Gesamt-OM-

Tab. 8: Einfluss der Gülle (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktion G\*N auf den Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der gesamten OM (oberirdisch und Wurzeln) der im Frühjahr geernteten Deutschen Weidelgras Untersaat der Versuchsjahre 1999 bis 2002 und im Mittel der Versuchsjahre.

Jahr/ Faktor	Gesamt- OM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	N-Gehalt [% d. TM]	Gesamt- N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]
1999			
G	**	n.s.	*
N	***	*	**
G*N	**	**	n.s.
2000			
G	n.s.	n.s.	n.s.
N	n.s.	n.s.	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
2001			
G	n.s.	**	n.s.
N	n.s.	*	n.s.
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
2002			
G	n.s.	n.s.	n.s.
N	n.s.	n.s.	*
G*N	n.s.	n.s.	n.s.
Ø '99 - '02			
G	n.s.	n.s.	n.s.
N	**	**	**
G*N	n.s.	n.s.	n.s.

Ertrag von 38,9 dt ha<sup>-1</sup>. Der N-Gehalt der Frühjahrstermine stieg dagegen wie im Herbst bei steigender mineralischer N-Düngung hoch signifikant an und lag im Durchschnitt der Jahre und der Düngungsvarianten bei 1,64 % in der OM, nur 0,1 % niedriger als das Mittel der Herbsttermine.

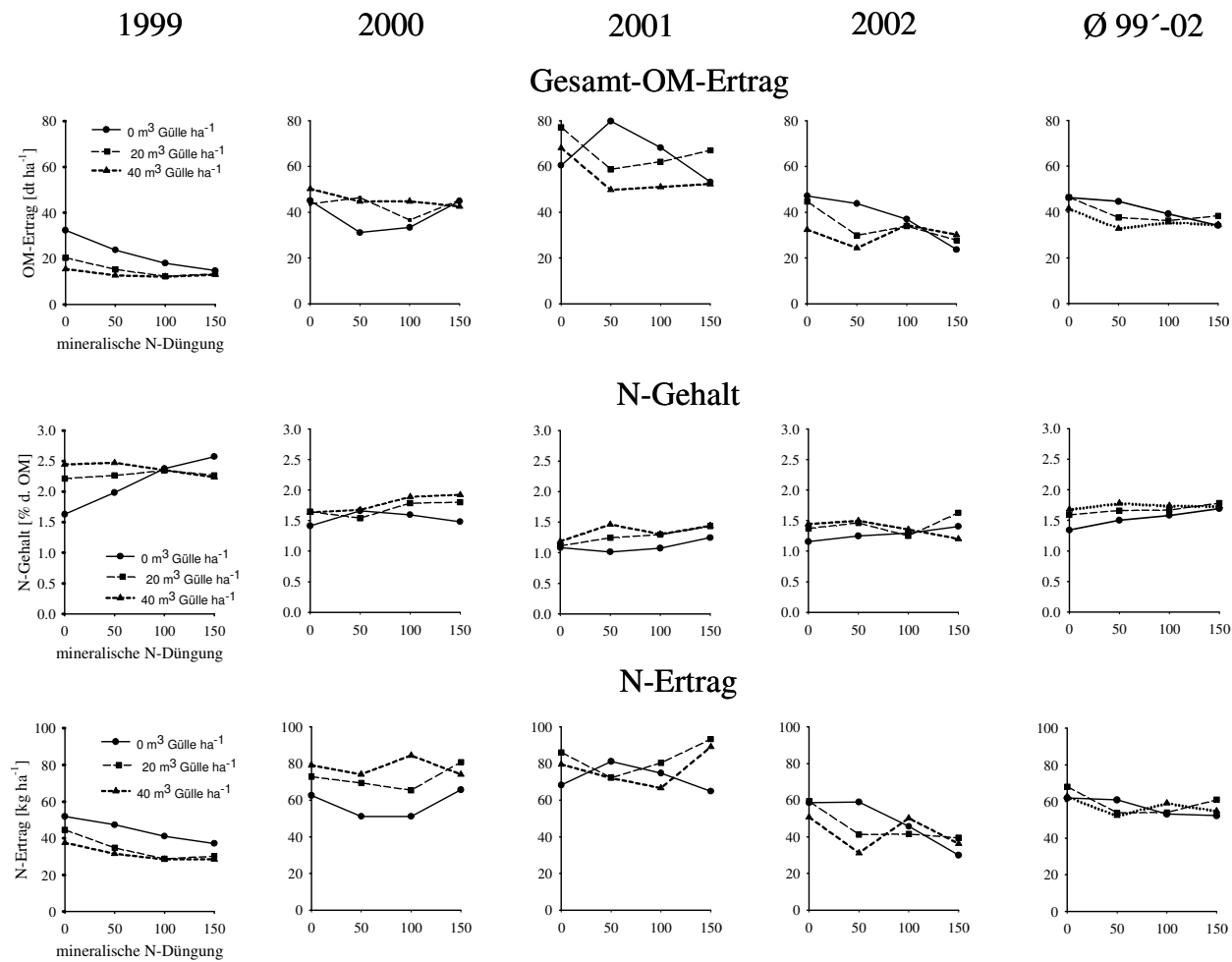


Abb. 3: Gesamt-OM-Ertrag, N-Gehalt und N-Ertrag der OM (oberirdisch + Wurzeln) der im Frühjahr gerernteten Untersaat in Abhängigkeit der mineralischen und organischen N-Düngung.

Im Mittel der Jahre hatte die mineralische Düngung einen hoch signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag im Frühjahr, diese sanken bei steigender N-Düngung. Im Frühjahr 2001 wurden im Mittel der Düngungsvarianten Maximalwerte von 77,4 kg N ha<sup>-1</sup> durch die Untersaat erreicht. Es zeigte sich außerdem im Vergleich des Herbsttermins zum folgenden Frühjahrstermin, dass ausgenommen die Winter 1998/1999 und 2001/2002, in denen ein Abfall im N-Ertrag von 19,4 bzw. 33,9 kg N ha<sup>-1</sup> zu verzeichnen war (Abb. 3), in den anderen Winterhalbjahren eine Zunahme in den N-Erträgen von 38,4 bzw. 20,8 kg N ha<sup>-1</sup> eintrat. Der Abfall im N-Ertrag wurde in den beiden Wintern offensichtlich durch Frost in Verbindung mit Schneefall und nachfolgend starken Regenereignissen verursacht, die zu einem Absterben der OM der Untersaat geführt haben. In den beiden Winterhalbjahren 1999/2000 und 2000/2001 konnte die Untersaat bei milder Winterwitterung weiterhin N aufnehmen und an Biomasse zulegen. Durchschnittlich wurden somit 58 kg N ha<sup>-1</sup> durch die Untersaat im Frühjahr gebunden, aber der Effekt der N-Düngung auf die N-Gehalte, der im Herbst deutlich nachweisbar war, war im Frühjahr trotz gesicherter Differenzen marginalisiert ( $\emptyset$  0,13 % N kg<sup>-1</sup> TM).

### 4.3 Ertrags- und Qualitätsparameter des Silomais mit und ohne Untersaat

Im Folgenden werden die Ertrags- und Qualitätsparameter und der N-Saldo des Silomais für die Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre **dargestellt**.

#### 4.3.1 TM-Ertrag Silomais

Die Ergebnisse der Varianzanalyse für den Parameter TM-Ertrag werden in Tab. 9 dargestellt. In Tab. A3 des Anhangs werden die gemittelten TM-Erträge der Einzeljahre und in Tab. A4 die gemittelten TM-Erträge des Silomais im Mittel der Versuchsjahre 1998 bis 2001 dargestellt. Die TM-Erträge des Silomais mit und ohne Untersaat werden in Abhängigkeit der Güllendüngung und der mineralischen N-Düngung in Abb. 4 dargestellt. Zusätzlich verdeutlichen die Abbildungen über die Ertragsreduktion (TM-Ertrag ohne US minus TM-Ertrag mit US, in Prozent) die durch die Untersaat bedingten Ertragsrückgänge (positive Werte). Im Mittel der Versuchsjahre besaß die Untersaat in

Tab. 9: Varianzanalyse für den TM-Ertrag des Silomais [dt ha<sup>-1</sup>] unter Einfluss der Untersaat (US), Güllendüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und den Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Faktor	TM-Ertrag Silomais					
	p < 0.05	1998	1999	2000	2001	$\emptyset$ 1998-2001
US	***	**	n.s	***	***	***
G	***	***	***	**	***	***
N	***	***	***	***	***	***
G*N	***	***	***	***	***	***
US*G	***	n.s	n.s	n.s	**	**
US*N	***	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
US*G*N	**	n.s	n.s	n.s	*	*

Kombination mit steigender Gülle- und steigender mineralischer N-Düngung (US\*G\*N) einen negativen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag des Silomais, wobei für diese Wechselwirkung das 1. Jahr der Untersaatetablierung den dominierenden Einfluss aufwies. Zu einer Ertragsreduktion kam es vor allem unter stickstofflimitierten Bedingungen. Die funktional angepassten TM-Erträge zeigen im

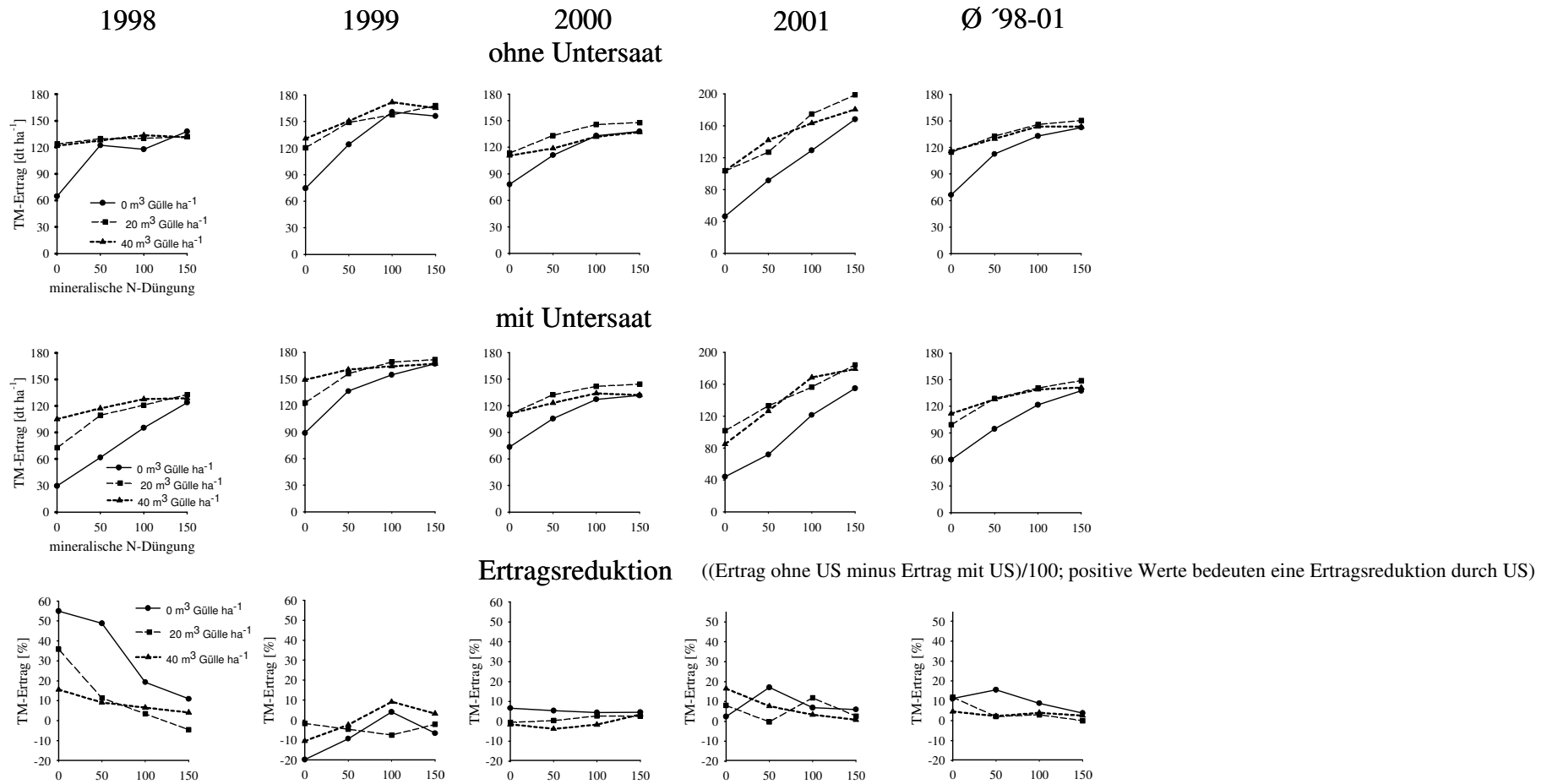


Abb. 4: TM-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und die durch Untersaat bedingte Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung.



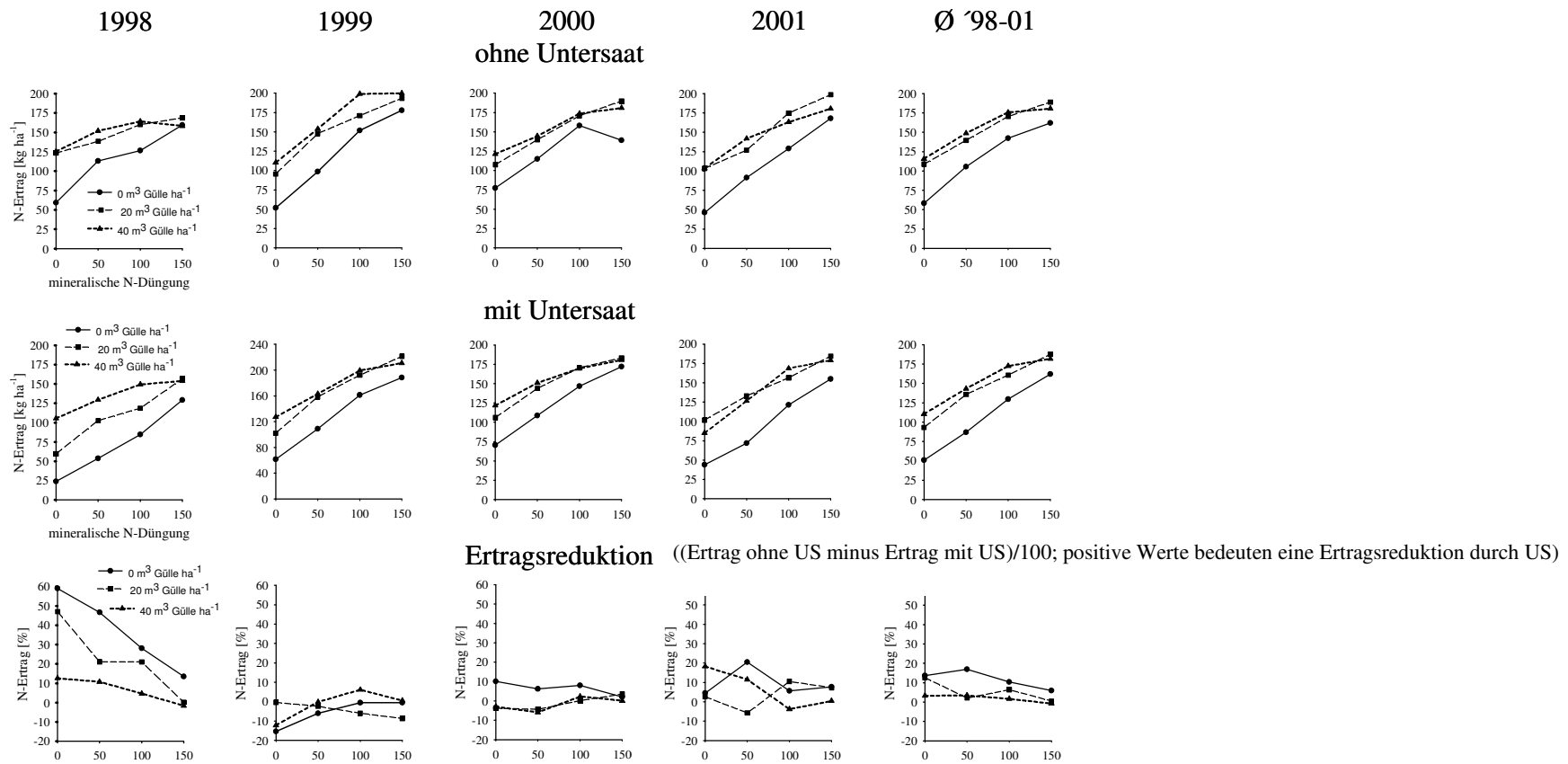


Abb. 6: N-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und die durch Untersaat bedingte Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung.



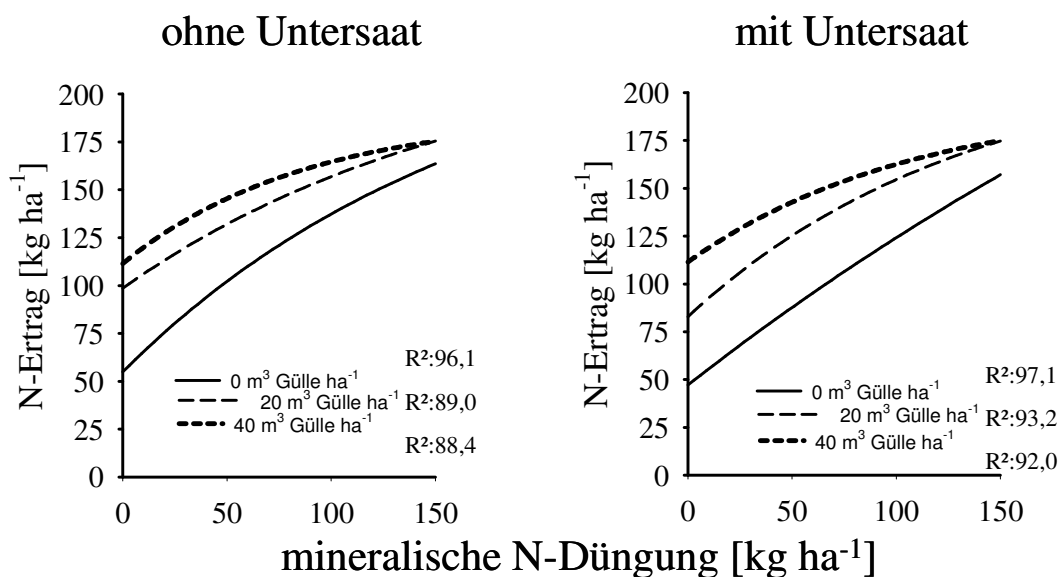


Abb. 7: Funktional angepasste N-Erträge des Silomais ohne und mit Untersaat im Mittel der vier Versuchsjahre in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung

Jahre (Tab. A5). Die Wechselwirkung G\*N führte zu sehr hoch signifikanten Unterschieden im N-Ertrag und zwar in der Weise, dass die Gülle-N-Wirkung mit steigender mineralischer N-Düngung reduziert wurde. Im Mittel der Jahre reduzierte der Hauptfaktor Untersaat den N-Ertrag des Silomais um 5%. Eine größere Ertragsreduktion trat ohne Gölledüngung bis zu einer mineralischen N-Düngung von 100 kg N ha<sup>-1</sup> und bei einer alleinigen Gabe von 20 m<sup>3</sup> Gülle ha<sup>-1</sup> auf (Abb. 7).

#### 4.3.3 NEL-Ertrag Silomais

Tabelle 11 gibt einen Überblick über das Ergebnis für den Qualitätsparameter NEL-Ertrag der Einzeljahre und im Mittel der Jahre. Im Mittel der Jahre lässt sich ein hoch

Tab. 11: Varianzanalyse für den NEL-Ertrag des Silomais [GJ ha<sup>-1</sup>] unter Einfluss der Untersaat (US), Gölledüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und den Interaktionen in den Versuchsjahren 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Faktor	NEL-Ertrag					
	p<0,05	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
US	***	***	**	n.s	***	***
G	n.s.	n.s.	***	**	n.s	***
N	***	***	***	***	***	***
G*N	***	***	***	***	***	***
US*G	***	***	n.s	n.s	n.s	**
US*N	***	***	n.s	n.s	n.s	n.s
US*G*N	**	**	n.s	n.s	n.s	*

signifikanter Einfluss der Wechselwirkung G\*N auf den NEL-Gehalt des Silomais nachweisen (Tab. A7). Die Untersaat besaß keinen signifikanten Einfluss auf den N-Gehalt des Silomais. Mit steigender N-Düngung aus Gülle und Mineraldünger stiegen die NEL-Gehalte an. Eine steigende Gölledüngung und gleichzeitig steigende mineralische N-Düngung führten in Verbindung mit dem Untersaatanbau zu signifikant unterschiedlichen NEL-Erträgen. Die Wechselwirkung US\*G\*N resultiert daraus, dass bei Untersaatanbau ein ertragsreduzierender Effekt bei geringer mineralischer N-

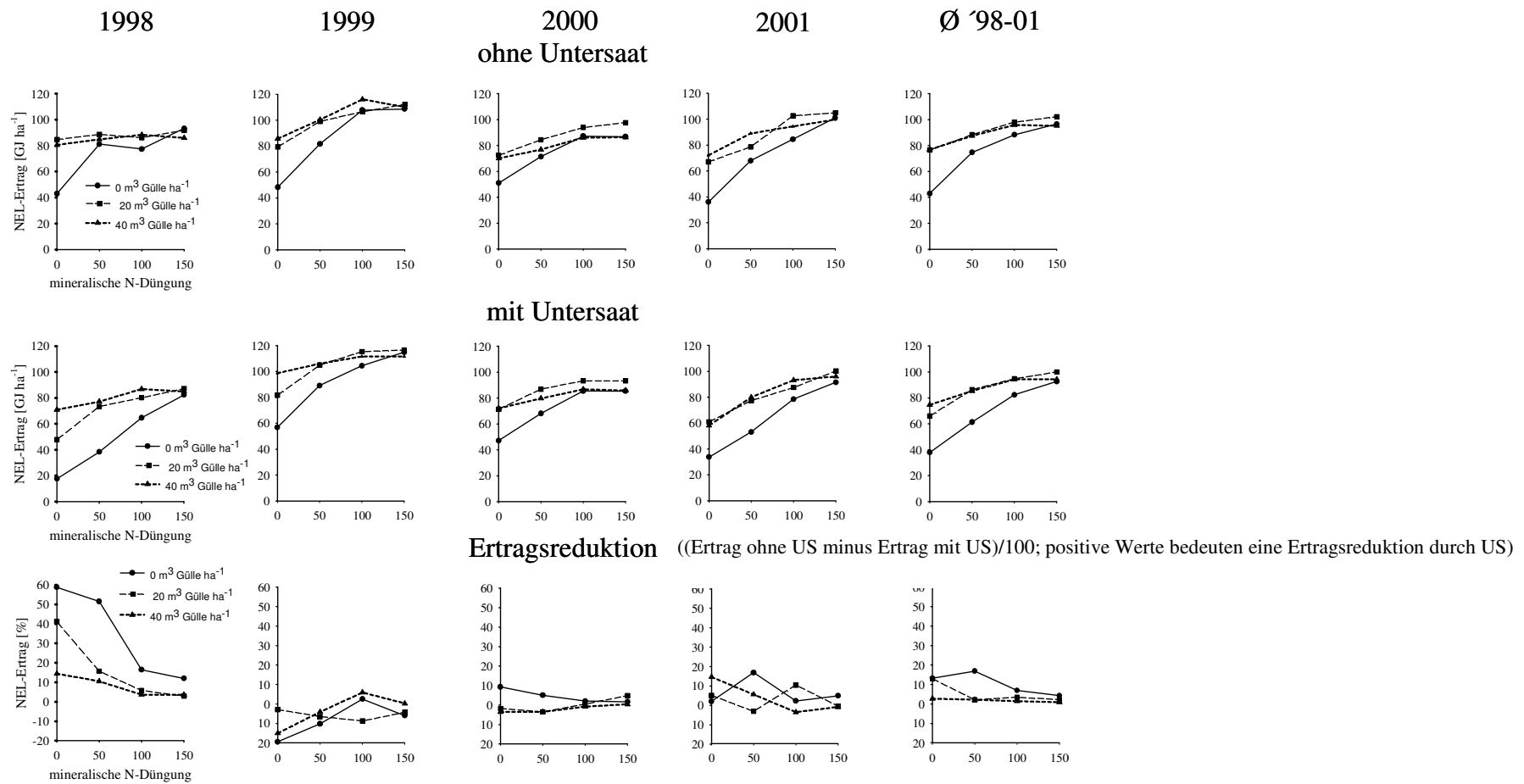


Abb. 8: NEL-Ertrag des Silomaises in den 4 Versuchsjahren und im Mittel der Jahre mit und ohne Untersaat und deren Ertragsreduktion in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung

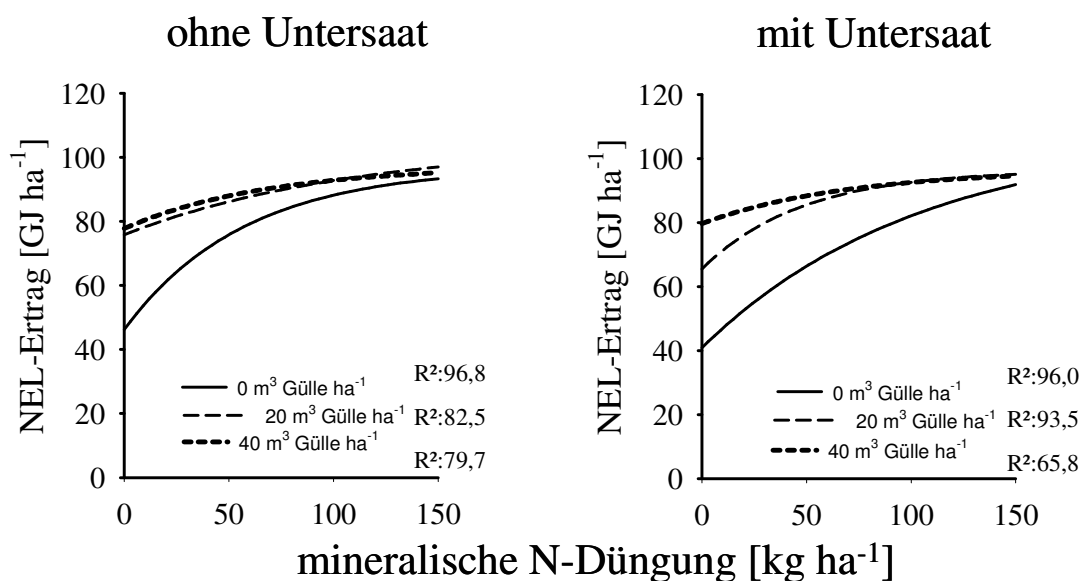


Abb. 9: Funktional angepasste NEL-Erträge des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der vier Versuchsjahre in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung.

Düngung auch in den Güllevarianten wirkt. Dieser Effekt verschwand mit steigender mineralischer N-Düngung, wobei darauf hinzuweisen ist, dass wiederum das Jahr 1998 im Wesentlichen für diesen Effekt verantwortlich war. Der Hauptfaktor Untersaat führte beim NEL-Ertrag des Silomaises im Mittel zu einer Ertragsreduktion von 5,2 %. Größere Ertragsreduktionen traten ohne Gülledüngung bis zu einer mineralischen N-Düngung von 100 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. bei einer alleinigen Gabe von 20 m<sup>3</sup> Gülle ha<sup>-1</sup> auf.

#### 4.3.4 N-Saldo des Silomaises

Tabelle 12 gibt das Ergebnis der Varianzanalyse für den N-Saldo des Silomaises der Einzeljahre als auch im Mittel der Jahre wieder. Die Wechselbeziehung G\*N hatte einen sehr hoch signifikanten Einfluss auf den N-Saldo im Mittel der Jahre und zwar

Tab. 12: Varianzanalyse für den N-Saldo des Silomaises [kg N ha<sup>-1</sup>] unter Einfluss der Untersaat (US), Gülledüngung (G) und mineralischen N-Düngung (N) und der Interaktionen in den Versuchsjahren 8 bis 2001 und im Mittel der Jahre (1998-2001).

Faktor	N-Saldo				
	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
p < 0.05					
US	***	***	n.s.	**	***
G	n.s.	***	***	***	***
N	***	***	***	***	***
G*N	***	**	**	**	***
US*G	**	n.s.	n.s.	n.s.	*
US*N	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
US*G*N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

in der Weise, dass eine steigende mineralische N-Düngung bei steigender Gülledüngung zu einer schlechteren Verwertung des N aus der Gülle führte und damit ein zunehmender Anstieg des N-Flächenbilanzsaldos ermittelt wurde. Im Durchschnitt besaß die Untersaat einen signifikanten Einfluss auf den N-Saldos von ± 16 kg N ha<sup>-1</sup>

und Jahr. Im Mittel der Jahre wurden ohne N-Düngung (nur Deposition) N-Salden von -31,4 kg (ohne Untersaat) bzw. -24,1 kg N ha<sup>-1</sup> (mit Untersaat) und Jahr ermittelt. Im hohen N-Düngungsbereich (40 m<sup>3</sup> Gülle + 150 kg mineralischer N) trat ein N-Saldo von 113 kg ha<sup>-1</sup> auf. Ein ausgeglichener N-Flächenbilanzsaldo wurde bei einer N-Düngung

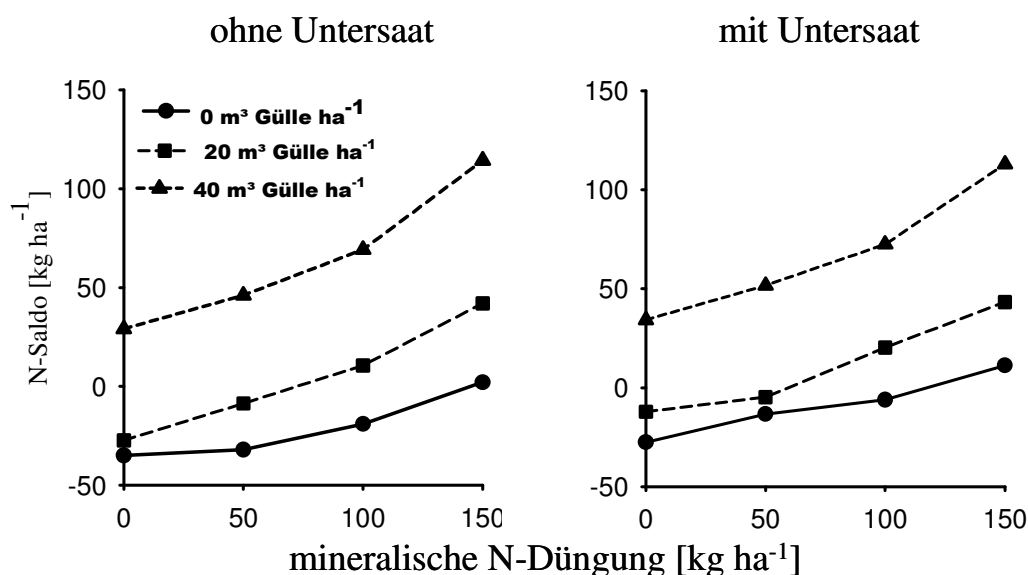


Abb. 10: Einfluss der Gülle- und mineralischen N-Düngung auf den N-Saldo des Silomaises ohne und mit Untersaat im Mittel der Versuchsjahre.

von 120 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht. Abbildung 10 zeigt die N-Salden des Silomaises ohne und mit Untersaat in Abhängigkeit des N-Inputs.

#### 4.4 Scheinbare N-Ausnutzung der Produktionssysteme Mais ohne/mit Untersaat

Im Folgenden wird die scheinbare N-Ausnutzung (ANR) der Produktionssysteme (PS) für Mais ohne Untersaat bzw. für Mais mit Untersaat jeweils bei mineralischer N-Düngung bzw. bei Gölledüngung dargestellt. Tabelle 13 zeigt das Ergebnis der Varianzanalyse für die Produktionssysteme Mais mit und ohne Untersaat. Im Mittel

Tab. 13: Varianzanalyse der scheinbaren N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der Produktionssysteme Mais ohne/mit Untersaat (US) und der mineralischen N-Düngung (N) für die Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Faktor	ANR [%]				
	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
US	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
US*N	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SE	10,2	11,0	18,5	7,9	10,7

der Jahre besaßen die Faktoren mineralische N-Düngung und Untersaat keinen signifikanten Einfluß auf die Höhe der scheinbaren N-Verwertung der PS mit und ohne Untersaat im Silomais. Abbildung 11 zeigt die Mittelwerte der ANR in Abhängigkeit

der mineralischen N-Düngung und der Versuchsjahre. Die PS ohne und mit Untersaat zeigen jahresbedingte Effekte, doch weisen diese nicht auf einen akkumulierenden Effekt durch die Untersaat hin. Die Höhe der ANR liegt bei steigender mineralischer N-Düngung im Mittel der Jahre zwischen 97 % und 74 %. Tabelle 14 weist das Ergebnis

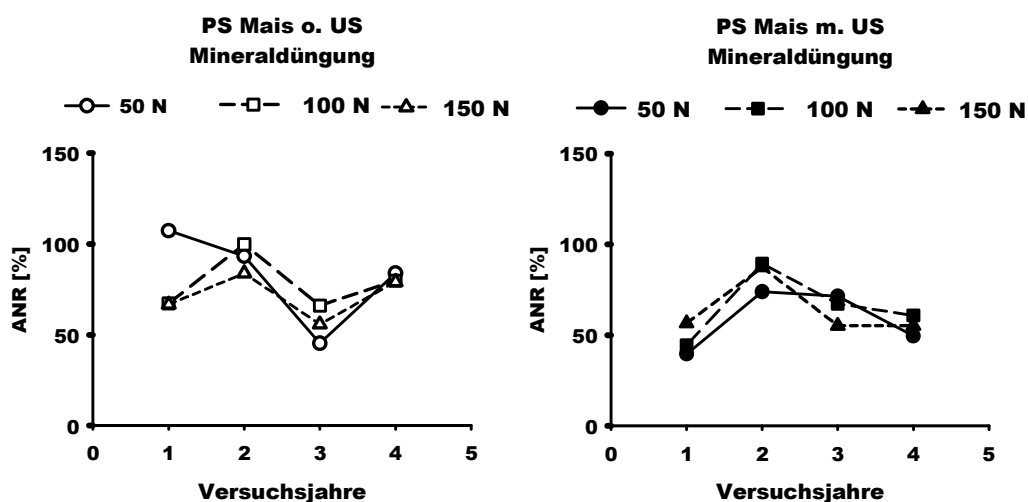


Abb. 11: Scheinbare N-Ausnutzung (ANR %) der Produktionssysteme (PS) Mais ohne und mit Untersaat (US) bei mineralischer N-Düngung in Abhängigkeit der Versuchsjahre 1 bis 4.

der Varianzanalyse für die ANR der PS mit Gülledüngung aus. Im Mittel der Jahre konnte kein Einfluss der Faktoren Gülle N-Düngung bzw. Untersaat auf die scheinbare N-Verwertung der PS ohne und mit Untersaat nachgewiesen werden. Bei einer Gülledüngung von  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  wurde im Mittel eine ANR von 68 % und bei einer Gülügebung von  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  eine ANR von 50 % erreicht.

Tab. 14: Varianzanalyse der scheinbaren N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der Produktionssysteme Mais ohne/mit Untersaat (US) und der Gülügebung (G) der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Faktor	ANR [%]				
	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
US	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
G	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
US*G	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SE	8,4	16,5	14,5	11,8	9,7

## 5. Diskussion

Die weit verbreitete Praxis des Silomais-Anbaus in Monokultur in Nordwesteuropa weist als Folge eines oft hohen Einsatzes von Wirtschaftsdünger mit zum Teil noch zusätzlicher mineralischer Ergänzungsdüngung stark positive N-Salden auf - ein Umstand der von der "guten fachlichen Praxis" weit entfernt ist. Die Folgen sind  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen ins Grundwasser (JARVIS, 1993; SCHRÖDER et al., 1996) und  $\text{N}_2\text{O}$ - bzw. Ammoniak-Verluste in die Atmosphäre (OONEMA et al., 1998), die kritisch zu würdigen sind.

Die vorliegende 4-jährige Untersuchung prüft den Einfluss der Gülle- und mineralischen N-Düngung sowie den Einfluss einer Deutschen Weidelgras Untersaat auf die Ertrags- und Qualitätsparameter sowie den N-Saldo der Deckfrucht Silomais. Die Ergebnisse werden unter folgenden Fragestellungen diskutiert:

- Wie reagiert die Untersaat Deutsches Weidelgras auf den weit gesteckten N-Düngungsgradienten?
- Welchen Einfluss hat eine Untersaat auf TM-, NEL- und N-Ertrag des Silomaises?
- Welchen Einfluss hat eine Untersaat auf den N-Saldo und die scheinbare N-Ausnutzung im Silomaisanbau?

### 5.1 Einfluss des N-Düngungsniveaus auf die Leistung der Untersaat

In unserer Untersuchung wurde ein hoch signifikanter Einfluss der mineralischen N-Düngung auf den Gesamt-N-Ertrag der Untersaat im Frühjahr festgestellt. Die Untersaat hatte vor Umbruch Anfang April im Mittel der Varianten  $58 \text{ kg N ha}^{-1}$  in der gesamten OM (inkl. Wurzeln) gespeichert. Dagegen nahm die Untersaat bis zum Vegetationsende im Mittel der Jahre unabhängig von der N-Düngung nur geringfügig weniger ( $56 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) auf. BÄR & NUNGESSER (1987) bezifferten die  $\text{NO}_3$ -Aufnahme aus den oberen Bodenschichten bis zum Vegetationsende auf 30 bis  $80 \text{ kg NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  für DW, welches bei einer Saatstärke von  $40\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$  und einer Wuchshöhe von  $40\text{-}50 \text{ cm}$  des Maises gedrillt wurde. Andere Untersuchungen berichten von N-Erträgen der oberirdischen Biomasse zu Vegetationsende zwischen  $13$  und  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  (BUCHNER, 1989; OTT & TAUBE, 1995; SCHRÖDER et al., 1996; DIJK et al., 1997) je nach Bodenart und Witterung, Aussattermin und Saadmischung. Unter Anderem konnten wir im Unterschied zu anderen Untersuchungen aufzeigen, dass das DW den N-Ertrag über die gegenläufigen signifikanten Beziehungen zwischen Gesamt-OM-Ertrag und N-Gehalt der gesamten OM bildet. Dabei führt eine steigende mineralische N-Düngung dazu, dass die OM-Erträge sinken, aber der N-Gehalt steigt, so dass die N-Erträge bei einer weiten Variation der N-Düngung nahezu gleich hoch bleiben. Gerade unter dem Aspekt möglichst geringer Produktionskosten führt eine geringe Aussaatstärke des DW zu ebenso hohen stabilen N-Erträgen wie bei hohen Aussaatstärken, da das DW den N-Gehalt in Wurzel und oberirdischer Biomasse den gegebenen Umweltbedingungen anpasst. Die frühe Seneszenz der niedrig bis gar nicht gedüngten Silomais-Varianten bewirkt ein frühes Absterben der Blätter des Silomaises und führt zu einem niedrigeren, maximalen Blattflächenindex (2,5) gegenüber den hochgedüngten Beständen (3-4). Ab Ende Juli/Anfang August erhöht sich die Lichtintensität für die Untersaat unter ungedüngten stärker als unter hochgedüngten Bedingungen. Der N-Ertrag der organischen Masse des DW unter ungedüngten Bedingungen betrug  $55 \text{ kg N ha}^{-1}$ , der Silomais dagegen erzielte unter diesen Düngungsbedingungen einen N-Ertrag von  $58 \text{ kg ha}^{-1}$ , zusammen betrachtet, zeigt es die mittelfristige Höhe der N-Nachlieferung des Standortes auf.

Die Untersaat zeigte auch in unserer Untersuchung ein hohes N-Aufnahmepotential (bis ca.  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), welches aber durch eine größere Empfindlichkeit gegenüber niedrigen Temperaturen überlagert werden kann. Dabei stellten wir im vorliegenden Versuch, wie BERENDONK (1986) und SCHRÖDER et al. (1996) fest, dass die Temperaturverhältnisse über

Winter zum Absterben der organischen Substanz geführt haben und somit den N-Ertrag der Untersaat reduzierten. Im Winter 1998/1999 wurde der mittlere N-Ertrag im Herbst von 56,2 kg N ha<sup>-1</sup> um 19,4 kg N ha<sup>-1</sup> reduziert. Auch in dem Winterhalbjahr 2001/2002 wurde der N-Ertrag von im Mittel 79,2 kg N ha<sup>-1</sup> im Herbst um 33,9 kg N ha<sup>-1</sup> reduziert. In den beiden Winterhalbjahren 1999/2000 und 2000/2001 erhöhte sich dagegen der N-Ertrag im Mittel um 38,4 bzw. 20,8 kg N ha<sup>-1</sup> auf 69,2 bzw. 77,4 kg N ha<sup>-1</sup> im Frühjahr.

BÜCHTER et al. (2001, 2003) führte in demselben Versuch Untersuchungen zu den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf den Silomaisparzellen ohne und mit Untersaat durch. Die Ergebnisse zeigen über den gesamten N-Intensitätsbereich Werte, die im Vergleich zu den Silomaisparzellen ohne Untersaat unter dem Grenzwert der EU-Trinkwasserverordnung lagen. Somit nahm die Untersaat den mineralisierten N, der über den Bedarf des Silomais hinausging, auf. Der Silomais ohne Untersaat lag bei höchster N-Düngungsintensität über dem EU-Trinkwassergrenzwert. In den mit mehr als 150 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> gedüngten Varianten ohne Untersaat wurden Auswaschungsverluste größer 40 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ermittelt. Die Sickerwasseruntersuchungen belegen, dass sowohl eine zunehmende Gülle- als auch mineralische N-Düngung das Potential eines N-Austrages erhöhen. Die weiterführenden Untersuchungen von BOBE et al. (2003) belegen ebenfalls, dass auch im Grundwasser des vorliegenden Versuchs keine wesentlich anderen Verläufe der NO<sub>3</sub>-Konzentrationen als im Sickerwasser auftraten. Die Untersaat ist in der Lage, einen großen Teil des N aus der mineralischen Düngung als auch der Gölledüngung und der Mineralisation aus dem Boden zu binden („catch crop“) und somit vor der Auswaschung zu bewahren. Der N könnte sich unter bestimmten Bedingungen z. T. noch im Bodenpool befinden, z. B. auf Grund eines hohen C/N-Verhältnisses festgelegt worden sein. Untersuchungen auf dem Standort ergaben aber für den durchwurzelten Boden C/N-Verhältnisse zwischen 24 im oberen Horizont und 20 im Unterbodenhorizont. Damit ist das C/N-Verhältnis auf einem Niveau, bei dem die Mineralisierungsprozesse der organischen Substanz ungehindert ablaufen. Das C/N-Verhältnis der Untersaat DW liegt ebenfalls im Bereich des Boden C/N-Verhältnisses, so dass der Anbau der Untersaat zu keiner Verschiebung des C/N-Verhältnisses führen dürfte. SCHRÖDER et al. (1996) stellten keine Erhöhung des N-Pool des Bodens durch die Untersaat mit Roggen oder DW fest, der N-Pool des Bodens war von der N-Düngung abhängig, das heißt, dass die N-Düngung die Mineralisierung fördert (priming effect). Die Mineralisationsrate ist auch vom pH-Wert abhängig, dieser lag im optimalen Bereich von 5,4. Weiterhin können starke Regenereignisse im Sommer den N-Vorrat im Boden erniedrigen. SCHRÖDER et al. (1996) ermittelten hierfür ca. 27 kg N ha<sup>-1</sup> bei einer Niederschlagsmenge von 100 mm. Das ist bei unseren aufgezeichneten Witterungsbedingungen auszuschließen.

Die DW Untersaat nahm unter den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen im Mittel von 4 Versuchsjahren und N-Düngung 58 kg N ha<sup>-1</sup> auf, und bewahrte somit diesen mineralisierten N vor der winterlichen Verlagerung bzw. Auswaschung.

## 5.2 Einfluss der Untersaat auf Ertrags- und Qualitätsparameter des Silomais

Die herkömmliche Bestandesführung und Düngungsstrategie beim Silomaisanbau in Monokultur werden mit den negativen Auswirkungen von Nitratverlusten in Verbindung gebracht. Die bisherigen Arbeiten deuten aber auf eine gute N-Verwertung des Pflanzenbestandes hin, wenn mineralische und wirtschaftseigene Dünger, speziell die Gülle, mengenmäßig wie zeitlich bedarfsgerecht eingesetzt werden (TAUBE et al., 1997; SCHRÖDER, 1998; GREEF et al., 1999; STICKSEL et al., 1999; WULFES et al., 2000). Nach unseren Untersuchungen und denen von VAN DIJK et al. (1997) trat unter stickstofflimitierten Bedingungen (bis 100 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) und ohne Gölledüngung ein wesentlicher ertragsmindernder Effekt im TM- und NEL-Ertrag durch die Untersaat auf. Im optimalen N-Düngungsbereich (100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) wurden im Mittel der Jahre nur sehr geringe ertragsmindernde Effekte (bis 5 %) für den TM-, N- und NEL-Ertrag ermittelt. BUCHNER

(1989) stellte fest, dass der Untersaatanbau bei praxisüblicher N-Düngung den TM-Ertrag des Kolbens, des Stängels, der Blätter und Lieschen des Silomaises nicht beeinträchtigte. Einzelne Jahre, wie 1999, können unter N limitierten Bedingungen zu höheren TM-, N- und NEL-Erträgen des Silomaises mit Untersaat führen, doch stehen diese nicht unbedingt in direktem Zusammenhang zu den N-Erträgen der untergepflügten Untersaat. Ebenso berichten HUGGER (1989), LÜTKE ENTRUP & STEMANN (1989), STEMANN et al. (1993), GARIBAY et al. (1997) und VAN DIJK et al. (1997) von Ergebnissen sowohl für Sandstandorte als auch auf Lößlehm, bei der die Untersaat bei optimaler N-Intensität aber variierten Aussatterminen, Saatstärken sowie Arten zu keinen TM-Ertragseinbußen im Silomais führte. Mit Hilfe von Bodenanalysen konnten STEMANN et al. (1993) belegen, dass vom 19. Juli bis 28. September, der Zeitraum, in dem der Mais seine wesentliche N-Aufnahme abgeschlossen hat, der  $N_{\min}$ -Wert von 142 auf 78 kg N ha<sup>-1</sup> mit Untersaatanbau deutlich abnahm. Neun dänische Untersuchungen (ANONYMUS, 1999) belegten, dass eine Aussaat von 10 kg DW bei einer Wuchshöhe des Silomaises von 25-30 cm, keine signifikanten ertragsmindernden Effekte bewirkten, und die  $N_{\min}$ -Werte im Boden unter Untersaat zurückgegangen sind. Dieses wurde auch für die Gräserart *Festuca rubra* festgestellt, doch traten hier signifikant geringere TM-Erträge beim Silomais auf. An Hand der vorliegenden Daten zeigt sich, dass der Untersaatanbau den NEL-Ertrag im N-Düngungsbereich bis 100 kg N ha<sup>-1</sup> negativ beeinflusste. Das Düngungsoptimum liegt auch mit Untersaatanbau nach wie vor im Bereich von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup>. TAUBE et al. (1997) ermittelte für den Silomaisanbau auf sandigen Böden im mittleren Schleswig-Holstein N-Düngermengen unter 100 kg N ha<sup>-1</sup>, um den maximalen NEL-Ertrag des Standortes zu erreichen. Im Vergleich zu anderen Futterpflanzen wie z.B. dem Grünland erzielt der Silomais bei gleicher N-Düngung wesentlich höhere Energieerträge und daraus resultierend bessere Energiebilanzen (KELM et al., 2004). An Hand der Daten des „N-Projektes Karkendamm“ konnten KELM et al. (2004) feststellen, dass der Silomaisanbau bei einer N-Düngungsintensität oberhalb von 80 kg N ha<sup>-1</sup> eine höhere Energieeffizienz aufwies als alle untersuchten Grünlandnutzungssysteme wie Weide, Mähweide mit 1 bis 2 Schnitten und reine Schnittnutzung. Die Weide war bis zu einer N-Düngung von 80 kg N ha<sup>-1</sup> am Energieeffizientesten. Andere Grünlandnutzungssysteme sind wesentlich ineffizienter, da mit weiterer Steigerung der N-Düngung als auch mit jedem weiteren Schnitt direkt der Energieinput durch Maschineneinsatz erhöht wurde.

Die Stickstofffreisetzung, insbesondere der untergepflügten Untersaat, ist von dem C/N-Verhältnis, insbesondere der Art der Kohlenstoffverbindung im Gras abhängig (VAN DIJK et al., 1997). Bei einem weiten C/N-Verhältnis kommt es im Boden zur Humusakkumulation, doch zu keinem weiteren Abbau der organischen Substanz. Unser Versuchsstandort mit humos-sandigem Boden, der sich zügig erwärmt aber eine geringe Feldkapazität (83 mm) aufweist, und damit zur Sommertrockenheit neigt, unterlag einer langjährigen Gülledüngung zu Mais und besaß ein C/N-Verhältnis im Ap-Horizont von 25. Die gepflügte DW Untersaat dürfte ein C/N-Verhältnis gehabt haben, welches nach THORUP-KRISTENSEN (1994) und VAN DIJK et al. (1997) für die oberirdische Biomasse zwischen 12 und 20 lag. SCHEFFER (2002) beziffert das C/N-Verhältnis für Ernte- und Wurzelrückstände von Weidelgräsern auf 35. Danach dürfte die Mineralisierung der organischen Substanz der Untersaat besonders in Verbindung mit der N-Zufuhr über die Gülledüngung (WERNER et al., 1985) ungehindert ablaufen. KUO & JELLUM (2000) zeigten in ihrem 9-jährigen Versuch mit Roggen und WW als Untersaat-Varianten, dass die Untersaat zu einer Anreicherung von organischem N im Boden führte und damit potentiell die Leistungsfähigkeit des Silomaisanbaus fördern kann. Diesen Umstand konnten unsere 4-jährigen Untersuchungen nicht untermauern. Doch zu beachten ist die geringe Menge an pflanzenverfügbarem Wasser während der Vegetation, welches sich wiederum negativ auf die Mineralisationsprozesse im Boden auswirken kann. KUO & SAINJU (1998) und STUTE & POSNER (1995) fanden heraus, dass mindestens ein 8-wöchiger Zeitraum nach Einarbeitung der Untersaat nötig war, damit 50 % des potentiell



verfügbaren N mineralisiert wurde. Neben dem C/N-Verhältnis spielen auch weitere Umweltfaktoren eine wichtige Rolle, wie z.B. die Temperatur und der Wassergehalt des Bodens (FRANKENBERGER & ABDELMAGID, 1985; SMITH et al., 1987; KUO & SAINJU, 1998). Die Konkurrenz insbesondere um das Wasser beeinträchtigt unter Beachtung der geringen Menge an pflanzenverfügbarem Wasser auf diesem Standort besonders den Maisertrag. (DIJK et al., 1997). Doch konnten für diesen Standort in keinem der Jahre Wassermangelerscheinungen ermittelt werden (KORNHER, 2004 persönliche Mitteilung). Es kann deshalb für die Perioden mit Wassermangel z. B. angenommen werden, dass ein kapillarer Wasseraufstieg auf diesem Standort stattgefunden hat. Dabei lieferte der Standort ohne jegliche N-Düngung und ohne Untersaat im Mittel der Jahre eine N-Menge von 58 kg ha<sup>-1</sup> nach. Die N-Nachlieferung kann aber in Abhängigkeit der Bodenart, der Witterung, der N-Düngung, der Bewirtschaftung und des Untersaatenbaus durchaus zwischen 60 und 140 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> betragen (VARVEL & PETERSON, 1990; SCHROEDER et al., 1996; SCHRÖDER et al., 2000).

Die optimale Höhe der Gesamt N-Düngung des Silomaisanbaus mit Untersaat liegt im Bereich von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> und ist ab einer N-Düngerhöhe von 80 kg ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu anderen Grünlandnutzungsformen wesentlich energieeffizienter.

### **5.3 Einfluss der Untersaat auf den N-Saldo und die scheinbare N-Ausnutzung im Silomaisanbau?**

Aufgrund seines hohen Ertragspotentials benötigt der Silomais neben einer ausreichenden Wasserversorgung eine N-Düngung von 150 bis über 200 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (HORNUNG, 1992; HUGGER, 1992). Die zusammenfassende Auswertung dreier Silomaisversuche in Norddeutschland mittels des Ansatzes der kritischen Rohproteinkonzentration (HERRMANN et al., 2001) ergab eine für maximale TM-Erträge notwendige N-Düngermenge (mineralisch plus organisch) von 110 bis 150 kg ha<sup>-1</sup>. Ergebnisse von WULFES et al. (2000) auf lehmigem Sand belegen für den Standort Schleswig-Holstein bei jährlicher Gülledüngung, dass eine N-Düngung oberhalb von 60 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> zu keiner nennenswerten Erhöhung des TM- und NEL- und des Stärke-Ertrages geführt hat. In dieser Untersuchung wurde anhand von 8 Sorten im Hinblick auf den N-Ertrag genotypische Unterschiede festgestellt. Die geprüften Sorten konnten in „Low- und High-Input“ Sorten differenziert werden. In unseren Untersuchungen auf einem Standort mit langjähriger Gülledüngung traten auf humos-sandigem Standort im Bereich von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> optimale TM-, N und NEL-Erträge ha<sup>-1</sup> auf. Das Gefährdungspotential einer N-Auswaschung kann auf der Basis der flächenbezogenen N-Bilanz dargelegt werden (HERSEMANN & LAMMEL, 1990; VON FISCHER, 1993). Diese stellt einen wichtigen Indikator für die bedarfsgerechte Düngungsstrategie dar und ermöglicht eine ökonomische und ökologische Optimierung der Stickstoffdüngung (ECKERT et al., 1999). Es liegen nur wenige Versuchsergebnisse zu diesem Themenbereich vor (LÜTKE ENTRUP et al., 1997). Demgegenüber gibt es zahlreiche Arbeiten, die auf Erfahrungswerten (VON FISCHER, 1993) bzw. Betriebsdaten (ZURHUSEN-BLECHER & LÜTKE ENTRUP, 1997; ECKERT et al., 1999) beruhen. Vor allem fehlen mehrjährige Untersuchungen von Silomais in Monokultur mit Untersaatenbau im Hinblick auf eine ökonomische Optimierung in Verbindung mit geringen N-Flächenbilanzsalden. Es werden derzeit in der Diskussion um die richtigen Indikatoren für eine nachhaltige Futterproduktion verschiedene Ansätze besprochen. ECKERT et al. (2000) und TAUBE et al. (2001) führen als Indikator für eine „umweltfreundliche Pflanzenproduktion“ bzw. eine „gute fachliche Praxis“ den EU-Trinkwassergrenzwert an. Im Bereich der Produktivität lässt sich der N-Saldo als Belastungsindikator anführen (ECKERT et al., 1999; HÜLSBERGEN et al., 1999). Hier schlagen ECKERT et al. (1999) einen Toleranzbereich für den N-Saldo von - 50 kg bis + 50 kg N ha<sup>-1</sup> und a<sup>-1</sup> vor. Im Durchschnitt der Milchvieh-/Futterbaubetriebe der Rinderspezialberatung in Schleswig-Holstein (ANONYMUS, 2001), wo ca. 760 Geest-Betriebe durchschnittlich eine Fläche von 20,3 ha mit

Mais bestellen, wurden ca. 34 m<sup>3</sup> Gülle ha<sup>-1</sup> (Ø N-Konzentration der Rindergülle: 3,1 kg m<sup>-3</sup>) und 53 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aus Mineraldünger ausgebracht. Es wurden ca. 103 dt TM ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> geerntet (N-Konzentration: ca. 1 kg N dt TM<sup>-1</sup>), dieses ergibt ein N-Saldo von ca. + 78 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Bei vergleichbarer N-Düngung erzielte der aufgeführte Versuch im Durchschnitt der 4 Jahre einen TM-Ertrag von ca. 140 dt ha<sup>-1</sup> mit vergleichbar hohem N-Gehalt, aber niedrigerem N-Saldo von ca. + 25 kg N ha<sup>-1</sup>. Das Potential von NO<sub>3</sub>-Austrägen mit dem Sickerwasser wächst unter solchen Praxisflächen beträchtlich an. Die Ergebnisse zeigen deutlich den pflanzenbaulichen Spielraum auf den Milchvieh-/Futterbaubetrieben auf. GUTSER & WAGNER (2000) konstatieren für gute Standorte, dass Silomais mit negativen N-Salden von - 50 bis - 80 kg ha<sup>-1</sup> gut ernährt ist, nach ihrer Aussage bietet der Silomais genau wie Kartoffeln oder Zuckerrüben den Vorteil, dass die höchsten Zuwachsraten zeitlich mit der höchsten N-Nettoreisetzung des Bodens korrespondieren. GARIBAY et al. (1997) berechneten für den konventionell angebauten Mais bei einer mineralischen N-Düngung von 110 kg N ein N-Saldo von - 122 kg N ha<sup>-1</sup> und ein N-Saldo von - 30 kg N ha<sup>-1</sup> bei einem N-Düngungsniveau von 250 kg ha<sup>-1</sup>. Wurde der Mais aber in DW gedreht, welches vorher mechanisch bzw. chemisch behandelt wurde, dann lagen die N-Salden in Abhängigkeit der beiden N-Stufen zwischen - 45 und + 21 kg N ha<sup>-1</sup>.

SCHRÖDER & DILZ (1987) zeigten, dass bei hohen Güllegaben von bis zu 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ca. 25 % des N via Sickerwasser verloren gehen. Sie zeigten ebenfalls auf, dass mit steigender Gölledüngung der Anteil N, der in der organischen Masse des Bodens akkumuliert wird, kleiner wurde. Bei Güllegaben von 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> wurden ca. 70 % des N aus der Gülle und bei Gaben von 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nur noch ca. 20-30 % akkumuliert. BÜCHTER et al. (2003) konnten aus den in 2 Jahren erhobenen Daten auf Karkendamm eine Beziehung zwischen N-Saldo des Silomais und NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser ableiten. Dabei zeichnete sich der Silomais mit Untersaat im Vergleich zum Silomais ohne Untersaat durch geringere NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser aus. Danach trägt die Untersaat auch bei hoher N-Intensität zum Grundwasserschutz bei, denn der EU-Trinkwassergrenzwert von 50 mg l<sup>-1</sup> wurde vom Silomais mit Untersaat nicht überschritten. Die N<sub>min</sub>-Werte sind nach der Silomaisernte durch die Untersaat ebenso deutlich zurückgegangen (BÜCHTER et al., 2003). Im ersten Jahr bewirkte die Untersaat in Verbindung mit zunehmender Gölledüngung (US\*G) oder zunehmender mineralischer N-Düngung (US\*N) höhere N-Salden des Silomais. Die N-Salden der Silomaisbestände mit und ohne Untersaat unterscheiden sich im Mittel der Jahre aber nicht (Tab. 13). Mittelfristig beeinflusst die Untersaat die N-Aufnahme des Silomais nicht negativ. Der N-Ertrag der Untersaat floss hier als systemimmanente Größe nicht in die Bilanzierung ein.

Die Ergebnisse über die scheinbare N-Ausnutzung des mineralischen N-Düngers belegen, dass das PS mit Untersaatanbau im Laufe der Versuchsjahre aber auch im Mittel der Jahre zu keiner höheren N-Ausnutzung geführt hat. Im Mittel der mineralischen N-Düngung erzielte der Silomais mit Untersaat einen N-Ausnutzungsgrad von 85 %, welcher im Vergleich zu SCHRÖDER (1997), der bei gleicher Höhe der mineralischen N-Düngung ohne Untersaat eine ANR von 35 % berechnete. WULFES et al. (2000) berechnen bei mineralischer N-Düngung von 30 bis 190 kg ha<sup>-1</sup> N-Ausnutzungsraten von 64 und 34 %. Dagegen ermittelten VARVEL & PETERSON (1990) scheinbare N-Ausnutzungsgrade von 93 % (90 kg mineralischer N ha<sup>-1</sup>) und 78 % bei 180 kg N ha<sup>-1</sup> für Mineraldünger bei Mais in Monokultur. Der Mais erreichte in einer Fruchtfolge mit Sojabohnen, Hirse, Hafer und Rotklee bei entsprechender mineralischer N-Düngung eine ANR von 38 bzw. 32 %. Der Silomais unserer Untersuchung wurde in seiner N-Verwertung durch die Untersaat nicht beeinträchtigt und war in der Lage den mineralischen N weitestgehend auszunutzen. Ebenso waren die ANR der Gölledüngung nicht vom Untersaatanbau signifikant beeinflusst worden. Sie erreichten im Mittel der Gölledüngung eine Höhe von 59 %. Dagegen stellten SCHRÖDER et al. (1996) fest, dass der Silomais mit Untersaat bei einer Gölledüngung von ca. 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (164 kg N) eine ANR von ca. 40 %

besaß, ohne dass der N-Ertrag der Untersaat berücksichtigt wurde. In einem früheren Versuch von SCHRÖDER et al. (1993) ermittelten sie bei einer Gülledüngung zwischen 50 und 60 m<sup>3</sup> Gülle ha<sup>-1</sup> ohne Untersaatanbau eine ANR von 25 %. Diese Ergebnisse liegen unter der N-Ausnutzung, die im zugrunde liegenden Versuch ermittelt worden sind. Die vorliegenden Ergebnisse sprechen für eine sehr hohe scheinbare Ausnutzung des gedüngten N durch den Mais und die Untersaat bei Schleppschlauchausbringung und sofortiger Einarbeitung der Gülle.

Im optimalen N-Düngungsbereich von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> wurden nahezu ausgeglichene N-Bilanzsalden erreicht. Das Produktionssystem Silomaisanbau mit und ohne Untersaat führt mittelfristig zu hohen scheinbaren N-Ausnutzungsgraden für den N aus Mineraldünger und Gülledüngung. Dieses untermauern auch die korrespondierenden NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser und die niedrigen N<sub>min</sub>-Werte im Herbst mit Untersaat.

## 6. Zusammenfassung

Als ein Teilprojekt des interdisziplinären Verbundvorhabens „N-Projekt Karkendamm“ sollte mit der vorliegenden Untersuchung geprüft werden, inwieweit eine Untersaat bei variiertem Gülle- und mineralischer N-Düngung die Leistung und das Flächenbilanzsaldo des Silomaisbaus in Monokultur beeinflusst.

Dazu wurden auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm ein vierjähriger Feldversuch auf humos-sandigem Boden mit den Faktoren Gülledüngung (0, 20 und 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mineralischer N-Düngung (0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>) und Untersaat (+/- 6 kg DW ha<sup>-1</sup>) angelegt. Die Aussaat der Untersaat erfolgte im 4 - 6 Blattstadium des Mais. Auf den Versuchsflächen wurde mehrjährig vor Versuchsbeginn Mais in Monokultur angebaut (40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> Rindergülle).

Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Im Mittel aller Varianten akkumulierte die Untersaat im Herbst in der gesamten organischen Biomasse (inkl. Wurzeln) 56 kg N ha<sup>-1</sup>.
- Mit steigender N-Düngung sank der Gesamt-OM-Ertrag der Untersaat signifikant ab, korrespondierend dazu stiegen die N-Gehalte der OM signifikant und die N-Erträge blieben unbeeinflusst von der N-Düngung.
- Der Silomais mit Untersaat führte im Vergleich zum herkömmlichen Maisanbau in Monokultur mittelfristig im optimalen Gesamt-N Düngungsbereich von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> nur zu geringen Ertragseinbußen (< 5 %) im TM-, N- und NEL-Ertrag.
- Das Produktionssystem Silomais mit bzw. ohne Untersaatanbau führt zu gleich hohen N-Flächenbilanzsalden und zu einer auf hohem Niveau liegenden scheinbaren N-Ausnutzung des mineralischen N und des Gülle N Düngers. Dieser Umstand wird auch durch die Ergebnisse aus den Sickerwasseruntersuchungen (niedrige N-Austräge) und durch die niedrigen N<sub>min</sub>-Werte bestätigt.

## 7. Literaturverzeichnis

- Alber, D., 1996. Welche Reserven liegen in der Maiszüchtung? 40. DMK-Jahrestagung, Münster.
- Anonymus, 1986. Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung), vom 22.05.1986, Teil I, 760-773.
- Anonymus, 1996. Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung), vom 26. Januar 1996, Teil I Nr.6, 118-121.
- Anonymus, 1999. The effect of undersown grass on the yield of maize and on the content of  $N_{min}$  in autumn after harvest. Oversigt over Landsforsøgene. 332.
- Anonymus, 2001. Rinder-Report 2001 – Ergebnisse aus der Rinderspezialberatung in Schleswig-Holstein. Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 554/555.
- Anonymus, 2004. Entwurf zur Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung-DüV), vom 29. Oktober 2001, Teil I Nr.6, 118-121.
- Aufhammer, W., Kübler, E. & H.-W. Becker, 1991. Stickstoffaufnahme von und Stickstoffverlagerungspotential unter Maisbeständen. Mais, 4, 30-32.
- Aufhammer, Walter 1998. Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Bedeutung, Nutzung und Anbau. Editor: Walter Aufhammer, Stuttgart Ulmer Verlag.
- Bär, A., & C. Nungesser, 1987. Retten Untersaaten den Silomaisanbau? Mais, 2, 38-41.
- Berendonk, Clara, 1986. Zwischenfruchtanbau und Untersaaten zu Mais. Mais, 2, 24-26.
- Bobe, J., M. Wachendorf, M. Büchter & F. Taube, 2003. Vergleich der Nitratkonzentrationen im Grund- und Sickerwasser bei variiertem Düngungsintensität im Dauergrünland und in einer Maismonokultur – Erste Ergebnisse -. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 15, 190-193.
- Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. Ecological Studies 33, Springer Verlag, Berlin, Hamburg, New York.
- Böse, S., 1998. „Heliotrope“-Maissorten nutzen die Sonnenenergie effizienter und versprechen Vorteile. – Neue Landwirtschaft 2, 48-51.
- Bowden, W.T., Quintana, J.A., Pereira, J., Bouldin, D.R., Reid, W.S. & D.J. Lathwell, 1988. Screening legume green manures as nitrogen sources to succeeding non-legume crops. Plant Soil, 111, 75-80.
- Büchter, M., Wachendorf, M. & F. Taube, 2001. Nitratauswaschung unter Silomais in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsform und der N-Düngungsintensität – Ergebnisse aus dem N-Projekt Karkendamm. AG Grünland und Futterbau – Tagungsband 45, 75-77.
- Büchter, M., M. Wachendorf, Karen Volkers & F. Taube, 2003. Silomaisanbau auf sandigen Böden Norddeutschlands: Einfluss von Untersaat, Gülle- und Mineral-N-Düngung auf den Nitrataustrag. Pflanzenbauwissenschaften, 7 (2), 64-74.
- Buchner, W., 1989. Maisanbau und Bodenschutz - ein Widerspruch? Mais, 1, 22-24.
- Bundessortenamt, 2001. Beschreibende Sortenliste Gräser, Klee, Luzerne 2001. Hannover Landbuchverlag.
- Crasta, O.R. & W.J. Cox, 1996. Temperature and soil water effects on maize growth, development yield and forage quality. Crop Science, 36, 341-348.
- De Boever, J.L., Cottyn, B.G., Buysse, F.X., Wainman, F.W. & J.M. Vanacker (1986). The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. Animal Feed Science and Technology, 14 (1986), 203-214.
- Deutsches Maiskomitee e.V., 1999. Sortenspiegel Mais 1999, Bonn. 12.
- Dittert, K., Georges, T., Bless, H.-G., Lin, S. & B. Sattelmacher, 1999. Stickstoffdynamik im Boden nach Gülledüngung unter besonderer Berücksichtigung der N-Pflanzenaufnahme. Pflanzenbauwissenschaften, 3, (2), 53-58.
- Dosch, P. & R. Gutser, 1994. Auch bei der Düngung sparen. Mais, 22 2, 58-61.

- Eckert, H., G. Breitschuh & D.R. Sauerbeck, 1999. Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben - *Agribiological Research*, 52 (1), 57-76
- Eckert, H., G. Breitschuh & D.R. Sauerbeck, 2000. Criteria and standards for sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 337-351.
- Edwards, P.J., C. Abivardi & W. Richner, 1999. The effects of alternative tillage systems on biodiversity in agroecosystems. In *Agrobiodiversity*. Editors: D. Wood and J.M Lennè. 305-328.
- Elers, B. & H.D. Hartmann, 1986. Biologische Konservierung von Nitrat über Winter. *VDLUFA-Schriftenreihe*, 20, 427-439.
- Engel, T. & A. Mangstl, 1988. Entwicklung des  $N_{\min}$ -Gehaltes im Herbst und Winter auf Praxisschlägen. *Mitt. Ges Pflanzenbauwissenschaften* 1, 12-14.
- Eulenstein, F., H. Drechsler, K.W. Becker & B. Meyer, 1993. Einfluß des Betriebstyps auf die Nitratverlagerung in mächtigen Lößdecken. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 6, 213-216.
- Feil, O., 2000. Maisanbau in Nordeuropa. Bedeutung und Ziele der Maiszüchtung – gestern und heute. *Mais*, 28, 128-129.
- Frankenberger, W.T.Jr. & H.M. Abdelmagid, 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant Sci.*, 87, 257-271.
- Garibay, S.V., P. Stamp, H.U. Ammon & B. Feil, 1997. Yield and quality components of silage maize in killed and live cover crop sods. *European Journal of Agronomy* 6, 179-190.
- Greef, J.M., Ott, H., Wulfes, R. & F. Taube, 1999. Growth analysis of dry matter accumulation and N uptake of forage maize cultivars affected by N supply. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 132, 31-43.
- Gutser, R. & Barbara Wagner, 2000. Gute Noten für den Maisanbau. *Mais*, 28. Jg., 2, 48-51.
- Hepting, L., 1984. Stickstoff gezielt düngen – auch zu Silomais. *Mais*, 2, 16-20.
- Herrmann, A., N. Jovanovic & F. Taube, 2001. Analyse der Stickstoffversorgung von Maisbeständen mittels des Konzepts der „kritischen Rohprotein-Konzentration“. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 13, 196-197.
- Hersemann, H. & J. Lammel, 1990. Stickstoffbilanzen auf Schlag- und Betriebsebene und deren Konsequenzen für die Stickstoffausträge. – *VDLUFA Schriftenreihe* 32, 283-287.
- Hornung, H., 1992. Ertrag und Qualität durch richtige Düngung. *Neue Landwirtschaft/Feldwirtschaft* 3/33, 54-55.
- Hülsbergen, K.-J., W. Diepenbrock & D. Rost, 1999. Konzept zur Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb. *VDLUFA Schriftenreihe*, 52, 119-122.
- Hugger, H., 1987. Silomais mit grünem Fuß. *Mais*, 2, 42-43.
- Hugger, H., 1989. Umweltschonender Maisanbau in Südbaden. *Mais*, 1, 20-21.
- Hugger, H., 1992. Stickstoffdüngung zu Mais unter Berücksichtigung der Bodennachlieferung. *Mais*, 20, 14-16.
- Hugger, H. 1993. Gibt es die Düngung nach Maß? *Mais* 21, 1, 32-35.
- Hugger, H., 1995. Ohne Risiko bei der Düngung sparen? *Mais* 23, 1, 24-25.
- Jarvis, S.C., 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil use and management* 9, 99-105.
- Jarvis, S.C., Wilkens, R.J. & P.F. Pain, 1996. Opportunities for reducing the environmental impact of dairy farming managements: a system approach. *Grass and Forage Science*, Vol. 51, 21-31.
- Kaske, A., 2000. Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Diss., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

- Kelm, M., M. Wachendorf, H. Trott, K. Volkers & F. Taube, 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science*, 59, 1-11.
- Kirchgessner, M., 1987. Tierernährung. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt (M.).
- Kuo, S. & E.J. Jellum, 2000. Long-term winter cover cropping on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol. Fertil. Soils*, 31, 470-477.
- Kuo, S. & U.M. Sainju, 1998. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biol. Fertil. Soil*, 26, 346-353.
- Lütke-Entrup, N., R. Wolf & I. Kratzer, 1992. Panel über ökologische Aspekte im Anbau von Mais. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- Lütke-Entrup, N., R. Wolf & I. Kratzer, 1993. Umweltkritische Bereiche des Maisanbaues. Verlag dr. Kovacs, Hamburg.
- Lütke-Entrup, N. & G. Stemann, 1989. Maisanbau mit Untersaaten. *Mais*, 2, 14-17.
- Maddoni, G.A. & M.E. Otegui, 1996. Leaf area, light interception and crop development in maize. *Field Crop Research*, 48, 81-87.
- Maidl, F.-X., Sticksel E. & R. Valta, 1999. Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 1. Mitteilung: Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren. *Pflanzenbauwissenschaften*, 3 (1), 9-16.
- Marten, G.C., Shenk, J.S. & F.E. Barton II (Eds.), 1989. Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS): Analysis of Forage Quality. USDA, Agriculture Handbook No. 643, 110p.
- Martinez, J. & G. Giurand, 1990. A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and the following crop. *Journal of Soil Science*, 94, 5-16.
- McCracken, D.V. M.S. Smith, J.H. Grove, C.T. MacKown & R.L. Blevins, 1994. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1476-1483.
- Meer, H.G. van der & H.P. van der Putten, 1995. Reduction of nutrient emission from ruminant Livestock farms. Occasional Symposium No. 29, British Grassland Society, 118-134.
- Mitchell, R.D.J., R. Harrison, K.J. Russell & J. Webb, 2000. The effect of crop residue incorporation date on soil inorganic nitrogen, nitrate leaching and nitrogen mineralization. *Biol. Fertil Soils*, 32, 294-301.
- Olness, A., Benoit, G.R., Van Sickle, K & J. Rinke, 1990. Effect of planting date on time and rate of nitrogen accumulation by maize (*Zea mays* L.). *J. Agron. Crop Sc.*, 164, 42-53.
- Oonema, O., Gebauer, M., Rodriguez, A. Sapek, Jarvis, S.C. Corré, W.J. & S. Yamulki, 1998. Controlling nitrous oxide emissions from grassland livestock production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 141-149.
- Ott, H. & F. Taube, 1995. Untersaaten im Silomaisanbau – eine Zwischenbilanz – Bauernblatt, Jg. 50-145, Heft 15, 38-40.
- Richter, K. & Katrin Schmalzer, 1995. Trockenmasseproduktion und N-Entzug von Silomais nach verschiedenen Zwischenfrüchten und differenzierter Stickstoffdüngung. *Das wirtschaftseigene Futter*, Band 41, Heft 2, 196-207.
- Richter, K. & Katrin Schmalzer, 1998. Einfluß der mineralischen N-Düngung auf Ertrag, Ertragsstabilität und N-Entzug von Silomais bei Mulchsaat in Zwischenfrüchte. *Pflanzenbauwissenschaften*, 2, 58-68.
- Rüegg, W.T., W. Richner, P. Stamp & B. Feil, 1998. Accumulation of dry matter and nitrogen by minimum-tillage silage maize planted into winter cover crop residues. *European Journal of Agronomy*, 8,59-69.

- Rüttimann, M., D. Schaub, V. Prasuhn & W. Rüegg, 1995. Measurements of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland-some critical considerations. *Catena*, 25, 127-139.
- SAS<sup>®</sup> Institute, 2002. SAS/STAT User's Guide, Release 8.2 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scheringer, J. & J. Isselstein, 2000. Zur Variabilität der Stickstoffeffizienz in Futterbaubetrieben Niedersachsens. *AG Grünland und Futterbau – Tagungsband 44*, 125-128.
- Schlegel, A.J., K.C. Dhuyvetter & J.L. Havlin, 1996. Economic environmental impacts of long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *Journal of Production Agriculture* 9: 114-118.
- Scholz, D., 1999. Bodenwasserhaushalt unterschiedlicher pflanzenbaulicher Produktionssysteme während der Vegetationsperiode von Böden des Versuchsgutes Karkendamm im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Geest. Diplomarbeit Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.
- Schroeder, J.J., 1997. Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer-N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.
- Schroeder, J.J., J. Groenwold & T. Zaharieva, 1996. Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root length density distribution and fertilizer application method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44, 209-225.
- Schroeder, J.J., L. ten Holte & G. Brouwer, 1997. Response of silage maize to placement of cattle slurry. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45, 249-261.
- Schroeder, J.J., 1998. Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soil. PhD Thesis Wageningen Agricultural University, 160-177.
- Schroeder, J.J., W. van Dijk & W.J.M. de Groot, 1996. Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44, 293-315.
- Schroeder, J.J., J.J. Neeteson, O. Oenema & P.C. Struik, 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, 66, 151-164.
- Schroeder, J.J. & K. Dilz, 1987. Cattle slurry and farmyard manure as fertilizers for forage maize. In: Van der Meer, H.G., R.J. Unwin, T.A. van Dijk & G.C. Ennik (Hrsg.) *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?*, 137-156.
- Severin, K. & P. Förster, 1988. Standortspezifische Nitrat- und Ammoniumuntersuchungen in Niedersachsen von 1985-1988. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, 57, 113-118.
- Shibley, P.R., J.J. Meisinger & A.M. Decker, 1992. Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. *Agronomy Journal*, 84, 869-876.
- Simon, W., Huwe & R.R. van der Ploeg, 1988. Die Abschätzung von Nitratausträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe von  $N_{\min}$ -Daten. *Z. Pflanzenern. Bodenkunde*. 156, 289-294.
- Smith, M.S., Frye, W.W. & J.J. Varco, 1987. Legume winter cover crops. *Adv. Soil Sc.*, 7, 95-139.
- Steffens, G. & H. Vetter, 1984. Stickstoffverlagerung nach Gülledüngung mit und ohne Zwischenfruchtanbau. *Landwirtschaftliche Forschung Sonderheft 40*, 355-362.
- Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, 2002. Hrsg. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Landwirtschaftsverlag Münster, 46. Jahrgang
- Stemann, G., Lütke-Entrup, N. & F.-F. Gröblichhoff, 1993. Maisanbau mit Gras-Untersaat – ein Baustein zu mehr Umweltschutz. *Gesunde Pflanzen*, 45 Jg., Heft 5, 171-177.



- Sticksel, E., 1994. Experimentelle Untersuchungen und Modellrechnungen zum boden- und nutzungsbedingten Nitrataustrag in einem Trinkwasserschutzgebiet. Diss. TU München-Weihenstephan.
- Sticksel, E., F.-X. Maidl & R. Valta, 1999. Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 2. Mitteilung: Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais. *Pflanzenbauwissenschaften*, 3 (1), 17-21.
- Stute, J.K. & J.L. Posner, 1995. Synchrony between legume and nitrogen release and corn demand in the upper midwest. *Agron. J.*, 87, 1063-1069.
- Taube, F. & M. Wachendorf, 2000. The Karkendamm Project: A system approach to optimize nitrogen use efficiency on the dairy farm. *Grassland Science in Europe*, 5, 449-451.
- Taube, F., Wachendorf, M., Greef, J.M. & R. Wulfes, 1997. Perspektiven semi-intensiver Produktionssysteme in Milchvieh-/Futterbauregionen Norddeutschlands. – *Berichte über Landwirtschaft*. 75, 586-603.
- Taube, F., Wachendorf, M. & R. Loges, 2001. Auswirkungen reduzierter Produktionsintensitäten im Futterbau auf Qualität und ökologische Effekte. *Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel*, 71-81.
- Tillmann, P., 1996. Kalibrationsentwicklung für NIRS-Geräte. Eine Einführung. Cuvillier Verlag, Göttingen, Göttingen 1996, 98p.
- Thorup-Kristensen, K., 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research*, 37, 227-234.
- Van Dijk, W., J. Schröder, L. ten Holte & W. de Groot, 1997. Binden Zwischenfrüchte ausreichend Stickstoff? *Mais*, 25. Jg., 2, 64-67.
- Varvel, G.E. & T.A. Peterson, 1990. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. *Agron. J.*, 82, 935-938.
- Volkers, K.C., Wachendorf, M., Loges, R., Jovanovic, N.J. & F. Taube, 2003. Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, 109, 183-194.
- Von Fischer, D., 1993: Mit der Bilanzierung Geld sparen? *Mais*, 2, 74-77.
- Wagger, M.G., 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agron. J.*, 81, 533-538.
- Walter, U. & F. Jäggi, 1989. Pflanzen- und umweltgerechte Stickstoffdüngung des Mais. *Mais*, 2, 18-21.
- Weber, E. & H. Bleicholder, 1990. Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse – mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen* 42, 308-321.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996a. Estimation of the metabolizable energy in forages by a cellulase-method. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 115.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996b. Simplified method for calculation of NEL from metabolizable energy. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 117.
- Wellbrock, N., 2002. Veränderungen und ökosystemare Bewertung der atmosphärischen Deposition eines Buchenwaldes und Übertragung des Bewertungskonzeptes auf ausgewählte Waldökosysteme in Schleswig-Holstein. *EcoSys – Beiträge zur Ökosystemforschung*, 35.
- Werner, W., Scherer, H.W. & D. Drescher, 1985. Untersuchungen über den Einfluß langjähriger Gülledüngung auf N-Fractionen und N-Nachlieferung des Bodens. *J. Agronomy & Crop Science*, 155, 137-144.
- Wulfes, R., Ott, H. & F. Taube, 2000. Effects of reduced nitrogen application rates on the herbage yield and quality of forage maize. *Grassland Science in Europe*, 5, 140-142.
- Wulfes, R., 1993. Wachstumsanalytische Untersuchungen zur Dynamik der Qualitätsentwicklung von Deutschem Weidelgras und Knaulgras im Vegetationsablauf in

Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und vom Standort. Dissertation, Universität Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Lehrstuhl Grünland und Futterbau.

8. Anhang

Tab A1 Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Gesamt-OM-Ertrages, N-Gehaltes und N-Ertrages der Untersaat (oberirdisch und Wurzeln) in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung für die Herbsttermine (1998-2001) .

Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1998 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			1999 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			2000 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			2001 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			1998-2001 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	40,20	26,95	27,07	22,23	25,67	21,89	55,50	60,14	42,41	69,13	63,43	69,44	46,76	44,04	40,20
50	29,44	21,70	21,48	19,03	16,35	19,68	60,20	53,98	43,27	59,67	55,52	51,39	42,09	36,89	33,95
100	26,56	20,85	15,82	17,83	14,32	15,17	54,35	47,97	52,65	58,94	34,72	51,35	39,41	29,46	33,75
150	22,49	16,38	15,12	19,06	18,90	12,09	46,12	51,23	48,16	42,61	37,91	35,61	32,56	31,10	27,74
S.E.	2,86			2,06			6,13			8,54			3,04		
Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1998 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			1999 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			2000 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			2001 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			1998-2001 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	1,48	2,10	2,25	1,53	1,48	1,58	0,80	1,10	1,24	1,18	1,38	1,46	1,25	1,51	1,63
50	1,99	2,58	2,72	1,57	1,66	1,69	0,95	1,04	1,26	1,37	1,61	1,63	1,47	1,72	1,82
100	2,46	2,75	2,95	1,81	1,77	1,87	1,15	1,10	1,12	1,52	1,85	1,69	1,73	1,87	1,90
150	2,94	2,97	2,96	1,83	1,67	1,91	1,13	1,31	1,31	1,49	1,88	1,94	1,85	2,02	2,03
S.E.	0,15			0,10			0,11			0,14			0,09		
Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1998 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			1999 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			2000 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			1998-2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	59,72	56,33	62,72	34,53	37,85	34,73	42,95	64,37	51,59	80,60	84,95	100,84	54,45	60,88	62,47
50	58,70	55,37	56,48	29,74	26,82	31,76	55,49	53,40	53,71	79,12	86,85	83,64	55,76	55,61	56,40
100	63,91	57,21	45,93	31,97	25,34	28,18	61,20	52,50	56,86	87,34	63,33	80,71	61,10	49,59	52,91
150	66,23	48,15	43,46	34,85	31,68	23,15	52,07	72,20	62,91	64,48	70,34	68,44	54,41	54,38	49,49
S.E.	7,16			3,42			5,39			10,21			4,31		

Tab A2 Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Gesamt-OM-Ertrages, N-Gehaltes und N-Ertrages der Untersaat (oberirdisch und Wurzeln) in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung für die Frühjahrstermine (1999-2002) .

Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1999 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			2000 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			2001 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			1999-2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	32,36	20,35	15,44	45,05	43,63	50,23	60,47	77,13	68,10	47,16	44,64	32,32	46,26	46,44	41,52
50	23,77	15,27	12,65	31,13	46,39	44,66	79,77	58,73	49,74	43,77	29,85	24,40	44,60	37,56	32,86
100	17,97	12,30	12,07	33,34	36,59	44,80	68,20	62,03	51,02	37,00	33,99	34,40	39,12	36,22	35,57
150	14,74	13,30	12,04	44,88	45,32	42,53	53,22	67,02	52,34	23,69	27,74	30,12	34,13	38,34	34,48
S.E.	2,14			6,74			10,71			9,67			3,35		
Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1999 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			2000 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			2001 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			1999-2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	1,63	2,21	2,44	1,41	1,65	1,63	1,08	1,11	1,19	1,16	1,37	1,44	1,34	1,59	1,68
50	1,99	2,26	2,47	1,66	1,54	1,67	1,01	1,24	1,46	1,25	1,46	1,50	1,50	1,66	1,78
100	2,38	2,35	2,35	1,60	1,79	1,89	1,07	1,30	1,30	1,29	1,25	1,35	1,58	1,67	1,74
150	2,57	2,27	2,24	1,48	1,80	1,02	1,25	1,44	1,44	1,41	1,63	1,20	1,69	1,78	1,73
S.E.	0,12			0,16			0,09			0,15			0,09		
Untersaat Mineral. N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1999 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			2000 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			1999-2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		
	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	20 m <sup>3</sup> Gülle	40 m <sup>3</sup> Gülle
0	51,91	44,55	37,59	62,58	72,80	79,00	68,23	86,07	79,50	58,61	59,37	50,73	61,86	68,07	62,72
50	47,34	34,78	31,52	51,14	69,40	74,12	81,16	72,24	72,10	59,00	41,29	31,17	60,84	53,85	52,22
100	41,12	28,78	28,46	51,15	65,42	84,42	74,77	80,36	66,60	45,69	41,52	50,21	53,18	54,02	59,14
150	37,18	30,19	28,47	65,64	80,81	74,02	64,86	93,33	89,10	29,98	39,45	36,21	52,26	60,94	54,83
S.E.	4,29			10,38			13,61			8,61			4,65		

Tab A3 Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) des TM-Ertrages des Silomaises in den Versuchsjahren 1997, 1998, 1999, 2000 und 2001 in Abhängigkeit der Untersaat, GÜlledüngung und mineralischen N-Düngung

Faktor	Faktor	Faktor	1998	1999	2000	2001
Untersaat Mit/Ohne	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]			
Ohne	0	0	64.7	74.6	78.0	46.2
Ohne	0	50	122.3	124.1	111.1	91.3
Ohne	0	100	117.9	160.7	133.0	129.1
Ohne	0	150	137.8	156.1	137.7	168.1
Ohne	20	0	123.8	120.4	113.3	103.3
Ohne	20	50	129.8	149.0	133.2	126.9
Ohne	20	100	130.1	157.5	145.6	174.7
Ohne	20	150	132.1	167.9	147.8	198.6
Ohne	40	0	121.7	130.8	110.5	103.4
Ohne	40	50	127.7	150.7	118.7	141.9
Ohne	40	100	133.7	171.8	131.7	163.2
Ohne	40	150	131.4	165.2	137.0	180.5
Mit	0	0	29.6	88.9	73.4	44.0
Mit	0	50	61.8	136.2	105.4	71.9
Mit	0	100	95.3	154.7	127.2	121.5
Mit	0	150	123.8	167.2	131.6	154.9
Mit	20	0	72.8	122.9	110.2	101.7
Mit	20	50	109.5	155.9	132.3	132.9
Mit	20	100	120.8	169.1	141.8	156.4
Mit	20	150	132.7	171.8	144.3	184.5
Mit	40	0	105.1	149.0	110.8	85.0
Mit	40	50	117.3	160.6	123.2	126.5
Mit	40	100	127.7	164.2	133.9	168.4
Mit	40	150	128.6	167.0	132.0	179.2
S.E.			4.9	5.3	4.9	7.4

Tab A4 Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) des TM-, N-, NEL-Ertrages und der N-Saldo des Silomais im Mittel der Versuchsjahre (1998 bis 2001) in Abhängigkeit Untersaat, Gülledüngung und mineralischen N-Düngung.

Faktor	Faktor	Faktor	Ø 1998-2001			
Untersaat Mit/Ohne	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	TM- Ertrag Silomais [kg ha <sup>-1</sup> ]	N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	NEL- Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]	N-Saldo* [kg ha <sup>-1</sup> ]
Ohne	0	0	66.5	58.3	42.9	-34.9
Ohne	0	50	112.6	105.4	74.7	-32.0
Ohne	0	100	132.9	142.4	88.3	-19.0
Ohne	0	150	142.5	162.1	96.6	2.1
Ohne	20	0	114.6	108.8	76.6	-27.3
Ohne	20	50	132.8	139.6	88.4	-8.6
Ohne	20	100	145.9	170.5	98.0	10.6
Ohne	20	150	150.5	189.0	102.3	42.0
Ohne	40	0	116.0	115.8	76.8	29.1
Ohne	40	50	129.7	148.8	87.4	46.1
Ohne	40	100	143.6	175.7	95.9	69.2
Ohne	40	150	143.5	180.6	95.2	114.3
Mit	0	0	59.6	51.0	37.9	-27.5
Mit	0	50	94.4	86.8	61.3	-13.3
Mit	0	100	121.6	129.5	82.4	-6.1
Mit	0	150	137.5	162.1	92.6	11.3
Mit	20	0	99.1	93.1	65.9	-12.1
Mit	20	50	128.8	135.8	86.3	-4.8
Mit	20	100	140.7	160.7	94.7	20.3
Mit	20	150	149.0	187.8	100.0	43.3
Mit	40	0	111.6	110.6	74.6	34.3
Mit	40	50	127.8	143.2	85.4	51.7
Mit	40	100	139.0	172.4	94.2	72.5
Mit	40	150	141.1	181.9	94.2	113.0
S.E.	/	/	2.7	4.7	1.9	4.3

\* im N-Input sind 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> als Deposition enthalten

Tab A5 Ergebnisse der Varianzanalyse des N-Gehaltes des Silomaises in den Versuchsjahren und im Mittel der Versuchsjahre (1998-2001) in Abhängigkeit Untersaat (US) der Gülledüngung (G), der mineralischen N-Düngung (N) und deren Interaktionen sowie der Standardfehler (S.E.).

Faktor	N-Gehalt [% kg <sup>-1</sup> TM]				
	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
US	***	**	n.s	n.s	n.s
G	***	***	***	***	***
N	***	***	***	***	***
G*N	*	n.s	n.s	n.s	n.s
US*G	**	n.s	n.s	n.s	n.s
US*N	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
US*G*N	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
S.E.	0.04	0.03	0.07	0.03	0.02

nicht signifikant: n.s.>0.05; signifikant: \*<0.05, \*\*<0.01, \*\*\*<0.001

Tab A6 Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) des N-Ertrages des Silomaises in den Versuchsjahren 1997, 1998, 1999, 2000 und 2001 in Abhängigkeit der Untersaat, Gülledüngung und mineralische N-Düngung.

Faktor	Faktor	Faktor	1998	1999	2000	2001
Untersaat Mit/Ohne	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]			
Ohne	0	0	59.2	51.7	77.3	46.1
Ohne	0	50	113.0	98.7	114.8	91.3
Ohne	0	100	126.7	151.8	158.2	129.1
Ohne	0	150	159.5	177.8	139.0	168.1
Ohne	20	0	123.5	95.5	107.6	103.3
Ohne	20	50	138.5	147.8	140.0	126.9
Ohne	20	100	160.1	171.0	170.8	174.7
Ohne	20	150	169.0	193.4	189.8	198.6
Ohne	40	0	125.5	110.2	121.3	103.4
Ohne	40	50	152.1	153.9	144.5	141.9
Ohne	40	100	164.2	199.1	173.6	163.2
Ohne	40	150	158.3	199.9	180.9	180.5
Mit	0	0	24.0	61.5	70.6	44.0
Mit	0	50	53.9	108.8	108.7	71.9
Mit	0	100	84.8	161.3	146.7	121.5
Mit	0	150	129.1	188.4	172.1	154.9
Mit	20	0	59.8	102.0	106.1	101.7
Mit	20	50	102.8	158.5	143.8	133.0
Mit	20	100	118.7	192.1	170.5	156.4
Mit	20	150	156.8	221.3	183.3	184.5
Mit	40	0	105.5	127.1	121.6	85.0
Mit	40	50	129.6	162.9	150.9	126.5
Mit	40	100	149.4	199.2	169.7	168.5
Mit	40	150	153.9	210.7	180.6	179.2
S.E.			7.2	7.5	10.8	7.4

Tab A7 Ergebnisse der Varianzanalyse des NEL-Gehaltes des Silomaises in den Versuchsjahren und im Mittel der Versuchsjahre (1998-2001) in Abhängigkeit der Untersaat (US), Gülledüngung (G) und der mineralischen N-Düngung (N) und deren Interaktionen.

Faktor	NEL-Gehalt (MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> )				
p< 0.05	1998	1999	2000	2001	Ø 1998-2001
US	**	n.s	*	n.s	n.s
G	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
N	n.s	***	*	*	***
G*N	**	**	n.s	*	**
US*G	**	n.s	n.s	n.s	n.s
US*N	**	n.s	n.s	n.s	n.s
US*G*N	n.s	n.s	*	n.s	n.s
S.E.	0.10	0.07	0.08	0.10	0.05

nicht signifikant: n.s.>0.05; signifikant: \*<0.05, \*\*<0.01, \*\*\*<0.001



Tab A8 Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) des NEL-Ertrages des Silomaises in den Versuchsjahren 1997, 1998, 1999, 2000 und 2001 in Abhängigkeit der Untersaat, Gülledüngung und mineralische N-Düngung.

Faktor	Faktor	Faktor	1998	1999	2000	2001
Untersaat Mit/Ohne	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]			
Ohne	0	0	42.9	48.3	50.9	35.9
Ohne	0	50	81.2	81.7	71.4	67.9
Ohne	0	100	77.4	107.7	87.2	84.4
Ohne	0	150	93.2	108.7	86.3	101.0
Ohne	20	0	84.7	79.4	72.5	67.1
Ohne	20	50	88.6	99.1	84.4	78.6
Ohne	20	100	86.2	106.6	93.8	102.7
Ohne	20	150	91.8	112.2	97.7	104.8
Ohne	40	0	80.6	85.7	70.0	72.2
Ohne	40	50	84.9	100.4	76.8	88.9
Ohne	40	100	88.3	116.1	86.0	94.4
Ohne	40	150	85.9	110.2	86.3	99.7
Mit	0	0	17.6	56.9	47.2	33.7
Mit	0	50	38.4	89.1	68.1	53.1
Mit	0	100	64.6	104.4	85.5	78.5
Mit	0	150	82.3	114.9	85.3	91.4
Mit	20	0	47.8	81.6	71.4	61.0
Mit	20	50	73.4	104.9	86.9	77.4
Mit	20	100	80.1	115.3	93.3	87.5
Mit	20	150	87.2	116.6	93.3	100.2
Mit	40	0	70.8	98.7	72.0	58.1
Mit	40	50	77.1	106.0	79.7	80.0
Mit	40	100	86.8	111.6	86.7	96.0
Mit	40	150	84.9	111.7	85.8	96.0
S.E.			3.6	3.7	3.3	3.8

Tab A9 Regressive Anpassung der TM-, N- und NEL-Erträge des Silomaises mit Untersaat im Mittel von 4 Versuchsjahren (1998-2001) in Abhängigkeit der N-Düngung (X).

Y Mit Untersaat	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Regression $y=m-(\exp(b_0-b_1*x))$				
		Intercept m	b0	b1	R <sup>2</sup> §	S.E. §
TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	0	158.8632	4.5467	0.0098	96.0	5.9
	20	146.5893	3.8512	0.0184	93.1	4.5
	40	144.9165	3.1945	0.0159	70.1	5.9
N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	0	458.5575	6.0194	0.0020	97.1	7.6
	20	219.9678	4.9206	0.0074	93.2	10.1
	40	196.4428	4.4427	0.0092	92.0	7.6
NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	0	107.6488	4.2010	0.0096	96.0	4.2
	20	96.4361	3.4312	0.0208	93.5	3.3
	40	96.4558	2.8210	0.0145	65.8	4.4

§ Bestimmtheitsmaß

§ Standardfehler

Tab A10 Regressive Anpassung der TM-, N- und NEL-Erträge des Silomaises ohne Untersaat im Mittel von 4 Versuchsjahren (1998-2001) in Abhängigkeit der N-Düngung (X).

Y Ohne Untersaat	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Regression $y=m-(\exp(b_0-b_1*x))$				
		Intercept m	b0	b1	R <sup>2</sup> §	S.E. §
TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	0	146.1	4.0308	0.01789	96.5	5.4
	20	148.23	3.5298	0.0146	86.8	4.8
	40	153.4	3.5171	0.0100	81.4	5.1
N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	0	239.93	5.2205	0.0059	96.1	8.8
	20	229.4	4.8734	0.0059	89.0	10.9
	40	189.5	4.3572	0.0114	88.4	9.4
NEL-Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]	0	96.9	3.9276	0.0175	96.8	3.54
	20	104.5	3.3558	0.0089	82.5	3.93
	40	97.3	2.9714	0.0147	79.7	3.6

§ Bestimmtheitsmaß

§ Standardfehler

Tab A11: Funktionale Anpassung der N-Salden des Silomaises ohne (-US) und mit Untersaat (+US) der Versuchsjahre 1997 bis 2001 und im Mittel von 4 Versuchsjahren (1998-2001) in Abhängigkeit der N-Düngung (X).

Jahr	Untersaat	Regression $f = y_0 + ax + bx^2$				
		$y_0$	$a$	$b$	$R^2$ §	S.E. §
		/	/	/	/	/
1998	- US	-47.2655	-0.1383	0.0031	94.1	11.8
	+ US	12.1365	-0,2466	0,0022	99,5	2,2
1999	- US	-33.8641	0.0281	0.0016	84.3	20.3
	+ US	-52.6435	0.4489	-0.0023	72.3	27.0
2000	- US	-51.7720	0.1574	0.0017	91.5	20.0
	+ US	-44.4800	0.0835	0.0020	93.7	16.7
2001	- US	-32.1113	0.1352	0.0009	86.9	19.8
	+ US	-29.1059	0.1834	0.0012	84.0	21.5
Mittel 98-01	- US	-39.9145	0.00844	0.0012	92.5	14.7
	+ US	-33.4914	0.2805	-0.0004	92.1	13.5

§ Bestimmtheitsmaß

§ Standardfehler

Tab A12 Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/ S.E.) des N-Saldo des Silomaises in den Versuchsjahren 1997, 1998, 1999, 2000 und 2001 in Abhängigkeit der Untersaat, GÜlledüngung und mineralischen N-Düngung.

Faktor	Faktor	Faktor	1998	1999	2000	2001
Untersaat Mit/Ohne	Gülle [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]			
Ohne	0	0	-39.3	-31.8	-47.4	-26.2
Ohne	0	50	-43.1	-28.7	-35.6	-21.3
Ohne	0	100	-6.7	-31.8	-29.0	-9.1
Ohne	0	150	10.5	-7.8	4.6	1.9
Ohne	20	0	-67.5	-7.5	-10.5	-17.3
Ohne	20	50	-32.5	-9.8	2.3	9.1
Ohne	20	100	-4.1	17.0	21.5	11.3
Ohne	20	150	37.0	44.6	52.5	37.4
Ohne	40	0	-33.4	45.8	51.7	48.6
Ohne	40	50	-10.0	52.1	78.5	60.1
Ohne	40	100	27.8	56.9	99.4	88.8
Ohne	40	150	83.7	106.1	142.1	121.5
Mit	0	0	-4.0	-41.5	-42.3	-24.0
Mit	0	50	16.1	-38.8	-29.5	-1.9
Mit	0	100	35.2	-41.3	-17.5	-1.5
Mit	0	150	40.9	-18.4	7.2	15.1
Mit	20	0	-3.8	-14.0	-14.0	-15.7
Mit	20	50	3.2	-20.5	-1.6	3.1
Mit	20	100	37.3	-4.1	21.8	29.6
Mit	20	150	49.2	16.7	59.0	51.6
Mit	40	0	-13.5	28.9	51.4	67.0
Mit	40	50	12.4	43.1	72.1	75.5
Mit	40	100	42.6	56.8	103.3	83.5
Mit	40	150	88.1	95.3	142.4	122.8
S.E.			7.2	7.5	8.5	7.4

Tab. A13 Pflanzenschutz in den Versuchsjahren 1998 bis 2001

Jahr	1. Behandlung [ha <sup>-1</sup> ]	Blattstadium BBCH-Code	2. Behandlung [ha <sup>-1</sup> ]	Blattstadium BBCH-Code
1998	3 l Artett	09	1,5 l Certrol B	14
1999	Grid PLUS 15 g + FHS <sup>§</sup> 225 ml	10	0,5 l Mikado + 0,4 l Certrol B	14
2000	3 l Artett	12	/	
2001	1 l Mikado + 0,25 l Eclat + 125 ml FHS + 0,7 l Motivell	12-13	0,7 l Motivell	14

§ FHS: Formulierungshilfsstoff

Tab. A14 Scheinbare N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der mineralischen N-Düngung und der Produktionssysteme Silomais mit und ohne Untersaat (+US/-US) der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Mineralische N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	1998		1999		2000		2001		Mittel 1998 bis 2001	
	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US
50	107,3	39,6	93,3	73,9	45,3	71,4	83,8	49,5	100,8	93,9
100	67,3	44,5	99,8	89,4	66,1	67,3	79,8	60,8	88,8	79,1
150	66,7	56,6	83,8	87,4	55,8	55,2	79,2	55,2	75,2	72,5
<b>Ø min. N-Düngung</b>	<b>80,5</b>	<b>46,9</b>	<b>92,1</b>	<b>83,6</b>	<b>55,7</b>	<b>64,6</b>	<b>80,9</b>	<b>55,2</b>	<b>88,3</b>	<b>81,8</b>

Tab. A15: Scheinbare N-Ausnutzung (ANR, %) in Abhängigkeit der Gülle N-Düngung und der Produktionssysteme Silomais mit und ohne Untersaat (+US /- US) der Versuchsjahre 1998 bis 2001 und im Mittel der Jahre.

Gülle-Düngung [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]	1998		1999		2000		2001		Mittel 1998 bis 2001	
	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US	- US	+ US
20	86,4	31,5	64,0	76,1	11,3	52,5	62,3	53,8	70,4	64,7
40	44,6	45,1	42,8	61,1	22,8	34,8	39,5	22,7	46,5	52,6
<b>Ø Gülle N-Düngung</b>	<b>65,5</b>	<b>38,3</b>	<b>53,4</b>	<b>68,6</b>	<b>17,1</b>	<b>43,7</b>	<b>50,9</b>	<b>38,3</b>	<b>58,5</b>	<b>58,7</b>

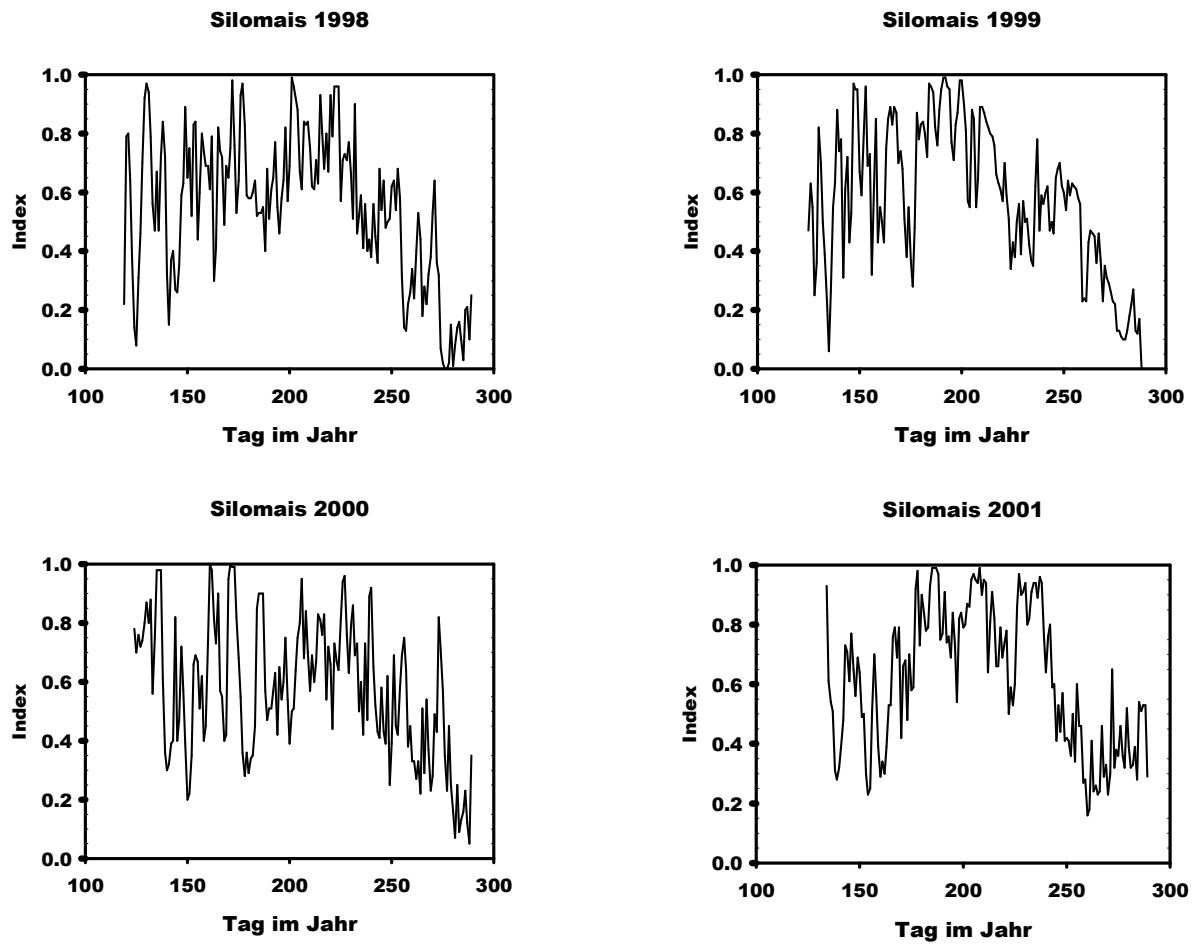


Abb. A1: Täglicher Umweltindex des Silomais für die Versuchsjahre 1998 bis 2001, nach dem Modell FOPROQ berechnet. Der Umweltindex ist das tägliche Produkt aus Temperatur-, Strahlungs- und Wasserindex. Ein Index kleiner 1 zeigt Umweltstress an.

## **Kapitel 4**

### **Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Düngung auf Leistung und Stickstoff-Bilanz einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge**

## 1. Einleitung und Zielsetzung

In der Diskussion um die Stickstoffemissionen der Landwirtschaft stehen Futterbau- und insbesondere Milchviehbetriebe wegen ihrer z.T. sehr hohen Bilanzüberschüsse auf Hoftorbasis und der im Vergleich zu Marktfruchtbetrieben erhöhten N-Verluste in der Kritik. Emittierter Stickstoff (N) belastet Grund- und Oberflächengewässer und ist bei Abgabe an die Atmosphäre in Form von  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{NH}_3$  ein klimawirksames Gas bzw. ein bodenversauernder Eintrag der Luft. Seit den 80er Jahren wird dieses Problem verstärkt wahrgenommen und es gab seither vielfältige Forschungsaktivitäten, um das Problem zu quantifizieren, zu analysieren und produktionstechnische Maßnahmen zur Minderung der N-Verluste zu entwickeln (JARVIS et al., 1996; PEEL et al., 1997; AARTS et al., 1999; LEDGARD et al., 1999). Obwohl zwischenzeitlich die Ursache-Wirkungsbeziehungen im Wesentlichen bekannt und produktionstechnische Maßnahmen zur Verminderung zur Verfügung stehen (JARVIS et al., 1996; WILKENS, 1996), ist die Umsetzung in der landwirtschaftlichen Praxis nicht zufriedenstellend (FLEISCHER, 1998; BLICHER-MATHIESEN & PAULSEN, 2000). Im Futterbau müssen für Norddeutschland nach wie vor relativ hohe Verlustrisiken konstatiert werden (ANONYMUS, 2000; SCHERINGER & ISSELSTEIN, 2000 und 2002).

Die Grundfutterproduktion der schleswig-holsteinischen Milchvieh-/Futterbaubetriebe findet hauptsächlich auf sorptionsschwachen sandigen Böden der Geest statt und basiert im Wesentlichen auf Weide- und Mähweidesystemen auf der einen Seite und der Silomaiszerzeugung in Monokultur auf der anderen Seite (ANONYMUS, 2000; TAUBE et al., 1997). BENKE (1992) ermittelte an Hand von Feldversuchen auf sandig-humosem Boden des Versuchsbetriebes Karkendamm eine lineare Beziehung zwischen  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen im Sickerwasser unter verschiedenen Grünlandssystemen bei zunehmender N-Versorgung.

Aus den Versuchen der 1. Phase des „N-Projektes Karkendamm“ (1997-2001) (WACHENDORF & TAUBE, 1999), die das Dauergrünland und den Ackerfutterbau betrafen, in denen u. a. die  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen über einen Zeitraum von vier Jahren erhoben wurden, konnten für Grünland (TAUBE & WACHENDORF, 2001; BÜCHTER et al., 2002; TROTT et al., 2002; WACHENDORF & TAUBE, 2002; WACHENDORF et al., 2004) folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die geringe N-Verwertung durch das weidende Tier führte zu hohen N-Rückführungen über Kot und Harn und damit zu  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen, die über der EU-Trinkwassergrenze von  $50 \text{ mg l}^{-1}$  lagen.
- Die Reduzierung der N-Düngungsintensität und die Integration von ein oder zwei Schnitten auf den beweideten Flächen führten zu einer Reduzierung der  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen. In ungedüngten Mähweidesystemen mit hoher  $\text{N}_2$ -Fixierung über Weißklee wurde der EU-Trinkwassergrenzwert trotzdem überschritten.
- Das schnittgenutzte System erwies sich, gemessen an der  $\text{NO}_3$ -Auswaschung, als das Grundwasser schonendste System.

Im Bereich Ackerfutterbau wurde u. a. ein 4-jähriger Silomaisversuch (1998-2001) in Monokultur angelegt, in dem die Faktoren mineralische und Gülle N-Düngung sowie der Anbau einer Deutschen Weidelgras Untersaat u. a. im Hinblick auf die  $\text{NO}_3$ -Auswaschung (BÜCHTER et al., 2003) geprüft wurde, hier konnte folgendes festgestellt werden:

- Die mineralische N- und die Gülle N-Düngung führten zu einem Anstieg der  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen, wobei die mineralische N-Düngung einen stärkeren Einfluss besaß. Eine Überschreitung des EU-Trinkwassergrenzwertes erfolgte in den untersaatsfreien Maisvarianten bei sehr hoher N-Intensität.
- Die Untersaat, im 4 bis 6 Blattstadium des Maises gedrillt, reduzierte signifikant die  $\text{NO}_3$ -Auswaschung. Bei hohen  $N_{\text{min}}$ -Werten im Herbst reduzierte die Untersaat die  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen über Winter wirkungsvoller als bei niedrigen  $N_{\text{min}}$ -Werten.



- Die  $\text{NO}_3$ -Auswaschung ist positiv mit dem N-Saldo korreliert, welches aus der Differenz zwischen N-Input (N aus dem Mineraldünger und Gülle) und dem N-Output (N-Ertrag der geernteten Biomasse des Silomaises) entsteht. Bei gleichem N-Saldo wies der Silomais mit Untersaat geringere Auswaschungsverluste auf.

Die Ergebnisse aus dem Versuch Mais in Monokulturanbau (Kapitel 3) bescheinigen dem Silomais ein hohes N-Aneignungsvermögen und eine hohe N-Verwertungseffizienz. Im Gegensatz dazu stellen sich die Bewirtschaftungsformen des Dauergrünlands dar. Auf Basis dieser Daten stellte sich die Frage, inwieweit die vorherrschende Grundfutterproduktion auf den norddeutschen Milchvieh-/Futterbaubetrieben der Geest vor dem Hintergrund niedriger N-Verwertungseffizienzen und hoher Bilanzüberschüsse modifiziert werden kann. Während in der 1. Projektphase des „N-Projektes Karkendamm“ eine Analyse der Situation für die Produktionssysteme Dauergrünland und Mais in Monokultur im Vordergrund stand, wurde resultierend aus diesen Ergebnissen eine Optimierung der Produktionsverhältnisse in Form einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge in der 2. Projektphase geprüft.

Die Arbeitshypothese geht davon aus, dass im überjährig genutzten Klee gras, welches zuerst geschnitten und dann beweidet wird, der N aus  $\text{N}_2$ -Fixierung, Ernterückständen und Exkrementen akkumuliert wird, und der nachfolgende Silomais mit seinem hohen potentiellen N-Aneignungsvermögen den mineralisierten N aus dem Umbruch verwertet. In dieser Form erfolgt der Transfer von N aus der Fixierung, den Ernterückständen und Exkrementen vom Grünland zum Silomais. Mit der Verwertung des akkumulierten N des Grünlands kann die N-Düngungsintensität in der Grundfutterproduktion reduziert werden und eine ausgeglichene Flächenbilanz der Ackerfutterbau-Fruchtfolge wäre das Ergebnis.

Ziel des zugrundeliegenden Versuches der 2. Phase des „N-Projektes Karkendamm“ ist es, die Leistungsfähigkeit und die N-Verwertungseffizienz der einzelnen Kulturarten als auch der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zu den vorherrschenden Systemen Dauergrünland und Mais in Monokultur in Abhängigkeit der N-Düngung (Mineral, Gülle) zu überprüfen. Die potentiellen  $\text{NO}_3$ -Verluste über das Sickerwasser wurden von BOBE et al. (2004) erfasst.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Welchen Einfluss besitzen die mineralische N- und Gülle- N-Düngung auf Produktivität und Futterqualität der Kulturarten Klee gras, Silomais und Triticale in einer Fruchtfolge auf sandigem Standort?
- Steigert die N-Düngung (Gülle, Mineral) die Leistungsfähigkeit des Silomaises nach Klee grasumbruch?
- Bei welcher N-Intensität in der pflanzlichen Produktion kommt es zu einer ausgeglichenen N-Flächenbilanz der Kulturarten und der Ackerfutterbau-Fruchtfolge?

## 2. Literaturübersicht

Im Vergleich der Grundfutterproduktionssysteme Dauergrünland, Ackerfuttergras und Silomais in Schleswig-Holstein ist der Silomais die Futterpflanze mit der höchsten N-Verwertungseffizienz (TAUBE et al., 1997) und Energie-Effizienz (KELM et al., 2004). Für Wiederkäuerrationen weist er ein günstiges Energie-Protein Verhältnis auf, weshalb er auch in großem Umfang in Zukunft auf den spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieben angebaut werden wird (ANONYMUS, 2000). In der Vergangenheit wurde der Silomais neben dem Mineraldünger-N vor allem übermäßig mit Wirtschaftsdünger versorgt (SCHROEDER et al., 1996; SCHROEDER et al., 2000), so dass es zu ökologischen Problemen kommt (Nitratverluste und Erosion). Die nicht vorhandene Pflanzendecke außerhalb der Vegetationsperiode und der weite Reihenabstand von 75 cm führt zu hohen  $\text{NO}_3$ -Rest-Mengen im Herbst und Winter (SCHROEDER et al., 1996; TAUBE et al., 1997).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach veränderten Bewirtschaftungsmaßnahmen und neuen Anbaumethoden. Zur Minimierung dieser ökologischen Gefahrenpotentiale bedarf es Alternativen, die jedoch gleichzeitig eine vergleichbare Leistungsfähigkeit gewährleisten sollte, z. B. durch:

Optimierung der Bestandesführung und Düngungsstrategie, so dass die Gülle- und Mineraldünger-N Applikation zeitlich und räumlich dem Bedarf des Maises angepasst wird. die räumliche Verteilung der Einzelpflanzen.

den Anbau von Untersaaten, damit der Boden nach der Ernte bewachsen ist. Dadurch können wirkungsvoll noch mineralisierte N Rest-Mengen des Bodens z.B. vom Deutschen Weidelgras als Untersaat aufgenommen und vor einer möglichen Verlagerung in tiefere Bodenschichten oder ins Grundwasser geschützt werden, ohne dass die Ertragsleistung des Silomaises wesentlich verringert wird.

den Wechsel von der herkömmlichen Futterproduktion bestehend aus Dauergrünland und Mais-Monokultur hin zu einer Futterbau-Fruchtfolge.

In Landschaftsräumen wie den norddeutschen glazialen Sanderflächen, die einerseits durch ackerfähige Standorte und andererseits durch einen hohen Grünland-/Futterbauspezialisierungsgrad gekennzeichnet sind, wird im Sinne der Weiterführung einer leistungsfähigen und umweltverträglichen Milchproduktion empfohlen, vermehrt an der Entwicklung semi-intensiver Futterbausysteme zu arbeiten. TAUBE et al. (1997) belegte dazu in eigenen Kalkulationen für eine Fruchtfolge auf der Basis der Kulturarten Gras bzw. Klee, Mais und Getreide-Ganzpflanzensilage, dass bei optimalen Wirtschaftsdüngermanagement durchschnittliche mineralische N-Aufwendungen von deutlich unter  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  ausreichend sind, ohne dass signifikante Ertragsverluste zu erwarten sind. Das bedeutet u. a., dass die derzeitigen N-Intensitäten von durchschnittlich  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$  mineralischer N-Dünger in norddeutschen Futterbaubetrieben (ANONYMUS, 2000) bei optimierten Produktionstechniken nahezu halbiert werden können. Dänische und holländische Futterbau-Fruchtfolgen besitzen als wesentlichen Motor der N-Versorgung den 3-jährigen Klee-Anbau. Die Milchvieh-/Futterbaubetriebe sehen den hohen Nutzen in der  $\text{N}_2$ -Fixierungsleistung des Klees und damit in der Einsparung von mineralischem N-Dünger und gleichzeitiger Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Futterproduktion (SCHILS, 1997; SØEGAARD & NIELSEN, 2000).

### 2.1 Futterbau/Fruchtfolgen als Bestandteil des Integrierten Pflanzenbaues

KELLER (1997) definiert den Integrierten Pflanzenbau als Verbundsystem aus abiotischer und biotischer Umwelt, Pflanzenzüchtung, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzenschutz, Fruchtfolge, Pflanzenernährung, Land- und Anbautechnik. Er erweitert dieses Konzept auf ganze

Produktionssysteme und definiert wie folgt: „Die Integrierte Pflanzenproduktion ist eine Kombination aus Verfahren, Maßnahmen und Entscheidungen, die darauf abzielen, Die Ertragsfähigkeit des Bodens langfristig zu erhalten. Gesunde und qualitativ hochwertige Nahrungs-, Futtermittel und Rohstoffe zu erzeugen. Die Eingriffe in das Agrarökosystem auf das notwendige Maß zu begrenzen und Von der Produktion ausgehende Belastungen anderer Ökosysteme möglichst gering zu halten oder ganz zu vermeiden“.

Die Gestaltung der Fruchtfolge ist ein zentrales Element in integrierten Anbausystemen. Das räumliche Nebeneinander und das zeitliche Nacheinander gestaltet die Umwelt und beeinflusst andere Ökosysteme (LÜTKE ENTRUP, 2000). Die Fruchtfolge als wesentliches Ordnungsprinzip und Gratisproduktivkraft der integrierten Pflanzenproduktion ist zur Erzielung stabiler Erträge den konkreten Standort- und Produktionsbedingungen anzupassen (KÖPPEN, 2000). Sie ist ein wesentliches Element zur Vermeidung von Nachbauproblemen (z.B. einseitiger Nährstoffentzug, Humusabbau) und Bodenmüdigkeit (z.B. Selbstunverträglichkeit).

Ackerfuttergräser in eine Fruchtfolge einzubauen, ist im Allgemeinen problemlos, da sie allesamt in die verschiedensten Fruchtfolgesysteme eingepasst werden können. Spezielle Vorfruchtansprüche der Gräser sind nicht nachzuweisen (LÜTKE ENTRUP, 2000). Ein verstärktes Auftreten von pilzlichen Fußkrankheiten im Getreide (Halmbruch) nach Grasanbau ist nicht zu befürchten. Grasanbau hat daher eher eine fruchtfolgesanierende Wirkung (BOCKMANN, 1976; BERENDONK, 1998).

Kleearten in eine Fruchtfolge einzugliedern ist ebenso unproblematisch. Sie können vor und nach allen Kulturpflanzen angebaut werden, mit Ausnahme nach sich selbst. Braucht Rotklee in Reinsaat eine Anbaupause von 5-8 Jahren, kann Weißklee alle 3-4 Jahre angebaut werden. Kleearten selbst sind ausgezeichnete Vorfrüchte mit hohem Gesundheitswert für die Fruchtfolge (YOUNIE & HERMANSEN, 2000). Klee gras dient dem Aufbau einer bodenständigen Fruchtbarkeit und erbringt somit vielfältige Leistungen für den Boden und Betrieb (HEB, 1989). Zudem tragen die Leguminosen durch stickstoffreiche Ernterückstände entscheidend zur Stickstoffversorgung der Nachfrüchte bei (LOGES, 1998).

## 2.2 Bedeutung des Weißklee für Ertrag und Futterqualität der Grünlandnarbe

Der Klee grasanbau stellt durch die  $N_2$ -Fixierung des Klee in der Fruchtfolge eine tragende Säule im Hinblick auf die N-Versorgung und die Ertragsleistung der Grünlandnarbe als auch der Folgefrüchte dar. Gemäß den Untersuchungen von VINTHER (2000) variierte die  $N_2$ -Fixierung eines schnittgenutzten Klee grasbestandes zwischen 150 und 277 kg N ha<sup>-1</sup>. TROTT (2003) ermittelte auf Dauergrünland sandigen Bodentyps eine  $N_2$ -Fixierungsleistung von 0 bis 358 kg ha<sup>-1</sup> in Abhängigkeit der Bewirtschaftung und des Jahreseffektes. Zum anderen beeinflussen sie im Gemenge mit Gräsern die Stickstoffversorgung der Gräser. Der N-Transfer vom Klee zum Begleitgras betrug nach VINTHER (2000) ca. 10 kg ha<sup>-1</sup>. LEDGARD (1991) ermittelte unter Beweidung mit Milchkühen, dass ca. 50 % des geernteten N des Graspartners vom Weißklee stammten. Es kommt bei Verzicht auf eine N-Düngung zu einer nachhaltigen Trockenmasse (TM)-Ertragssteigerung und zu einer Verbesserung der Futterqualität (FRAME & NEWBOULD, 1986; FLACHOWSKY et al. 1999). Mit zunehmender N-Düngung geht die Ertragsüberlegenheit von Weißklee-/Gras-Gemengen gegenüber Gräser-Reinbeständen zurück (FRAME & NEWBOULD, 1986; TAUBE und KORNER, 1989). Die Ertragsanteile des Weißklee gehen bei steigender N-Düngung in schnittgenutzten Systemen nach WOLEGDE (1988) zurück, da die Blattfläche des Begleitgrases ansteigt und somit der Blattflächenindex des Gemenges zunimmt und die Nettoassimilation des Weißklee herabgesetzt wird. Nach FRAME & NEWBOULD (1986) wird der Ertragsanteil des Weißklee

maßgeblich von den höheren Temperaturansprüchen und der damit verbundenen geringeren Wachstumsrate im Frühjahr und Herbst im Vergleich zu den Gräsern bestimmt. Im Sommerhalbjahr ist der Weißklee-Ertragsanteil bedingt durch die geringeren Zuwachsraten der Gräser erhöht. Die Höhe der Kleeanteile beeinflusst wesentlich die Futterqualität eines Klee grasbestandes (WACHENDORF et al., 1998). Allerdings weisen LEDGARD et al. (1990), LEX (1992), VAN VUUREN et al. (1994) und VAN EEKEREN (2000) auf die negativen Auswirkungen eines möglichen Rohprotein (RP)-Überschusses bei der Verfütterung von weißklee haltigem Futter an Wiederkäuer hin. Weißklee zeichnet sich im Vergleich zu Gräsern durch eine höhere Verdaulichkeit der organischen Masse und höhere Futteraufnahme (FLACHOWSKY et al. 1999) aus, die mit zunehmender Alterung nur wenig zurückgeht und damit zu einer höheren Nutzungselastizität von Grünlandbeständen mit Weißklee führt (LEX, 1992).

### 2.3 N-Akkumulation auf Grünland und N-Dynamik nach Umbruch des Klee grasses

Nach der Etablierung des Grünlands beginnt eine asymptotisch verlaufende organische N-Akkumulation in den Wurzeln, Stoppeln, Pflanzenrückständen und in der organischen Substanz des Bodens. Nach Erreichung eines Gleichgewichtes zwischen N-Abbau und -Aufbau schwanken die Werte der N-Akkumulation in diesem Prozess nur noch sehr gering (HOGERKAMP, 1973a). Die Dauer und die Rate der N-Akkumulation ist abhängig vom Kohlenstoff (C) und N-Gehalt. Junges Grünland besitzt bei niedrigem organischen N-Gehalt eine höhere N-Anreicherung als junges Grünland mit höherem organischen N-Gehalt. HOGERKAMP (1984) ermittelte auf sandigem Boden einer Grünlandnarbe über einen Zeitraum von 7 Jahren eine jährliche N-Anreicherung von 72 bis 98 kg N ha<sup>-1</sup>. Generell kann festgestellt werden, dass die N-Akkumulation in jungem Grünland höher ist als in altem Grünland (Dauergrünland). Mit fortschreitendem Alter der Grünlandnarbe wird ein immer größerer Anteil an N in den Wurzeln und Stoppeln gespeichert. VAN DIJK et al. (1996) stellte bei einer Grünland-Neuansaat fest, dass vor allem in den Wurzeln eine N-Akkumulation stattfindet, der Anteil in den Stoppeln aber gleich bleibt. Die Untersuchungen ergaben zudem, dass eine Steigerung der N-Düngung nur zu einer geringen Erhöhung der N-Menge in den Wurzeln führte. In den ersten 5 Jahren wurden auf dem Ackerbaustandort des Versuchs jährlich 20-30 kg N ha<sup>-1</sup> akkumuliert. Zwei Jahre altes Deutsches Weidelgras dominiertes Grünland akkumulierte in den Stoppeln 75 kg und in den Wurzeln nochmals 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Nach 8-jährigen Untersuchungen von DAVIES et al. (2001) enthielt die Klee grasnarbe bis 40 cm Tiefe eines lehmigen Bodens eine durchschnittliche N-Menge in Stoppeln, lebenden und toten Wurzeln von ca. 260 kg N ha<sup>-1</sup>, im Gegensatz dazu wies die Grasnarbe eine höhere N-Menge von ca. 312 kg N ha<sup>-1</sup> auf. Generell ist zu beachten, dass die Angaben über die nicht erntbaren Fraktionen der Grünlandnarbe im Durchschnitt der Vegetationsperiode zu betrachten sind, und die N-Mengen zum Herbst hin zunehmen. Außerdem wurden die N-Mengen der Rückstände z.T. unterschiedlich ermittelt. Einige Autoren zählen zu der Wurzelmasse die lebenden Wurzeln hinzu (DAVIES et al., 2001), welche nach der Definition von WHITEHEAD et al. (1990) nicht enthalten sind. Nach seiner Definition gehören die Stoppeln bis 5 cm Höhe, das organische Material auf der Bodenoberfläche und die toten Wurzeln bis 30 cm Tiefe zu dem Grünlandnarbenrückstand. In seinen Untersuchungen und Modellkalkulationen beschreibt WHITEHEAD et al. (1990), dass die N-Menge der unterschiedlichen Fraktionen der nicht erntbaren organischen Masse der Grasnarbe mit steigendem Alter und N-Düngung sowie der Art der Bewirtschaftung (Schnitt < Weide) zunimmt.

Die jährliche N-Mineralisierungsrate ist abhängig vom Standort (Boden, Klima) und der Bodennutzung. Sie beträgt ca. 1-3 % des organisch gebundenen Boden-N. Das sind ca. 40-120 kg N ha<sup>-1</sup> und a<sup>-1</sup> vor Grünlandumbruch. Nach Grünlandumbruch steigen die Werte etwa um das Doppelte (LÜTKE ENTRUP, 2000). Des Weiteren ist die Mineralisierungsrate vom pH-

Wert, dem C/N-Verhältnis, der Bodentemperatur und dem Wasser- und Lufthaushalt abhängig. Leicht zersetzbare, organische Substanz mineralisiert umso schneller, je enger das C/N-Verhältnis ist und je größer die im gleichen Zeitraum mineralisierte N-Menge. Im Stallmist beträgt das C/N-Verhältnis ca. 15-20:1, im Getreidestroh ca. 100:1, im Maisstroh ca. 45-60:1 (LÜTKE ENTRUP, 2000; SCHEFFER, 2002). Eine starke Reduzierung der N-Mineralisierung liegt bei Böden mit pH-Werten  $<5$  und  $>8$  vor (SCHEFFER, 2002). HOOGERKAMP (1973b) und VAN DIJK et al. (1996) belegten in ihren Untersuchungen, dass die N-Mineralisierung sowohl auf Dauergrünland als auch auf jungem Grünland mit zunehmender Bodentiefe abnimmt. Die mineralische N-Düngung hatte nur einen geringen Einfluss auf die N-Mineralisierung. Dauergrünland besitzt aber auf Grund höherer Anteile an organischer Substanz eine um den Faktor 2.6 (0-20 cm Bodentiefe) höhere N-Mineralisierungsrate als ackerbaulich genutzte Böden.

Nach Grünlandumbruch kommt es zu einer Mineralisation des organischen Materials des Bodens, des Pflanzenaufwuchses, der Stoppeln und Wurzeln. Es tritt zuerst eine Erhöhung der N-Gehalte im Unterboden (10-30 cm) ein, da der N-angereicherte Oberboden nach unten gewendet wurde und z.T. Vermischungen mit dem Oberboden stattgefunden haben. Folgen dem umgebrochenen Grünland Ackerfrüchte, dann erzielen diese entweder höhere Erträge oder die N-Düngung der nachfolgenden Ackerfrüchte kann bei Erzielung optimaler Erträge reduziert werden. Diese N-Nachwirkung nimmt aber mit der Zeit ab. Nach Untersuchungen von BERENDONK (1998) mit einjährigem Klee gras als Grünbrache erreichte der Silomais ohne jegliche zusätzliche N-Düngung einen N-Ertrag von  $196 \text{ kg N ha}^{-1}$ , der Silomais nach Klee grasfütterbau dagegen ca.  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Eine zusätzliche N-Düngung konnte den N-Ertrag bei Umbruch von Klee gras als Grünbrache nur unwesentlich steigern. Ausgehend von einem Sollwert bei Silomais von  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  auf schwerem Boden erfüllte der Klee grasanbau zu Grünbrachezwecken den Bedarf zu 100 %, dagegen nach Futterbauzwecken zu 65 %. Gemäß den Untersuchungen von NEVENS UND REHEUL (2000) konnte bei Umbruch von 3 Jahre altem beweideten Grünland in einer Futterbau-Fruchtfolge auf lehmigem Standort im Vergleich zur Ackerbau-Fruchtfolge festgestellt werden, dass der nachfolgende ungedüngte Silomais einen gleich hohen TM-Ertrag erzielte, wie der Silomais der herkömmlichen Ackerbau-Fruchtfolge. Der Grünlandumbruch bewirkte auch eine positive N-Nachwirkung auf die Ertragsleistung des Silomais im zweiten und dritten Jahr. NEVENS UND REHEUL (2000) ermittelten im Vergleich zur Ackerbau-Fruchtfolge ohne Gras eine N-Düngerwirkung des Grasumbruchs von  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  im ersten Jahr, von  $52 \text{ kg N ha}^{-1}$  im zweiten und von  $29 \text{ kg N ha}^{-1}$  im dritten Jahr nach Umbruch.

Der N-Beitrag („N-contribution effect“) nach Grünlandumbruch ist von bestimmten Faktoren abhängig. Nach den Untersuchungen von DAVIES et al. (2001) führt der Umbruch von Grünland bzw. von Klee gras zu einer N-Freigabe („N credit“) von ca.  $450 \text{ kg ha}^{-1}$  bzw. ca.  $245 \text{ kg N ha}^{-1}$  während der ersten 18 Monate nach Umbruch, wobei die Bodenoberfläche nach Umbruch brach liegen blieb. Gemäß den Untersuchungen von WHITEHEAD et al. (1990) erbringt der Umbruch von 3, 8 und 15 Jahre altem, beweidetem Dauergrünland eine N-Freigabe von 201, 306 und  $364 \text{ kg N ha}^{-1}$ . JOHNSTON et al. (1994) konnten für 1 bis 6 Jahre altes Klee gras nachweisen, dass die höchste N-Akkumulation im Boden bis zum 3. Jahr erfolgt. Im Vergleich zu geschnittenem Grünland erfolgt auf beweidetem Grünland eine höhere N-Anreicherung hauptsächlich verursacht durch den Exkrement-N (WHITEHEAD et al., 1990). Dabei beeinflusst die Viehdichte als auch die mögliche Zufütterung zur Weide die Höhe der N-Akkumulation (SØEGAARD et al., 2002). Nach Umbruch von rein beweidetem Grünland wurde eine höhere N-Freisetzung als von geschnittenem Grünland ermittelt. Untersuchen von NEVENS & REHEUL (2002) und VAN DIJK et al. (1997) zeigen, dass die Faktoren mineralische N-Düngung bzw. die Gülledüngung zur Folgefrucht Silomais keinen signifikanten Einfluss auf die N-Freisetzung nach Grünlandumbruch besitzt.

Durch weitere Maßnahmen lassen sich die Mengen an organischer Substanz, die N-Mengen und die N-Konzentrationen variieren. Ein wichtiger Faktor ist hier die Wahl der Artenzusammensetzung. So weisen Leguminosen im Vergleich zu Gräsern weitaus höhere N-Gehalte in den Ernterückständen wie auch höhere Mineralisationsraten auf (KASKE, 2000; LOGES, 1998). Im Vergleich der Leguminosenarten wiesen die Sprossmasse als auch die Ernterückstände des Weißklee höhere Mineralisationsraten gegenüber dem Rotklee auf (WIVSTADT, 1997).

Von dieser N-Freisetzung aus dem Grünlandumbruch kann der N-Beitrag der Grünlandnarbe durch den oberirdischen Aufwuchs, die Stoppeln und lebende Wurzeln an sich quantifiziert werden. Heß (1989) ermittelte nur für die Ernterückstände (Stoppeln und Wurzeln) aus 2 Jahre altem, schnittgenutztem Klee gras einen N-Ertrag von insgesamt 189 kg N ha<sup>-1</sup>. LOGES (1998) ermittelte für 1- bis 2-jährig genutzte, grasbetonte Rotklee gras gemenge im Vergleich zu reinen Rotklee,- Deutsches Weidel gras- bzw. Welsches Weidel gras- Ansaaten die höchsten Ernterückstandsmengen in Höhe von 112 kg N ha<sup>-1</sup>. Dabei konnte er feststellen, dass mit steigendem Kleeanteil der Saatmischungen auch die N-Gehalte der Stoppeln und Wurzeln und somit der gesamten Ernterückstandsmenge stiegen. KASKE (2000) stellte für futterbaulich genutzte Leguminosen-Gras gemenge fest, dass diese im Vergleich zu Leguminosen-Reinsaaten eine höhere Ernterückstandsmenge erzielen, dieses konnte vor allem auf eine doppelt so hohe Wurzelmenge zurückgeführt werden. Die N-Mengen der Ernterückstände zwischen den Saatmischungen unterschieden sich jedoch nicht.

Neben dem „N-contribution effect“ wird von den Autoren VAN DIJK et al. (1997) eine weiterer Effekt beschrieben, der auf die Fruchtfolgewardung („Non-N-effect“) zurückgeführt wird und ebenfalls zu einer zusätzlichen Ertragssteigerung bei optimaler N-Versorgung der folgenden Ackerfrüchte führt.

## **2.4 Ansprüche des Silomais an die Fruchtfolge**

Mais stellt an die Fruchtfolge keine spezifischen Ansprüche. Auf Grund der guten Selbstverträglichkeit ist Silomais und Körnermais vielfältig in Fruchtfolgen zu integrieren. Da Mais die Fruchtfolgekrankheiten (Halmbruch und Schwarzbeinigkeit) der Hauptgetreidearten nicht überträgt, stellt er ein wichtiges Bindeglied in getreidestarken Fruchtfolgen dar, insbesondere wenn es gelingt, die lange Vegetationszeit und die gute Bodenbeschattung zu einer Verbesserung der Bodenstruktur zu nutzen (LÜTKE ENTRUP, 2000). Der Vorfruchtwert von Silomais in Form von Stoppeln und Wurzeln beträgt ca. 20-25 dt TM ha<sup>-1</sup>, entsprechen ca. 11-20 kg N, 4-6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 25-50 kg K<sub>2</sub>O, 11-20 kg CaO und 4-5 kg MgO ha<sup>-1</sup> (ZSCHEISCHLER et al., 1990).

Als Vorfrüchte für den Mais sind Leguminosen wie Luzerne und Klee, auch in Mischung mit Gräsern, sehr gut geeignet, ebenso gedeiht der Silomais sehr gut nach Grünlandumbruch (ZSCHEISCHLER et al., 1990).

## **2.5 Ansprüche der Triticale an die Fruchtfolge**

Triticale wird häufig nach Weizen und Wintergerste als abtragende Frucht angebaut. Bei der Fruchtfolgeeinordnung von Triticale sind sowohl phytopathologische, als auch pflanzenbauliche Faktoren zu beachten. Aus phytosanitärer Sicht ist eine gewisse Anfälligkeit von Triticale gegenüber Erregern der Fußkrankheiten Halmbruch und Schwarzbeinigkeit festzustellen. In dieser Beziehung nimmt die Triticale eine intermediäre Stellung zwischen Weizen und Roggen ein. Insgesamt wird der Vorfruchtwert der Triticale geringer eingeschätzt als der von Roggen und Hafer. Im Vergleich zu Wintergerste und Winterroggen sind etwas spätere Aussaattermine erlaubt, so dass auch ein Anbau nach relativ spät räumenden Vorfrüchten möglich ist. Triticale wird früher als Winterweizen geerntet und ermöglicht somit gewisse zeitliche Spielräume im Anbau der Nachfrucht.

## 2.6 N-Salden und N-Verlustpotentiale von Futterbau-Fruchtfolgen

Die positiven Fruchtfolgewirkungen des Kleeegrases werden sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau ausgenutzt. So eröffnet die Wieder-Einbeziehung des Klees in Grünlandnarben als auch in Fruchtfolgen, bedingt durch seine Fähigkeit zur symbiotischen Bindung von Luft-N und den stickstoffreichen Ernterückständen, Einsparungsmöglichkeiten für mineralische und wirtschaftseigene N-Dünger (NEUENDORFF, 1996; SØEGAARD & NIELSEN, 2000; LOGES, 1998; TAUBE et al., 1997), sowohl im Nutzungsjahr des Kleeegrases als auch zur Folgefrucht Silomais nach Kleeegrasumbruch (BERENDONK, 1998; NEVENS UND REHEUL, 2000a). Gemäß den Versuchen nach SØEGAARD & NIELSEN (2000) wurde für Kleeegrasumbruch eine residuale N-Menge von  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  in der Folgefrucht Sommerhafer auf sandigen und lehmigen Böden Dänemarks ermittelt. Daraus folgt eine Senkung des mineralischen N-Düngereinsatzes und eine Reduzierung der N-Hoftorbilanzen. Der Nährstoffsaldo ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Die Schlagbilanz als ein Kriterium erfasst die dem Boden zu- und abgeführten N-Mengen. Die Zufuhr der N-Flächenbilanz umfasst nach BACH et al. (1997b) Mineraldünger, Sekundärrohstoffdünger, Wirtschaftsdünger, atmosphärische N-Einträge und legume N-Bindung. Auf die Seite der Abfuhr wird der Ernteertrag (netto) gestellt. Die Flächenbilanz kann sowohl für Einzelfrüchte als auch für eine gesamte Fruchtfolge erstellt werden. Die Bilanzierung hilft bei der Analyse der Stoffflüsse im System Boden - Pflanze - Tier und gibt Erkenntnisse, in welchem Bereich der landwirtschaftlichen Produktion des Betriebes, Anpassungen im Hinblick auf eine Steigerung der N-Effizienz erfolgen sollte. Die Flächenbilanz ist ebenso ein wichtiges Kriterium für Belastungs- und Aushagerungssituationen in der pflanzlichen Produktion. So gibt es zahlreiche Arbeiten, die sich mit den Flächenbilanzen von konventionell und ökologisch wirtschafteten Milchvieh-/Futterbau Betrieben getrennt nach Silomais (JARVIS et al. 1996; SCHRÖDER et al., 1998), Grünland (JARVIS et al. 1996; INGWERSEN, 2002; TROTT, 2003; SCHILS et al., 2000) und Getreide (NEVENS & REHEUL, 2002) befassen. Die Arbeiten auf Basis der Hoftorbilanzen (AARTS et al., 1999; JARVIS et al. 1996; PEEL et al., 1999; LEDGARD et al., 1999; Le Gall et al., 2000; SCHERINGER & ISSELSTEIN, 2000; SCHERINGER & ISSELSTEIN, 2002; TAUBE & PÖTSCH, 2001) als auch der Modellierung von Hoftorbilanzen (ANGER & KÜHBAUCH, 2000; ROTZ et al., 2002) befassen sich mit den N-Flüssen im Betrieb. RUHE et al. (2002) erstellte im Projekt „CONBALE“ auf lehmigem Standort N-Flächenbilanzsalden im Feldversuch für Ackerfutterbau-Fruchtfolgen mit Kleeegras. Hinsichtlich des N-Flächenbilanzsaldos von Ackerfutterbau-Fruchtfolgen auf sandigen Böden Schleswig-Holsteins gibt es bisher keine Untersuchungen.

Der Anbau von Kleeegras in einer Fruchtfolge (ley-arable farming) mit Umbruch nach 2 oder 3 Jahren kann aber auch mit negativen ökologischen Effekten behaftet sein. So kommt es nicht nur zu erhöhten  $N_{\min}$ -Gehalten im Boden und zu  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen ins Grundwasser, sondern auch zu organischen N-Verlusten über Oberflächenwasser und Drainagen (HAWKINS & SCHOLEFIELD, 2000), sowie zu gasförmigen Verlusten ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) (VAN DEN POL-VAN DASSELAAR et al., 2002). VAN DIJK (1997) ermittelte  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen im Sickerwasser im ersten Jahr für Silomais nach Kleeegrasumbruch zwischen 50 und 200  $\text{mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Dagegen führte die Neuansaat von Kleeegras zu  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen von 20 bis 50  $\text{mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Auch NEVENS & REHEUL (2000b) kommen zu dem Ergebnis, dass der Silomais im Vergleich zu Futterrüben den mineralisierten N nach Umbruch von drei Jahre altem Kleeegras nicht voll ausnutzt, so dass es zu möglichen  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen kommen kann. SCHILS et al. (2000) warnt vor erhöhten N-Verlusten, wenn Mais nach Kleeegras angebaut wird. Untersuchungen über die  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen des Sickerwassers unter einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Nordwestdeutschlands gibt es bisher nicht. DJURHUUS & OLSEN (1997) zeigen auf, dass Winterweizen nach Kleeegrasumbruch im August nicht das N-Aufnahmepotential besitzt, um den mineralisierten N zu verwerten. Eine effektive

Reduzierung der N-Verluste tritt ein, indem der Umbruchtermin vom Herbst in das Frühjahr verlegt wird und keine N-Düngung und Beweidung im vorangegangenen Sommer/Herbst erfolgt (HØGH-JENSEN, 1996; VELTHOF & OENEMA, 2001). Nach Herbstumbruch kann zusätzlich auch ein Zwischenfruchtanbau erfolgen, der dazu beiträgt, dass die restlichen  $\text{NO}_3$ -Mengen im Herbst gebunden werden können („catch crop“) bzw. nach Frühjahrsumbruch wird eine Hauptfrucht mit Untersaat etabliert, wie es durchgängig in den dänischen Fruchtfolgen erfolgt (SØEGAARD et al. 2002). Auch eine reduzierte Bodenbearbeitung führt zu einer geringeren Mineralisation nach Umbruch.

## 2.7 Glieder der Ackerfutterbau-Fruchtfolge

Die obigen Ausführungen machen deutlich, wie wichtig die Gestaltung der Fruchtfolge besonders im Hinblick auf die möglichen N-Freisetzung nach Grünlandumbruch und die daraus entstehenden Risiken für die vertikale  $\text{NO}_3$ -Verlagerung sein können. In der herkömmlichen Grundfutterproduktion der schleswig-holsteinischen Milchvieh-/Futterbaubetriebe der Geest wurden in der 1. Projektphase für das Dauergrünland in Form der Weide als auch der Mähweide mit einem Schnitt hohe Verlustrisiken über das Sickerwasser auf Grund von N-Akkumulation durch nicht angepasste N-Düngung, Exkrement-N bzw.  $\text{N}_2$ -Fixierung durch hohe Weißkleeanteile festgestellt. Im Gegensatz dazu stellt der Silomais eine Ackerfrucht mit einer hoher N-Verwertungseffizienz dar (WACHENDORF et al., 2004).

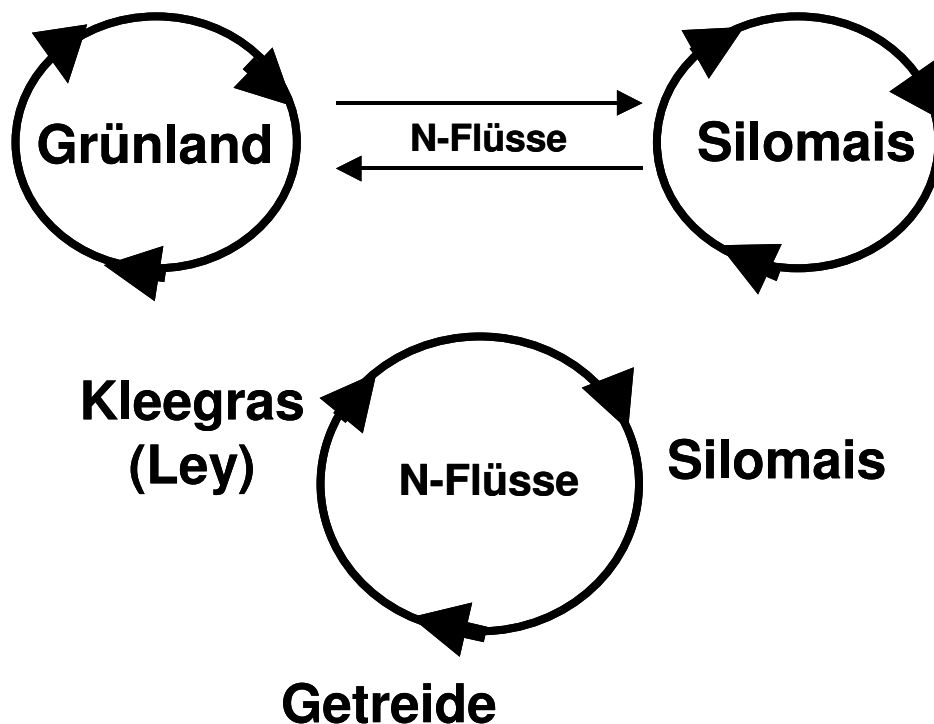


Abb. 1: N-Flüsse im herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem Grünland und Silomais in Monokultur in Schleswig-Holstein und in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge.



Folgende Arbeitshypothesen liegen der Versuchsanstellung zu Grunde:

In einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge können die N-Flüsse (Abb. 1) in der Weise optimiert werden, dass ein leistungsfähigerer und hinsichtlich Futterqualität nutzungselastischerer Klee grasbestand im Vergleich zum Dauergrünland etabliert wird, der auf der einen Seite der Sicherung der Grundfutterproduktion (2 Schnitte/2 Beweidungen) dient, aber auf der anderen Seite auch den nötigen N für die nachfolgenden Ackerfrüchte durch  $N_2$ -Fixierung und Bindung des Exkrement-N bzw. des noch mineralisierten N im 5. Aufwuchs (September/Okttober) bereitstellt („catch-crop“-Funktion). Dabei wird das Klee gras nur überjährlig angebaut, da die größte N-Akkumulierung im ersten Jahr nach Etablierung durch Aufbau des Wurzel- und Stolonensystem des Klee grasbestandes und eine N-Düngung durch Mineraldünger und Gülle erfolgt. Die Klee grasbewirtschaftung entspricht der Bewirtschaftung der Mähweide II (2 Schnitte und 2 Beweidungen) des Dauergrünlandversuchs (TROTT, 2003). Bei dieser Bewirtschaftung wurde durch die zweimalige Schnittnutzung auf dem Dauergrünland eine wesentliche Reduzierung der  $NO_3$ -Verlagerungen ins Grundwasser herbeigeführt, wobei die Werte aber immer noch den EU-Trinkwassergrenzwert überschritten.

Die größte N-Freisetzung nach Grünlandumbruch erfolgt nach obigen Ausführungen im ersten Jahr und kann dann den Bedarf des nachfolgenden Silomais decken. Die abtragende Getreidefrucht Triticale schließt als drittes Glied den N-Kreislauf der Fruchtfolge. Eine dreigliedrige Fruchtfolge ist der zweigliedrigen Futterbau-Fruchtfolge von z. B. Ackergras – Silomais vorzuziehen, da die Etablierung des Ackergrases nach der Silomaisernte sehr spät erfolgt. Erfolgt die Ansaat im darauffolgenden Frühjahr, dann konnten NIJSSEN et al. (1996) auf sandigem Boden aufzeigen, dass der Silomais zwar einen Ertragsvorteil von 7 % gegenüber dem permanenten Silomaisanbau besaß, doch der neue Grasbestand im ersten Jahr einen Ertragsrückstand von 19 % gegenüber dem Grünlandbestand aufwies. Der Anbau einer Wintergetreidefrucht nach Silomais führt dazu, dass der nachfolgende Klee grasbestand im August/September angesät werden kann, und sowohl das Deutsche Weidelgras als auch der Weißklee sich gut etablieren können. In der dreigliedrigen Fruchtfolge wird zudem gewährleistet, dass über Winter in der Phase der Grundwasserneubildung auf der Geest der Boden mit einem Pflanzenbestand bewachsen ist.

Der Milchvieh-/Futterbaubetrieb kann die Triticale zur Körnerernte nutzen und Korn und Stroh verlassen den Betrieb und reduzieren so den N-Hoftorbilanzüberschuss oder die Triticale kann in schlechten Futterbaujahren als Ganzpflanze geerntet werden.

Die Erwartung ist die, dass die mineralische N-Düngung durch die Verwertung des fixierten N und des organisch gebundenen N insgesamt im Vergleich zum herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem durch den Einsatz einer Fruchtfolge wesentlich reduziert werden kann. Damit würde eine Reduzierung der hohen N-Flächenbilanzsalden, die hauptsächlich durch den hohen Einsatz von mineralischem N-Dünger auf dem Dauergrünland verursacht werden, herbeigeführt.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Standorteigenschaften

Der zugrundeliegende Feldversuch wurde auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm, Bimöhlen (Bad Bramstedt) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel durchgeführt. Der Betrieb liegt in dem Übergangsbereich der Niederen zur Hohen Geest. Die 1,2 ha große Versuchsfläche ist ein 1980 tiefumgebrochener Gley-Podsol, aus weichseleiszeitlichen Sanden. Die Bodenart ist ein humoser Sand mit 18-25 Bodenpunkten.

#### 3.2 Witterung

Die Witterungsdaten von 2000 bis 2002 wurden von der Wetterstation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung - Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm erhoben. Die Strahlungswerte stammen in allen Versuchsjahren von der Station des Deutschen Wetteramtes in Quickborn. Die nachfolgende Abb. 2 zeigt die Temperatur-, Niederschlags- und Strahlungswerte jeweils von Januar bis Dezember in Dekaden des Versuchszeitraumes 2000 bis 2002 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1980-1999, Wetterstation Bad Bramstedt).

Das Versuchsjahr **2000** kann im Vergleich zum langjährigen Mittel mit deutlich höheren Temperaturen im Februar und März und höheren Strahlungswerten im April und Mai als insgesamt trockenes Futterbaujahr beschrieben werden. In der Vegetationsperiode April bis September fielen 210 mm weniger Niederschlag als im durchschnittlichen Jahr. Die durchschnittliche Temperatur lag 1,3 °C über dem langjährigen Mittel von 8,7 °C, die Niederschlagsmenge betrug ca. 645 mm (langj. Mittel 853 mm) und die Strahlungsmenge ergab 3795 MJ m<sup>-2</sup> (langj. Mittel 3552 MJ m<sup>-2</sup>).

Das Versuchsjahr **2001** zeichnete sich durch ein kühles Frühjahr mit unterdurchschnittlichen Niederschlagsereignissen aus. Den Sommer über erfolgten regelmäßige Regenereignisse mit durchschnittlichen Temperaturen aber sehr hohen Strahlungsintensitäten. Der Herbst zeigte sich mit verhältnismäßig milden Temperaturen und einigen hohen Niederschlagsereignissen und durchschnittlicher Strahlung. Die durchschnittliche Temperatur lag bei 9,0 °C, die Niederschlagssumme bei 792 mm und die Strahlung bei 4094 MJ m<sup>-2</sup>.

Das Futterbaujahr **2002** beginnt mit einem sehr regenreichen und von den Temperaturen her milden Frühjahr. Der Sommer blieb von Mai bis August sehr regenreich und die Temperaturen verlaufen durchschnittlich bis kühl vor allem im Herbst. Die durchschnittliche Temperatur betrug 6,7 °C, die enorme Niederschlagssumme lag bei 1430 mm und die durchschnittliche Strahlung ergab 3519 MJ m<sup>-2</sup>.

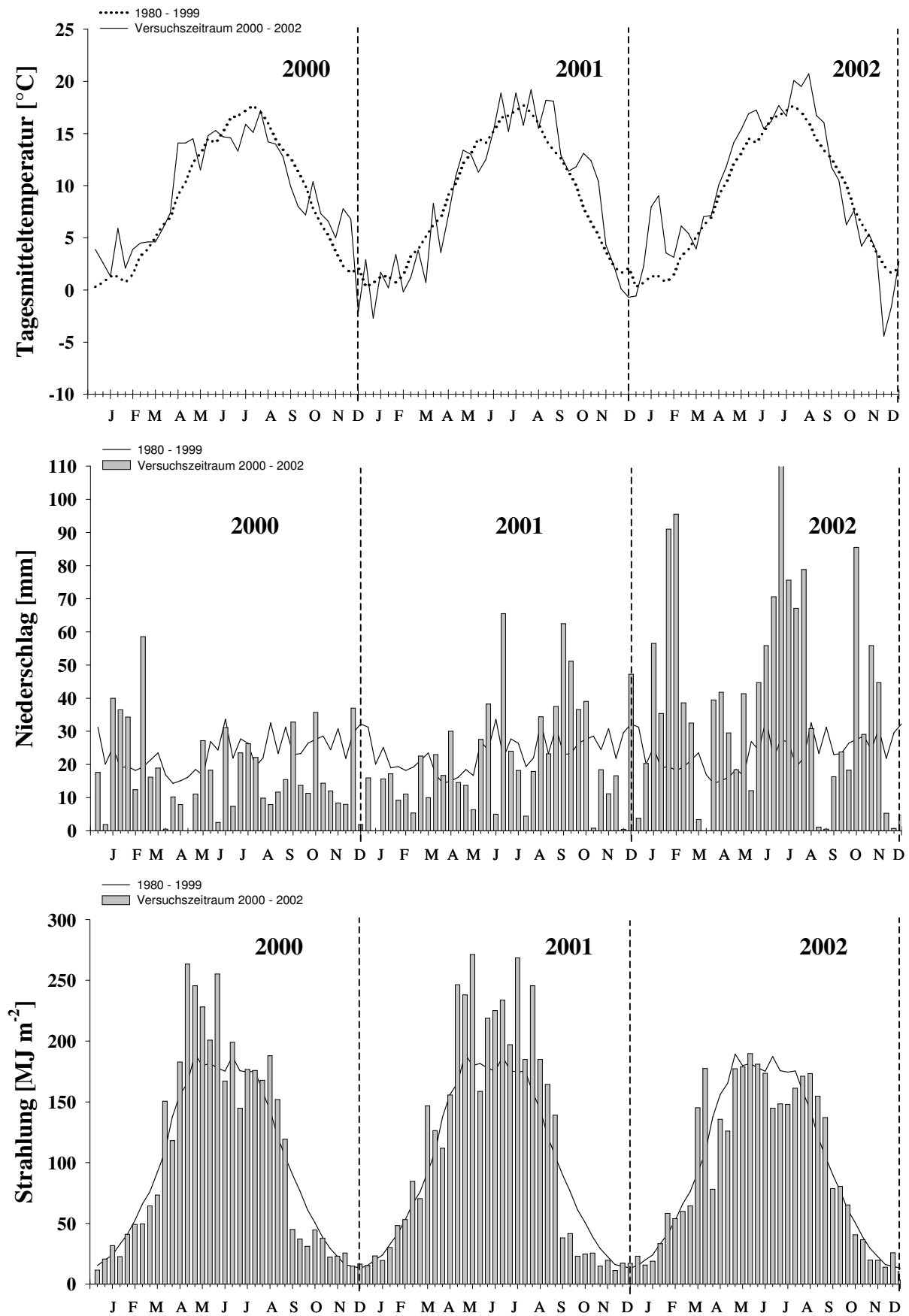


Abb. 2: Temperatur, - Niederschlags- und Strahlungswerte jeweils von Januar bis Dezember in Dekaden des Versuchszeitraumes 2000 bis 2002 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1980-1999).

### 3.3 Versuchsanlage und –durchführung

#### Annahme

Die Futterproduktion eines typischen Milchvieh-/Futterbaubetriebes der schleswig-holsteinischen Geest soll anhand einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge in der jährlichen Rotation von Klee gras – Silomais - Triticale dargestellt werden. Die Datenbasis für die Auswahl der Faktorstufen lieferte der Rinderreport, in dem jährlich ca. 1500 Betriebe ausgewertet werden. In der ersten Annäherung der flächenhaften Darstellung wirtschaftet der durchschnittliche Milchvieh-/Futterbaubetrieb Schleswig-Holsteins mit einem GV-Besatz von  $1,8 \text{ ha}^{-1}$  (inkl. Jungvieh) (ANONYMUS, 2000). Es wird weiterhin angenommen, dass die Kühe und das Jungvieh maximal 100 Tage im Sommer Weidegang haben. Dadurch kommt ein jährlicher Wirtschaftsdüngeranfall von ca.  $25 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  zustande. Dieser wird auf alle drei Feldfrüchte verteilt.

Das vorrangige Ziel ist, dass der Milchvieh-/Futterbaubetrieb mit dem vorhandenen Milchvieh die Milchquote erfüllt. Das bedeutet, dass dieser je nach Intensität in der Futterproduktion, welches gekennzeichnet wird durch die Höhe des mineralischen N-Dünger Einsatzes, das Futter auf seiner Fläche produziert, aber ebenso einen Teil der Milchleistung durch Supplementierung von Kraftfutter ermelkt. Im Versuch werden daraus abgeleitet drei pflanzenbauliche N-Intensitäten betrachtet:

- **Extensive N-Intensität (E):** Der Milchvieh-/Futterbaubetrieb düngt nur die Rindergülle ( $25 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) (Intensität des ökologischen Landbaus).
- **Reduzierte N-Intensität (R):** Der Milchvieh-/Futterbaubetrieb düngt neben der Rindergülle von  $25 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Durchschnitt  $75 \text{ kg}$  mineralischen N  $\text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  über alle Feldfrüchte (~ 50 % der mineralischen Düngung nach „guter fachlicher Praxis“ ANONYMUS, 2003).
- **Hohe N-Intensität (H):** Der Milchvieh-/Futterbaubetrieb setzt neben der Rindergülle von  $25 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Durchschnitt aller Kulturarten  $150 \text{ kg}$  mineralischen N  $\text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ein (~ 100 % der mineralischen Düngung nach „guter fachlicher Praxis“ ANONYMUS, 2003).

#### Versuchsanlage

Eine extensiv bewirtschaftete 3 Jahre alte Grünlandfläche ( $< 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) mit einer Größe von  $1,0 \text{ ha}$  wurde im August 1999 umgebrochen. Dann wurde der Versuch als eine zweifaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Einzelparzelle hatte eine Größe von  $144 \text{ m}^2$  ( $16 \times 9 \text{ m}$ ). Auf den Flächen für Klee gras wurde die Deutsche Weidelgrassorte Fennema mit  $20 \text{ kg}$  und die Weißklee sorte AberHerald bzw. Milkanova mit  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  im Gemisch angesät. Auf den zukünftigen Silomaisflächen wurde 1999 die Zwischenfrucht Ölrettich angebaut, die Flächen wurden nochmals vor Maisaussaat im April 2000 gepflügt und mit der Kreiselegge rückverfestigt. Die Triticale sorte Modus wurde Anfang Oktober mit  $134 \text{ kg ha}^{-1}$  angesät. Hauptversuchsjahre waren 2000, 2001 und 2002. In den folgenden Tabellen sind für die drei Feldfrüchte und Versuchsjahre die Versuchsfaktoren sowie die Produktionstechnik aufgeführt.

Tab. 1: Versuchsfaktoren und Faktorstufen des Versuchs.

Faktor	Stufen
Gülledüngung ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )	0 25
Ø Mineralische N-Düngung ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	0 75 150

### Kleegras

Das überjährige Kleegras, welches einmal überwinterte, wurde als Mähweide genutzt. Das bedeutet, dass nach den ersten beiden Schnitten zwei Beweidungen mit Färsen ( $\varnothing$  LG von 450 kg) durchgeführt wurden. Zur Ermittlung des Brutto TM-Ertrages wurde der Aufwuchs der 4 Nutzungen repräsentativ mit 2 Parallelen pro Parzelle auf einer Fläche von 50 x 50 cm<sup>2</sup> am Tag der Ernte in 5 cm Höhe geschnitten. Zur Beweidung der Parzellen wurden die drei N-Intensitäten jeweils über die Gülle- und mineralischen N-Stufen zu einer Großparzelle zusammengefasst. Die beweideten Flächen unterschieden sich nicht in der N-Düngung. Diese 6 Paddocks mit einer jeweiligen Größe von 576 m<sup>2</sup> wurden mit 13-15 Färsen bestoßen, und bei einem Weiderest von 25-30 % wieder abgetrieben. Zur Ermittlung der Netto-Erträge der Weideflächen wurde nach dem Abtrieb der Tiere der Weiderest ermittelt. Dazu wurde das Kleegras zweier repräsentativer Parallelen mit einer Fläche von 50 x 50 cm<sup>2</sup> pro Parzelle geschnitten.

Tab. 2: Produktionstechnik Kleegras in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002.

Jahr	1999	2000	2001	2002
<u>Bodenbearbeitung</u>	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen
<u>Termin</u>	15.08.	04.09.	05.09.	26.08.
<u>Ansaattermin</u>	10.09.	04.09.	05.09.	26.08.
<u>Ansaatstärke kg ha<sup>-1</sup></u>	24	24	24	24
Sorte Dt. Weidelgras kg ha <sup>-1</sup>	Fennema: 20	Fennema: 20	Fennema: 20	Fennema: 20
Sorte Weißklee kg ha <sup>-1</sup>	AberHerald: 4	AberHerald: 4	Milkanova: 4	Milkanova: 4
<u>Grunddüngung</u>				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Triplephosphat)		80	80	80
K <sub>2</sub> O (Korn Kali)		240	240	240
CaO (kohlens. Kalkung dt ha <sup>-1</sup> )	15			
<u>Pflanzenschutz</u>	/	/	/	/
<u>Ernten</u>				
1. Schnitt		12.05.	16.05.	14.05.
2. Schnitt		20.06.	25.06.	19.06.
1. Beweidung		17.07.-04.08.	30.07.-06.08.	05.08.-10.08.
2. Beweidung		13.09.-15.09.	03.09.-07.09.	09.09.-14.09.
<u>Catch-crop Altnarbe</u>				
Probenahme Herbst folgendes Frühjahr		21.11.00 02.04.01	19.11.01 04.04.02	18.11.02 10.04.03

Die Färsen wechselten zwischen den beiden Wiederholungen und fraßen immer die jeweils korrespondierende N-Intensität ab. Im Anschluss wurden die beweideten Flächen mit einem Weidepfleger geputzt.

Jedes Frühjahr erfolgte eine Grunddüngung mit Triplephosphat (18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 12 % S) und Korn Kali (40 % K<sub>2</sub>O; 6 % MgO; 4 % S) (Tab. 2). Diese orientierte sich an der Versorgungsstufe (C), der Ertragsstufe (3,5) und der Nutzung (Mähweide). Eine Ausgleichskalkung mit 15 dt CaO ha<sup>-1</sup> kohlen-saurem Kalk wurde im Jahr 1999 bei Umbruch durchgeführt.

### N-Düngung Kleegras

Die Gülldüngung von 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Tab. 3) erfolgte einmalig zu Vegetationsbeginn. Im Durchschnitt besaß die Gülle einen N-Gehalt von 2,75 % N m<sup>-3</sup> Gülle. Der mineralische N-Dünger wurde in Form von Kalkammonsalpeter appliziert. Dabei erfolgte in jedem Versuchsjahr eine frühjahrsbetonte N-Düngung der Kleegrasbestände. Bei reduzierter N-

Intensität erfolgte nach dem 2. Schnitt keine mineralische N-Düngung mehr. Im Durchschnitt der 3 Versuchsjahre erhielt das Klee gras eine N-Gesamt-Düngung unter der E Intensität von  $69 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , die R Intensität erhielt  $169 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei der H Intensität wurden  $219 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  gedüngt.

Tab. 3: Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgeglieders Klee gras in den Versuchsjahren 2000 -2002 für die drei Futterbau Intensitätsstufen.

	2000	2001	2002	Ø N-Gesamt- Düngung $\text{kg ha}^{-1}$
Gülledüngung				
Termin	24.03.	04.04.	08.04.	
N-Gehalt ( $\text{kg m}^{-3}$ )	2.5	3.3	2.5	2.75
<b>N-Menge (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	63	83	63	69
Mineraldünger*§				
	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>
Termin	30.03.	03.04.	08.04.	
<b>1. Gabe</b>	0 50 80	0 50 80	0 50 80	0 50 80
Termin	17.05.	21.05.	21.05.	
<b>2. Gabe</b>	0 50 40	0 50 40	0 50 40	0 50 40
Termin	23.06.	27.06.	24.06.	
<b>3. Gabe</b>	0 0 30	0 0 30	0 0 30	0 0 30
Mineraldünger Gesamt ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )	0 100 150	0 100 150	0 100 150	0 100 150
Gesamt Gülle + Mineral ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )	<b>63 163 213</b>	<b>83 183 233</b>	<b>63 163 213</b>	<b>69 169 219</b>

\* in Form von Kalkammonsalpeter 27 % N

§ Intensitätsstufen **E**: extensiv; **R**: reduziert; **H**: hoch

### Silomais

Der Silomais wurde nach Klee grasumbruch, der Mitte April erfolgte, angebaut. Die Flächen wurden 27 cm tief gepflügt und nachfolgend wurde Rindergülle in den Stufen  $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  und  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ausgebracht (Tab. 4). Die Gülle wurde mit dem Grubber flach eingearbeitet, um gasförmige Ammoniakverluste zu vermeiden. Danach wurde mit der Kreiselegge der Boden rückverfestigt. Es wurde eine Aussaatstärke für die Kompaktsorte Naxos (S 220; AgroPlant) von 10 Pflanzen  $\text{m}^{-2}$  angestrebt. Diese im Jahr 1987 zugelassene frühe, hartmaisähnliche Einfachhybride, ist kolbenbetont und eignet sich sowohl für den Silo- als auch für den Körnermaisbau (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 1999). Das Saatgut wurde mit TMTD (gegen Auflaufkrankheiten) und Mesurol (gegen Fritfliege und Vogelfraß) gebeizt.

Zusätzlich erhielt der Silomais eine Unterfußdüngung mit Triplephosphat in Höhe von  $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ . Die Grunddüngung erfolgte mit Triplephosphat und Korn Kali. Die Ausgleichskalkung wurde 1999 mit 15 dt kohlen saurem Kalk  $\text{ha}^{-1}$  vorgenommen. Gegen zweikeimblättrige Unkräuter wie Melde, Weißer Gänsefuß und Vogelknöterich wurde eine Kombination aus boden- und blattwirksamen Wirkstoffen eingesetzt.

Tab. 4: Produktionstechnik Silomais in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002.

<b>Jahr</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
<u>Bodenbearbeitung</u>	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen
<u>Termin</u>	15.08.	20.04.	18.04.	25.04.
<u>Ansaattermin</u>	25.08.	28.04.	25.04.	02.05.
<b>Ansaatstärke</b>	k. A.	11 Pfl. m <sup>-2</sup>	10 Pfl. m <sup>-2</sup>	11 Pfl. m <sup>-2</sup>
Zwischenfrucht	Ölrettich			
Silomaisorte		Naxos	Naxos	Naxos
<u>Unterfußdüngung</u>				
<b>(Triplephosphat) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg</b>		30	30	30
<b>ha<sup>-1</sup></b>				
-----				
<u>Grunddüngung</u>				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Triplephosphat)		80	80	80
K <sub>2</sub> O (Korn Kali)		240	240	240
CaO (kohlens. Kalk dt ha <sup>-1</sup> )	15			
-----				
<u>Pflanzenschutz</u>				
<b>1. Behandlung</b>		14.05.	22.05.	23.05.
<u>Mittel</u>		1 l Mikado+ 0.25 1 Eclat+ 125 ml FHS <sup>§</sup>	1 l Mikado+ 0.25 1 Eclat+ 125 ml FHS	2 l Artett + 0.3 l Certrol B
<b>2. Behandlung</b>		22.05.		
<u>Mittel</u>		3 l Artett		
-----				
<u>Ernte</u>				
Kernbeerntung		29.09.	03.10.	16.09.

<sup>§</sup> : Formulierungshilfsstoff, k. A.: keine Angaben

### N-Düngung Silomais

Der mineralische N-Dünger (Tab. 5) wurde in drei Stufen ausgebracht (0, 25 und 100 kg N ha<sup>-1</sup>). Dabei wurde die N-Düngung der hohen Intensitätsstufe in aliquoten Mengen gegeben. Kurz vor bzw. zum Spitzens des Mais wurde die erste Teilgabe der mineralischen N-Düngung in Form von Kalkammonsalpeter ausgebracht. Im 5-6 Blattstadium (BBCH-Code 15-16) des Silomais erfolgte die zweite Teilgabe.

Tab. 5: Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgegliedes Silomais in den Versuchsjahren 2000-2002 für die drei Futterbau Intensitätsstufen.

	2000	2001	2002	Ø N-Gesamt- Düngung kg ha <sup>-1</sup>
Güledüngung				
Termin	20.04.	18.04.	02.05.	
N-Gehalt (kg m <sup>-3</sup> )	3.6	3.7	3.4	3.6
<b>N-Menge (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	90	93	85	90
Mineraldünger *§				
	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>	<b>E R H</b>
Termin	04.05.	03.05.	21.05.	
<b>1. Gabe</b>	0 25 50	0 25 50	0 25 50	0 25 50
Termin	31.05.	05.06.	10.06.	
<b>2. Gabe</b>	0 0 50	0 0 50	0 0 50	0 0 50
Mineraldünger Gesamt (kg N ha <sup>-1</sup> )	0 25 100	0 25 100	0 25 100	0 25 100
Gesamt Gülle + Mineral (kg N ha <sup>-1</sup> )	<b>90 115 190</b>	<b>93 118 193</b>	<b>85 110 185</b>	<b>90 115 190</b>

\* in Form von Kalkammonsalpeter 27 % N

§ Intensitätsstufen **E**: extensiv; **R**: reduziert; **H**: hoch

### Triticale

Nachdem die Maisflächen abgeerntet waren, wurde Anfang Oktober auf 27 cm Tiefe gepflügt. Die Triticalesorte Modus wurde mit 250 Körnern m<sup>-2</sup> ausgesät. Zu Vegetationsbeginn erfolgte dann die Düngung mit Triplephosphat und Korn-Kali. Die Ausgleichskalkung erfolgte einmalig im Jahr 1999. Die Pflanzenschutzmaßnahmen gibt Tabelle 6 wieder. Nach der Kernbeerntung, bei der das Stroh komplett abgefahren wurde, wurden die Stoppeln bearbeitet.

### N-Düngung Triticale

Die Düngung mit Rindergülle erfolgte korrespondierend zu den Klee grasflächen zu Vegetationsanfang Ende März/Anfang April in den Stufen 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> und 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Tab. 7). Die N-Stufen der mineralischen N-Düngung unterschieden sich in 0 kg N, 100 kg N und 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Die mineralische N-Düngung erfolgte für jede N-Intensität in Form von Kalkammonsalpeter in drei Teilgaben zu den EC-Stadien 21, 31 und 39. Einzelheiten der produktionstechnischen Maßnahmen sind in der Tabelle 6 wiedergegeben.



Tab. 6: Produktionstechnik Triticale in den Jahren 1999, 2000, 2001 und 2002

<b>Jahr</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
<u>Bodenbearbeitung</u>	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen	Pflügen/Eggen
<b>Termin</b>	07.10.	09.10.	18.10.	24.09.
<u>Ansaattermin</u>	07.10.	09.10.	18.10.	24.09.
<b>Ansaatstärke kg ha<sup>-1</sup></b>	134	137	129	137
<b>Körner m<sup>-2</sup></b>	250	250	250	250
<b>Triticalesorte</b>	Modus	Modus	Modus	Modus
<b>TKG g</b>	49.2	52.5	44.5	49.3
<b>Keimfähigkeit %</b>	92	96	86	90
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<u>Grunddüngung</u>				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Triplephosphat)		80	80	80
K <sub>2</sub> O (Korn Kali)		240	240	240
CaO (kohlens. Kalk dt ha <sup>-1</sup> )	15			
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<u>Pflanzenschutz</u>				
<b>1. Behandlung</b>		06.04.	09.04.	08.04.
<b>Mittel</b>		90 g Concert	90 g Concert	90 g Concert
<b>2. Behandlung</b>		03.05.	07.05.	06.05.
<b>Mittel</b>		0.3 l Moddus + 0.5 l CCC + Mangan+Bittersalz	0.3 l Moddus + 0.5 l Juwel Top + Mangan+Bittersalz	0.2 l Moddus + 0.5 l Juwel Top + 0.5 l CCC + Mangan+Bittersalz
<b>3. Behandlung</b>			23.05.	21.05.
<b>Mittel</b>			0.5 l Juwel Top	0.5 l CCC + 0.2 l Moddus
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<u>Ernte</u>				
Ganzpflanzensilage		/	10.07.	17.07.
Kernbeerntung		07.08.	31.07.	29.07.
Stoppelbearbeitung		21.08.	14.08./28.08.	12.08./22.08.

Tab. 7: Mineralische und Gülle N-Düngung des Fruchtfolgegliedes Triticale in den Versuchsjahren 2000-2002 für die drei Futterbau Intensitätsstufen.

	2000	2001	2002	Ø N-Gesamt- Düngung kg ha <sup>-1</sup>
Gülldüngung				
Termin	24.03.	04.04.	08.04.	
N kg m <sup>-3</sup>	3.3	4.2	2.2	3.2
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>	84	106	56	81
Mineraldünger *				
	<b>E R H<sup>§</sup></b>	<b>E R H<sup>§</sup></b>	<b>E R H<sup>§</sup></b>	<b>E R H<sup>§</sup></b>
Termin	30.03.	13.03.	18.03.	
<b>1. Gabe</b> (EC 21)	0 30 60	0 30 60	0 30 60	0 30 60
Termin	03.05.	03.04.	08.04.	
<b>2. Gabe</b> (EC 31)	0 40 80	0 40 80	0 40 80	0 40 80
Termin	17.05.	23.05.	21.05.	
<b>3. Gabe</b> (EC 39)	0 30 60	0 30 60	0 30 60	0 30 60
Mineraldünger Gesamt N kg ha <sup>-1</sup>	0 100 200	0 100 200	0 100 200	0 100 200
Gesamt Gülle + Mineral kg N ha <sup>-1</sup>	<b>84 184 284</b>	<b>106 206 306</b>	<b>56 156 256</b>	<b>81 181 281</b>

\* in Form von Kalkammonsalpeter 27 % N

§ Intensitätsstufen **E**: extensiv; **R**: reduziert; **H**: hoch

### 3.4 N-Düngung der Ackerfutterbau-Fruchtfolge

Tabelle 8 beschreibt die Höhe der N-Düngung (Gülle + Mineraldünger) für die drei untersuchten N-Intensitäten der Ackerfutterbau-Fruchtfolge.

Es zeigte sich, dass in der Intensitätsstufe H eine durchschnittliche N-Düngung von 228 kg N ha<sup>-1</sup> erfolgte. Im Vergleich zur Intensität R wurden damit 75 kg mineralischer N-Dünger mehr ausgebracht. Bei der Intensitätsstufe E erfolgte lediglich eine Güllegabe von 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> zu allen Kulturarten.

Tab. 8: N-Düngung der drei Intensitäten in der Futterbau-Fruchtfolge im Mittel der Versuchsjahre.

Kulturart	Mineraldünger-N [kg N ha <sup>-1</sup> ]	Ø Gülle-N [kg N ha <sup>-1</sup> ]	Gesamt-N [kg N ha <sup>-1</sup> ]
<b>Extensiv (E)</b>			
Kleegras	0	78	78
Silomais	0	78	78
Triticale	0	78	78
<b>Ø N-Einsatz</b>	0	78	78
<b>Reduziert (R)</b>			
Kleegras	100	78	178
Silomais	25	78	103
Triticale	100	78	178
<b>Ø N-Einsatz</b>	75	78	153
<b>Hoch (H)</b>			
Kleegras	150	78	228
Silomais	100	78	178
Triticale	200	78	278
<b>Ø N-Einsatz</b>	150	78	228

## 3.5 Methoden

### 3.5.1 Ertragsparameter

#### Kleegras

Nach der Ernte erfolgte das Wiegen des frischen Pflanzenmaterials und die Entnahme einer repräsentativen Unterprobe von ca. 50 g Frischmasse (FM). Zur Ermittlung des Klee-Ertragsanteils (in % der TM) wurde eine weitere repräsentative Unterprobe von ca. 100 g entnommen und in die Teilfraktionen Deutsches Weidelgras, Weißklee und nicht angesäte Arten fraktioniert und ebenfalls deren FM eingewogen. Die Unterproben und Teilfraktionen wurden dann bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

#### *Catch crop*

Zur Bestimmung der Ertragsparameter des 5. Aufwuchses des Kleegrases im Herbst und folgenden Frühjahr fanden im Versuchszeitraum 2000-2003 die Pflanzenentnahmen zu den in Tab. 2 beschriebenen Terminen statt. Im Herbst wurde von einer für den Pflanzenbestand repräsentativ ausgewählten Probefläche (zwei Parallelen, 0,5 m<sup>2</sup> je Parzelle) die gesamte oberirdische Biomasse an der Erdoberfläche abgeschnitten. Im Anschluss wurde das gewonnene Pflanzenmaterial gewogen und eine repräsentative Teilprobe von ca. 50 g FM bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Im Frühjahr wurde zusätzlich eine Wurzelprobe nach der Bohrkernmethode (BÖHM, 1979) mit Hilfe eines Wurzelbohrers (Fa. EIJKELKAMP AGRISearch EQUIPMENT, Niederlande) bis 30 cm Bodentiefe entnommen. Diese Bohrkern (Ø 8 cm) wurden nach der Probenahme in Plastikbeutel verpackt und bei -22 °C eingefroren. Nach dem Wiederauftauen wurde das Wurzelmaterial mit Hilfe einer Wurzelwaschanlage (EHMSOMAT TYP 1/thGTI-99) ausgewaschen. In Anlehnung an die von LOGES (1998) beschriebene Vorgehensweise wurden zunächst die Bohrkern durch mit Injektordüsen beschleunigtes Wasser in einem Stahlzylinder erodiert. Der aufsteigende Wasser- und Luftstrom überführt das im Vergleich zu Wasser spezifisch leichtere Wurzelmaterial sowie andere organische Substanz in ein Auffangsieb mit der Maschenweite 530 µm. Durch mehrfaches Dekantieren bzw. durch Verlesen mit der Hand über 630 µm Sieben wurde schließlich das Wurzelmaterial von den mineralischen und restlichen organischen Partikeln gesäubert. Die gewonnenen Wurzelproben wurden bei 65 °C zur Bestimmung des TM-Gehaltes für die Dauer von 48 Stunden getrocknet.

Beim Kleegras wird zwischen der N-Düngung in Form von i) Mineraldünger und Gülle bzw. der N-Zufuhr in Form von ii) Mineraldünger, Gülle, Deposition, Weide-Exkrementen und Weideresten unterschieden.

#### **Silomais**

Zur Ermittlung der Ertragsleistung wurde zum Erntetermin sowohl eine Hand- als auch Kernbeerntung durchgeführt. In jeder Parzelle standen 12 Maisreihen auf einer Länge von ca. 16 m. 1,5 m der Randbereiche der Parzellen wurden vor der Kernbeerntung gehäckselt, um etwaige Randeffekte auszuschließen. Von Hand wurden je Variante 10 aufeinanderfolgende Pflanzen einer Reihe oberhalb der Kronenwurzeln beerntet. Aus den 10 Pflanzen wurden zufällig 5 Pflanzen für die Gesamtpflanzenmischprobe und weitere 5 Pflanzen für die Fraktionierung entnommen. Das gewonnene Pflanzenmaterial der Mischprobe wurde gewogen und mit einem Häcksler (TH 3500 DNB, Fa. ELEKTRA BECKUM) frisch zerkleinert. Von den 5 Pflanzen für die Fraktionierung wurde die Gesamtfrischmasse bestimmt und der Spross in die Fraktionen Blattspreite, Stängel (mit Blattscheide und Rispe, ohne Stoppeln) und Kolben (einschließlich Lieschen) aufgegliedert und zerkleinert. Die TM-Gehalte wurden an Teilproben von 150 (Blattfraktion) bis 250 g FM ermittelt. Die Trocknung bis zur Gewichtskonstanz erfolgte bei 65 °C für die Dauer von 4-5 Tagen.

Zur Kernbeerntung wurde mit einem zweireihigen Versuchshäcksler (Fa. HEGE) zwei Reihen bei einer Schnitthöhe von 20 cm geerntet. Der TM-Gehalt wurde an einer Teilprobe von 500-600 g bestimmt. Zur Ertragsanalyse von Silomais wurden Proben aus der Kernparzellenbeerntung herangezogen.

### **Triticale**

Zur Feststellung der Ertragsleistung wurden zum Zeitpunkt der Ernte der Ganzpflanzen (EC 77-83) und der Kornernte (EC 91) je Variante zwei repräsentativ ausgewählte Flächen von 0,25 m<sup>2</sup> direkt am Boden geerntet. Die gesamte oberirdische Biomasse wurde in einer Plastiktüte unter kühlen Bedingungen gelagert. Im Labor wurde die Anzahl der ährentragenden Halme der Probe ermittelt. Das Pflanzenmaterial wurde dann gewogen, und eine Mischprobe von 50 g FM entnommen und eingewogen. Aus einer weiteren Unterprobe von ca. 200 g wurden die Fraktionen Ähre, Stroh und Stoppeln separiert und eingewogen und bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

### **3.5.2 Qualitätsparameter**

Die Probenaufbereitung für die NIRS-Messung erfolgte durch Vorvermahlen der getrockneten Maispflanzenproben und Triticaleproben in einer Mühle (Fa. RETSCH) mit 4 mm Siebgröße und anschließender Feinvermahlung für alle Pflanzenmaterialien mit einer Hochgeschwindigkeitsmühle (Cyclotec 1093, Fa. TECATOR, Siebporendurchmesser 1mm). Von dem gemahlten Probenmaterial wurden ca. 2 g in die Quarzglasküvette gefüllt und im Messbereich von 1100 bis 2500 nm in Schritten von 2 nm die Reflexionswerte der Proben in 32-facher Wiederholung aufgenommen. Diese primären Messsignale vom NIR-Spektrometer (Modell 5000, Fa. PERSTOP ANALYTICAL) wurden unter Anwendung der NIRS-Software (NIRS 2, Vers. 02.05., Fa. Infrarot International Inc. ) als Absorptionswerte (Absorption = log I/Reflexion) gespeichert. Die Kalibrierung des Mais-, Triticale- und Klee graspflanzenmaterials wurde mit Hilfe der Regressionsstatistik vorgenommen und die Kalibriergleichungen wurden empirisch (PAUL et al., 1992; WACHENDORF et al., 1995; LOGES, 1998, VOLKERS et al., 2003) wie folgt bestimmt:

1. Zur Ermittlung der RP- und NEL-Gehalte des Silomaises wurde das Gesamtprobenmaterial in zwei Gruppen aufgeteilt : (i) Vegetatives Pflanzenmaterial (junge Maispflanzen ohne Kolbenansatz, Blätter, Stoppel, Stängel mit Rispe); (ii) Generatives Pflanzenmaterial (Gesamtpflanze mit Kolben und der alleinige Kolben). Die Triticale- und Klee grasproben wurden als Gesamtsprossmasse kalibriert.
2. Die Beschreibung der Grundgesamtheit der Proben einer Kalibrierung sowie die Identifizierung untypischer Proben (Ausreißerererkennung) erfolgte mit dem Programm-Modul CENTER SAMPLE.
3. Danach erfolgte die Zufallsauswahl der Validationsproben und die Bestimmung des Probensatzes zur Kalibrierung aus den verbleibenden Proben mit dem Programm-Modul SELECT.
4. Im Labor wurde die Analyse der Kalibrations- und Validationsproben anhand der Referenzmethoden durchgeführt.
5. Im Anschluss wurden Schätzgleichungen als regressive Kalibration zwischen Referenzwerten und Spektrumscharakteristika erstellt, bei gleichzeitiger Validierung auf Basis der unabhängig ausgewählten Validationsproben.

6. Für die Parameter RP- und NEL-Gehalt wurden die Kalibrationen erstellt.

Die nasschemische Analyse dieser Parameter wurde am identischen Kalibrations- und Validationsprobensatz für die zu untersuchenden Parameter wie folgt durchgeführt:

### **Rohprotein- bzw. Stickstoffgehalt**

Als Referenzmethode für die Ermittlung des RP-Gehaltes wurde die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes nach KJELDAHL angewandt. Der RP-Gehalt wurde nach KIRCHGEßNER (1987) durch Multiplikation des Gesamt-N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 ermittelt.

### **Aschegehalt**

Der Aschegehalt bzw. der Gehalt an organischer Substanz wurden nach fünfstündiger Veraschung der Pflanzenproben bei 550 °C in einem Muffelofen bestimmt.

### **Nettoenergiegehalt von Silomais und Klee gras**

Die Berechnung des NEL-Gehaltes der Silomaisproben basierte auf der Bestimmung der durch Pepsin-Salzsäure und Cellulase unlöslichen organischen Substanz (Eulos) bzw. für Klee gras durch Pepsin-Salzsäure und Cellulase lösliche organische Substanz (Elos). Als enzymatischer Verdaulichkeitstest wurde die modifizierte Methode nach DE BOEVER et al. (1986) in einem zweistufigen Aufschluss angewandt. Zur Bestimmung des Gehaltes an enzymunlöslicher organischer Substanz (Eulos) wurde diese Methode durch die genaue Angabe der Wassermenge für das Auswaschen der Probenrückstände überarbeitet (SCHMIDT und ECKSTEIN, 1999). Im ersten Schritt wurden 0,3 g des Pflanzenmaterials mit 30 ml Pepsin/HCl-Lösung behandelt und 24 h bei 40 °C im Brutschrank gehalten. Die Glasfiliertiegel werden anschließend in das Wasserbad gestellt. Durch die Temperaturerhöhung auf 80 °C (Dauer 45 Min.) wird die vorhandene Stärke hydrolytisch abgebaut. Nach dem Absaugen der Flüssigkeit mit Hilfe der Absaugvorrichtung und dem säurefreien Waschen des Rückstandes mit 300 ml warmem Wasser, wird dieser dann in der zweiten Stufe mit dem Cellulase-Präparat „Onozuka R-10“ aus *Trichoderma viride* versetzt. Hierfür wurden 30 ml vorgewärmte Cellulasepufferlösung in den wieder verschlossenen Tiegel gegeben, erneut 24 h im Brutschrank inkubiert, danach abgesaugt, mit 300 ml angewärmtem Wasser gespült und im Trockenschrank bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die getrockneten Tiegel werden gewogen, bei 550 °C mindestens 1,5 h verascht und zurückgewogen.

Die Berechnung des Gehaltes an enzymunlöslicher Substanz (Eulos) in der Trockenmasse basiert auf der Formel:

$$\text{Eulos [g kg}^{-1} \text{ TM]} = \frac{\text{G} \times 1000}{\text{TM}}$$

TM = Trockenmassegehalt der Probe in %

G = Glühverlust in %

Die umsetzbare Energie (ME) für Mais und Maiskonservate wurde aus der enzymunlöslichen Substanz (Eulos), früher als retinierte Energie (RE) bezeichnet, dem Aschegehalt und dem Rohproteingehalt nach folgender Formel (WEIßBACH et al., 1996a) berechnet:

$$\text{ME [MJ kg}^{-1} \text{ TM]} = 14,27 - 0,0147 \text{ XA} - 0,0120 \text{ RE} + 0,00234 \text{ XP}$$

XA = Aschegehalt der Probe in %

RE = frühere Bezeichnung für die enzymunlösliche organische Substanz (Eulos) in kg TM<sup>-1</sup>

XP = Rohproteingehalt der Probe in %

Die umsetzbare Energie (ME) für Gras und Graskonservate wurde aus der enzymlöslichen Substanz (Elos), früher als retinierte Energie (RE) bezeichnet, dem Aschegehalt und dem Rohproteingehalt nach folgender Formel (WEIßBACH et al., 1996a) berechnet:

$$ME [MJ \text{ kg}^{-1} \text{ TM}] = 14,27 - 0,0147 \text{ XA} - 0,0120 \text{ RE} + 0,00234 \text{ XP}$$

XA	=	Aschegehalt der Probe in %
RE	=	frühere Bezeichnung für die enzymunlösliche organische Substanz (Eulos) in $\text{kg TM}^{-1}$
XP	=	Rohproteingehalt der Probe in %

Die Nettoenergiegehalte (NEL) berechneten sich nach WEIßBACH et al. (1996b) aus der umsetzbaren Energie, dem Teilwirkungsgrad für Milchbildung ( $k_L$ ) und dem Aschegehalt nach der Formel:

$$NEL [MJ \text{ kg}^{-1} \text{ TM}] = ME \times [0,46 + 12,38 \text{ ME} / (1000 - \text{XA})]$$

ME	=	umsetzbare Energie in $\text{MJ kg TM}^{-1}$
XA	=	Aschegehalt in %

### Nettoenergiegehalt der Triticale

Die Bestimmung des NEL-Gehaltes erfolgte mit der nach FRIEDEL und POPPE (1990) modifizierten 2-stufigen Enzymmethode. Dabei handelt es sich um eine geschätzte in-vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz, die aus folgenden einzelnen Analysenschritten hervorgeht:

1. Ermittlung der Cellulase unlöslichen organischen Masse (Omcu) und der organischen Masse (OM).

Zunächst wird 0,2 g Probenmaterial in Zentrifugenröhrchen eingewogen, mit 20 ml Pepsin/HCl-Lösung versetzt und 24 h im Brutschrank bei 40 °C gehalten. Anschließend werden die Röhrchen 10 Min. im kochendheißen Wasserbad erwärmt und dann 10 Min. bei 3000 U/Min. zentrifugiert. Der Überstand wird durch eine sehr feinmaschige Müllereigase (40 micron) abgesaugt. Der verbleibende Rückstand wird mit 0,1 g des Cellulase Präparates Unizym F der Firma IFZ-Biotechnologie und 20 ml Pufferlösung (0,1 mol. Zitronensäure + 0,2 mol. Dinatriumhydrogenphosphat / pH 4,6) versehen und erneut 48 h im Brutschrank inkubiert. Nach Überführung in Glasfiltertiegel (Porosität  $P3 < 40$  micron) wird mit destilliertem Wasser und Aceton gespült, die getrockneten Tiegel gewogen, bei 550 °C 1 h verascht und zurückgewogen. Ergebnis dieser ersten Stufe ist die Cellulase unlösliche organische Masse (Omcu), die sich aus der nachstehenden Formel ergibt:

$$\text{Omcu} (\text{g kg}^{-1} \text{ TM}) = [\text{TG vor Veraschung} (\text{g}) - \text{TG nach Veraschung} (\text{g}) * 10000] / [\text{Einwaage} (\text{g}) * \text{TM-Gehalt}]$$

TG = Tiegelgewicht

Parallel hierzu wird die Bestimmung der organischen Masse (OM) über den Rohaschegehalt durchgeführt. Dazu werden die Proben in einem Keramiktiegel auf einem Bunsenbrenner vor verascht und dann im Muffelofen bei 550 °C 4 h verascht. Die organische Masse errechnet sich nach der Formel:

$$\text{OM} (\text{g kg}^{-1} \text{ TM}) = 1000 - \text{Rohasche} (\text{g kg}^{-1} \text{ TM})$$

2. Die Schätzung der umsetzbaren Energie (ME) erfolgte einmal mittels NIRS, des weiteren lässt sich die ME nach der Formel von FRIEDEL & POPPE (1990) berechnen:

$$ME \text{ ( MJ kg}^{-1} \text{ TM)} = 0.0136 OM - 0.0134 Omcu + 0.0026 RP$$

3. Nach der Gleichung von VAN ES (1978) kann der NEL-Gehalt aus der umsetzbaren Energie (ME) und der Bruttoenergie (GE) errechnet werden. Die Bruttoenergie wird als konstant  $18.4 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ TM}$  angenommen:

$$NEL \text{ ( MJ kg}^{-1} \text{ TM)} = [0.463 + 0.24 \times (ME \text{ g kg}^{-1} \text{ TM} / GE \text{ g kg}^{-1} \text{ TM})] \times ME$$

Die Analysen wurden in zweifacher (RP-Gehalt) bzw. vierfacher Wiederholung (Eulos, Elos, Omcu, OM) durchgeführt. Eine wiederholte Analyse erfolgte dann, wenn Abweichungen von mehr als 0,5 % RP bzw. 1,2 % bei der Bestimmung der Glühverluste zwischen den Parallelen festgestellt wurden.

Die Bestimmung der RP- und NEL-Gehalte des Kleegrases und der Wurzeln des catch crop sowie der RP- und NEL-Gehalte der Triticale in Form des Ganzpflanzen Aufwuchses und der Kornernte erfolgte mittels NIRS-Schätzgleichungen, die vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau der Universität Kiel erstellt wurden (KASKE, 2000). Diese Kalibration basiert auf Pflanzenmaterial (Deutsches Weidelgras, Winterweizen), das an repräsentativen Standorten in Schleswig-Holstein gewonnen wurde.

### 3.5.3 Ermittlung der N-Bilanzgrößen und Bilanzierungsansatz der drei Feldfrüchte

#### Silomais und Triticale

Die Betrachtung der Nährstoffbilanz für das Nährelement N erfolgte auf der Feldebene. Der hier verwendete methodische Ansatz berücksichtigt folgende Inputgrößen: N aus der organischen [Gesamt-N-Gehalt ( $\text{kg ha}^{-1}$ )] und mineralischen Düngung ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) sowie der auf  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  geschätzte atmosphärische N-Eintrag in Form von nasser und trockener Deposition (WELLBROCK, 2002). Die Outputkomponente stellt die über den Ertrag der Gesamtpflanze abgeführte N-Menge dar. Dabei findet der in den Stoppelresten und Wurzeln enthaltene N bei der Bilanzierung keine Berücksichtigung. Der N-Saldo wurde aus der Summe des flächenbezogenen N-Inputs nach Abzug des N-Outputs berechnet (Tab. 9).

Tab. 9: Schema für die N-Flächenbilanz

N-Input	-	N-Output	=	N-SALDO
organische Düngung mineralische Düngung Exkrement <sup>1</sup> N-Einträge aus Deposition Symbiotische Fixierung <sup>1</sup>	-	Netto-N-Ertrag <sup>2</sup>	=	N-Flächenbilanz

<sup>1)</sup> bei Klee gras

<sup>2)</sup> Silomais und Triticale: N-Ertrag zum Erntetermin; Klee gras: Brutto N-Ertrag – Weiderest N-Ertrag

### **Klee gras**

Bei der Berechnung der Bilanzsalden wird im Ergebnisteil für das Klee gras unterschieden nach der N-Zufuhr, die i) über die organische und mineralische N-Düngung und der Deposition erfolgt und nach der N-Zufuhr ii) bei der zusätzlich auch der N aus den Exkrementen und der Fixierung berücksichtigt wird. Durch die Beweidung des 3. und 4. Aufwuchses kommt in Form der Exkremente ein großer Teil des aufgenommenen N wieder zurück auf die Weide. Nach LANTINGA et al. (1987) kann bei der Beweidung mit Färsen von einer Verwertung von nur 7 % des aufgenommenen N ausgegangen werden. Des weiteren trägt auch der Weißklee über die symbiontisch fixierte N-Menge zur Nährstoffversorgung des Bestandes bei. Untersuchungen von TAUBE et al. (1995) belegen, dass pro % Weißklee-Ertragsanteil 3-4 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> fixiert werden. Für das Klee gras der Fruchtfolge wurden 3,5 kg N pro % Weißklee-Ertragsanteil angenommen.

### **3.5.4 Statistische Auswertung**

Die statistische Verrechnung des Datenmaterials erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System) Version 8.2 (SAS<sup>®</sup>, 2003). Die mehrfaktoriellen Varianzanalysen der Merkmale wurden mit der Prozedur MIXED nach der Überprüfung der Normalverteilung der Residuen und der Homoskedastizität für die einzelnen Versuchsjahre getrennt sowie im Mittel der Versuchsjahre durchgeführt. Die Verrechnung erfolgte unter Berücksichtigung des Versuchesdesigns, dem im Modell durch die Spezifizierung zufälliger Effekte Rechnung getragen wurde. Dieses Verfahren liefert neben den Signifikanzen der Versuchsfaktoren auch Mittelwerte/LSMEANS (least squares means) oder adjustierte Erwartungswerte, sowie deren Varianz. Die Sicherungsgrenzen (p<0,001=\*\*\*/ sehr hoch signifikant, p<0,01=\*\*/ hoch signifikant, p< 0,05=\*/ signifikant, p>0,05=n.s./ nicht signifikant) und der Standardfehler des Mittelwertes (S.E.) werden in den Anhangstabellen aufgeführt. Regressionsbeziehungen zwischen Merkmalen wurden mit der Prozedur GLM (General Linear Model) untersucht. Die Regressionsgleichung enthielt unabhängige Faktoren in linearer bzw. quadratischer Form. Im Ergebnisteil werden Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Standardfehler (S:E.) mit zugehörigen Signifikanzniveaus der Regression angegeben.

### **3.5.5 Umweltindex**

Während des Versuchszeitraums wurden die Witterungsdaten (siehe 3.2 Witterung) aufgezeichnet. Damit standen Informationen über Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Verdunstung während der Vegetationsperiode zur Verfügung. Mittels des Modells FOPROQ (KORNHER et al., 1991) wurde der Umweltindex für alle Kulturarten berechnet, der eine multiplikative Verknüpfung aus Temperatur-, Wasser- und Strahlungsindex darstellt. Der in täglichen Schritten ermittelte Umweltindex beschreibt die Limitierung des Wachstums durch suboptimale Umweltbedingungen (1 = optimal; <1 = suboptimal).



## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Leistungsparameter werden in der Reihenfolge der Kulturen innerhalb der Rotation, sowie für die komplette Rotation hinsichtlich der N-, NEL-Erträge, NEL- und RP-Gehalte und des N-Bilanzsaldos dargestellt. Bei der N-Bilanzierung der Ackerfutterbaufruchtfolge wurden die N-Erträge der Triticale aus der Korn- und Strohernte herangezogen. Bei schlechten Erträgen des Kleeegrases oder des Silomaises könnte die Triticale in Form der Ganzpflanze als Grundfutter dienen, diese Ergebnisse werden für die Jahre 2001 und 2002 im Anhang dargestellt. Die Ergebnisse stellen Mittelwerte über die Hauptversuchsjahre 2000 bis 2002 dar und werden in Form von Regressionen in Abhängigkeit der N-Düngung (Mineral + Gülle) abgebildet, da in den meisten Fällen keine Signifikanz für den Faktor Gülle festgestellt wurde. Die dazugehörigen Funktionen werden mit der Statistik in der Anhangstabelle A32 dargestellt. Die Mittelwerte und Fehler der Varianzanalyse (LS MEANS; S.E.) der einzelnen Versuchsjahre werden ebenso mit ihrer Statistik im Anhang aufgeführt.

### 4.1 Klee gras

In die Berechnung der Ertrags- und Qualitätsparameter floss der „5. Aufwuchs“ („catch-crop“) nicht ein, da dieser Aufwuchs auf der Fläche verblieb und die Aufgabe der N-Konservierung über Winter übernehmen sollte. Zur Beschreibung der N-Effizienz des Systems wird der N-Flächensaldo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) und der Quotient N-Saldo/NEL-Ertrag ( $\text{kg GJ NEL}^{-1}$ ) dargestellt.

#### 4.1.1 Weißklee-Ertragsanteil und fixierte N-Menge des Weißklee s

Die Weißklee-Ertragsanteile (EA) der ersten beiden Aufwüchse (Schnittnutzung) besaßen in den einzelnen Versuchsjahren und im Mittel der Jahre einen sehr charakteristischen Verlauf

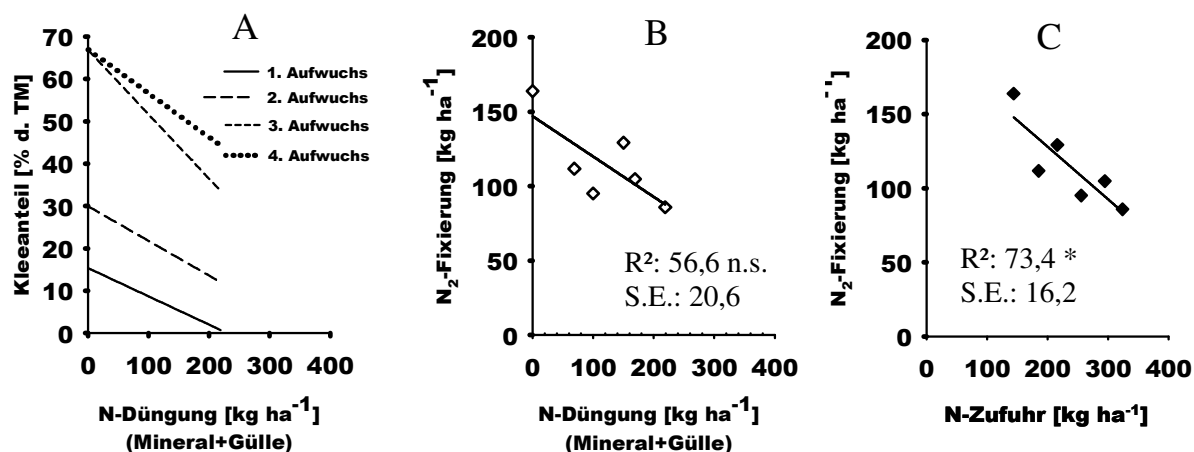


Abb. 3: Weißklee Ertragsanteil im Durchschnitt des 1. - 4. Auswuchses und N<sub>2</sub>-Fixierung in Abhängigkeit der N-Düngung und N-Zufuhr (Mineral-, Gülle-, Deposition-, Exkrement- und Weiderest-N) im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

gegenüber dem 3. und 4. Aufwuchs (Beweidung) in Abhängigkeit der N-Düngung. Wie Abb. 3 (vgl. auch Tab. A4) beschreibt, nahm der EA bei zunehmender mineralischer N-Düngung hoch signifikant ab. Hingegen beeinflusste die Gölledüngung von  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $78 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) die Biomassebildung als auch die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung des Bestandes nicht. Als N-fixierende Pflanze reagierte der Weißklee auf die frühjahrsbetonte N-Düngung mit EA von 8-10 %, gegenüber 15 % ohne N-Düngung. Die N-Düngung zum 2. Aufwuchs betrug bei der H-Intensität 40 bzw. bei der R-Intensität  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  und der Weißklee erhöhte seinen Anteil am TM-Ertrag um 15 %. Trotz der N-Düngung von  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  zur 3. Nutzung bei H-

Intensität und der N-Zufuhr über die Exkrememente und Weidereste erhöhten sich die EA nochmals auf 43 % bis 67 %. Die  $N_2$ -Fixierungsleistung nahm sehr hoch signifikant in Abhängigkeit der mineralischen N-Düngung ab. Der Weißklee fixierte im Mittel der Versuchsjahre bei der E-Intensität 164 kg, bei der R-Intensität 129 kg und bei der H-Intensität 86 kg N  $ha^{-1}$ .

Tab. 10: Regression der Weißklee-Ertragsanteile (y; % der TM) des 1.- 4. Auswuchses im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002 in Abhängigkeit von der N-Düngung (x).

	Regression $y = a + b \cdot x$					
	a	p<0,05	S.E.	b	p<0,05	S.E.
1. Aufwuchs	15,38	***	3,41	-6,6868	**	2,44
2. Aufwuchs	29,96	***	4,70	-8,1935	**	2,44
3. Aufwuchs	66,86	***	4,70	-15,1876	***	2,44
4. Aufwuchs	66,95	n.s.	4,70	-10,3817	***	2,44

Zudem stellten die atmosphärische Deposition, die N-Rückführung über die Exkrememente der Weidetiere und der N der Weidereste aus 2 Beweidungen eine zusätzliche N-Quelle dar. Im Mittel der Jahre wurden über Kot und Harn 67 kg N  $ha^{-1}$  ausgeschieden und über die Weidereste gelangten durchschnittlich 36 kg N  $ha^{-1}$  auf die Fläche zurück, wodurch die  $N_2$ -Fixierung ebenso signifikant negativ beeinflusst wurde (Abb. 3C)

#### 4.1.2 Ertrags- und Futterqualitätsparameter

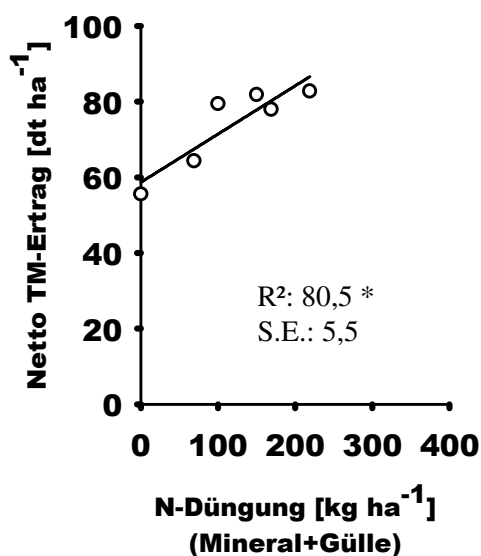


Abb. 4: Netto TM-Ertrag des Klee-grases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Die Netto TM-Erträge des Klee-grases zeigten eine lineare Zunahme bei Intensivierung der N-Düngung. Der Netto TM-Ertrag ist sehr hoch signifikant von der mineralischen N-Düngung abhängig (Tab. A4). Der Klee-grasbestand wies ohne N-Düngung einen TM-Ertrag von 57 bzw. bei extensiver N-Düngung einen TM-Ertrag von 65 dt  $ha^{-1}$  auf. Bei H-Intensität (219 kg N  $ha^{-1}$ ) erzielte das Klee-gras 83 dt TM  $ha^{-1}$ . Abbildung 5 beschreibt die N-Erträge und RP-Gehalte des Klee-grases. Die Gülle- und mineralische N Düngung beeinflussten den N-Ertrag nicht signifikant (Tab. A4). Mit steigender N-Düngung nahm der N-Ertrag linear zu. Die RP-Gehalte des Klee-grases wurden hoch signifikant von der Interaktion G\*N beeinflusst (Tab. A4). Bei Erhöhung der N-Düngung reagierten die RP-Gehalte des Klee-grasbestandes mit linear abnehmenden Gehalten. Ohne Düngung wurden die niedrigsten N-Erträge in Höhe von 178 kg  $ha^{-1}$  bei maximalen RP-Gehalten festgestellt, bei H-Intensität 224 kg N  $ha^{-1}$ . Die Kombination aus Gülle und mineralischer N-Düngung führte zu

keiner so starken Abnahme der RP-Gehalte wie die alleinige mineralische N-Düngung. Die frühjahrsbetonte, mineralische N-Düngung führte in Verbindung mit einer Gölledüngung bei

H-Intensität nicht zu den niedrigsten RP-Gehalten, da die hohen Weißklee EA zu hohen RP-Gehalten im Sommer und Herbst führten.

Im Mittel der Versuchsjahre besaß nur die mineralische N-Düngung einen signifikanten Einfluss auf den NEL-Ertrag des Kleegrases (Abb. 6, Tab. A4). Der ungedüngte bzw. mit Gülle gedüngte Klee grasbestand erzeugte NEL-Erträge von 41 bzw. 44 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. Zwischen dem NEL-Ertrag der extensiven und der höchsten Intensität lag eine Ertragsdifferenz von 17 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. Die NEL-Gehalte des Klee grases waren zwar sehr hoch signifikant von der mineralischen N-Düngung abhängig, variierten jedoch lediglich zwischen 6,94 und 7,21 MJ NEL kg TM<sup>-1</sup>.

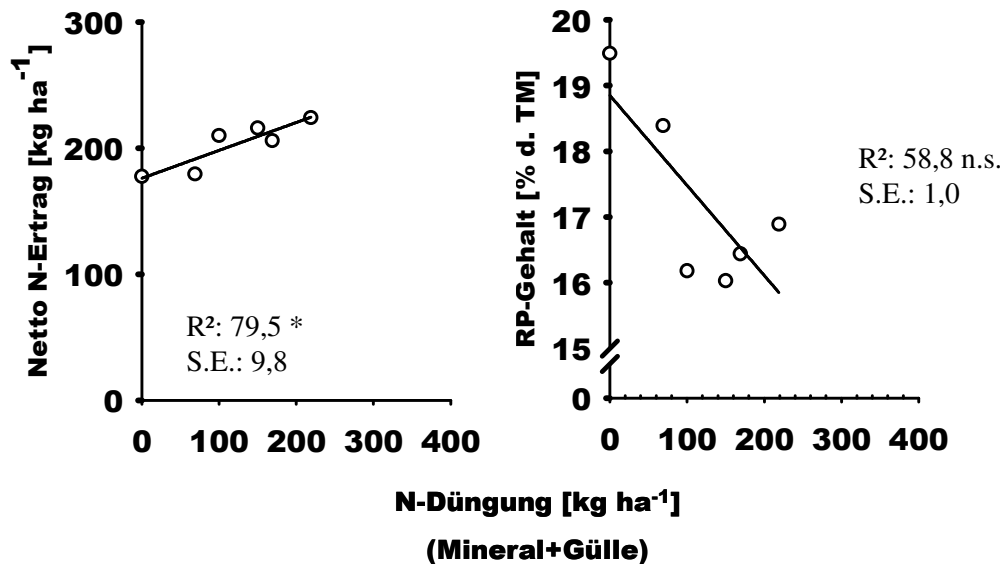


Abb. 5: Netto N-Ertrag und RP-Gehalt des Klee grases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Mit jedem weiteren kg mineralischen N-Dünger sank die NEL-Konzentration im Klee grasbestand um 0,0014 MJ NEL kg TM<sup>-1</sup> und die NEL-Erträge stiegen auf Grund der steigenden TM-Erträge um 0,08 GJ NEL ha<sup>-1</sup>.

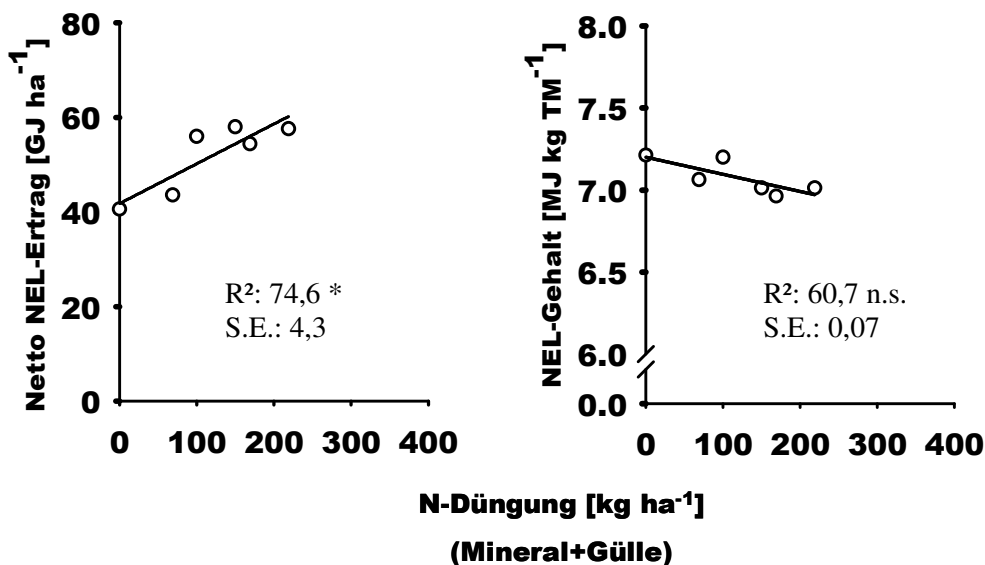


Abb. 6: Netto NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Klee grases in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

### 4.1.3 N-Flächenbilanz und Quotient N-Saldo/Energieertrag

In der N-Flächenbilanz des Kleeegrases wurde bei der Berechnung die jährliche Deposition, der Exkrement-N und die geschätzte  $N_2$ -Fixierungsleistung des Weißkleees berücksichtigt. Es konnte ein hoch signifikanter Einfluss der Interaktion G\*N zugeordnet werden. Dabei zeigte sich, dass unter Einfluss der Gülledüngung der mineralische N unterschiedlich gut ausgenutzt wurde (Tab. A3, Tab. A4). Die H-Intensität ( $219 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) besaß ein N-Saldo von  $130 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Bei R-Intensität ( $169 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) wurde ein N-Überschuss von  $82 \text{ kg N ha}^{-1}$  gemessen. Die  $N_2$ -Fixierung und die N-Rückführung über die Exkremente führten unter ungedüngten Bedingungen zu einem hohem N-Ertrag ( $178 \text{ kg ha}^{-1}$ ) und zu einem Bilanzsaldo von  $25 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Wird der N-Saldo in Bezug zur produzierten Energie pro ha gesetzt, dann variiert der

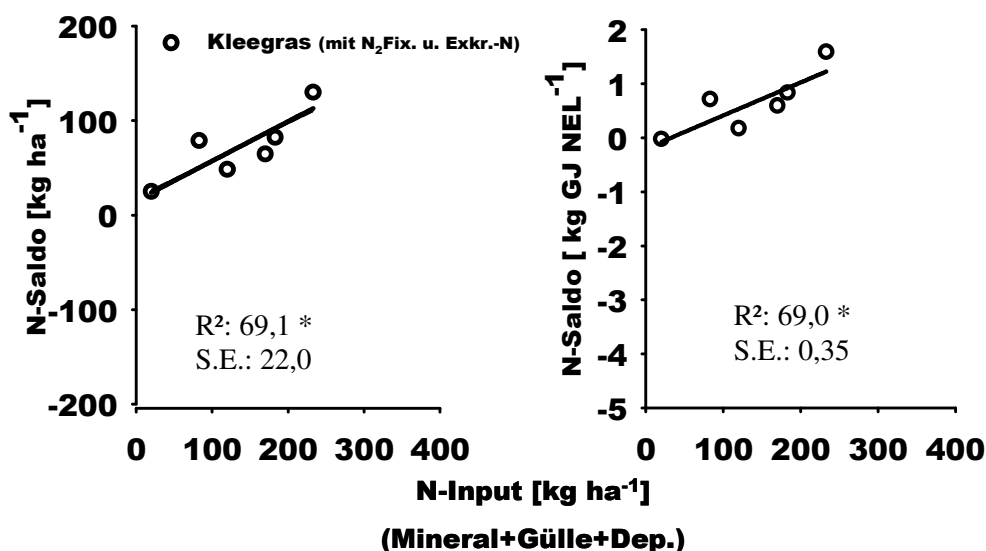


Abb. 7: N-Saldo des Kleeegrases in Abhängigkeit des N-Inputs im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

N-Überschuss zwischen  $-0,2$  und  $+1,13 \text{ kg GJ NEL}^{-1}$ . Auch hier besaß die Interaktion G\*N einen hoch signifikanten Einfluss. Mit steigender N-Düngung sinkt die N-Verwertung, da der N-Überschuss je produzierter Energieeinheit größer wurde.

### 4.1.4 Ertrags- und Qualitätsparameter des 5. Aufwuchses des Kleeegrases („catch-crop“) zu Vegetationsende

Die Beprobung des 5. Aufwuchses erfolgte zu Vegetationsende Mitte November (Tab. 2). Die Bestände gingen im Mittel der Jahre mit Weißklee EA je nach Höhe der N-Düngung von 45 bis ca. 70 % d. TM in den Winter. Die Ergebnisse stellen die gesamte oberirdische organische Masse des 5. Aufwuchses inkl. der Stoppeln dar. Den Beständen konnte sowohl im OM-Ertrag als auch im NEL-Gehalt kein signifikanter Einfluss der Faktoren mineralische und Gülle N-Düngung zugeordnet werden. Die Erträge schwankten zu Vegetationsende zwischen  $12,8$  und  $16,5 \text{ dt TM ha}^{-1}$  (Tab. A5, A6, A11). Der RP-Gehalt der OM dagegen sank hoch signifikant mit steigender N-Düngung (G\*N).

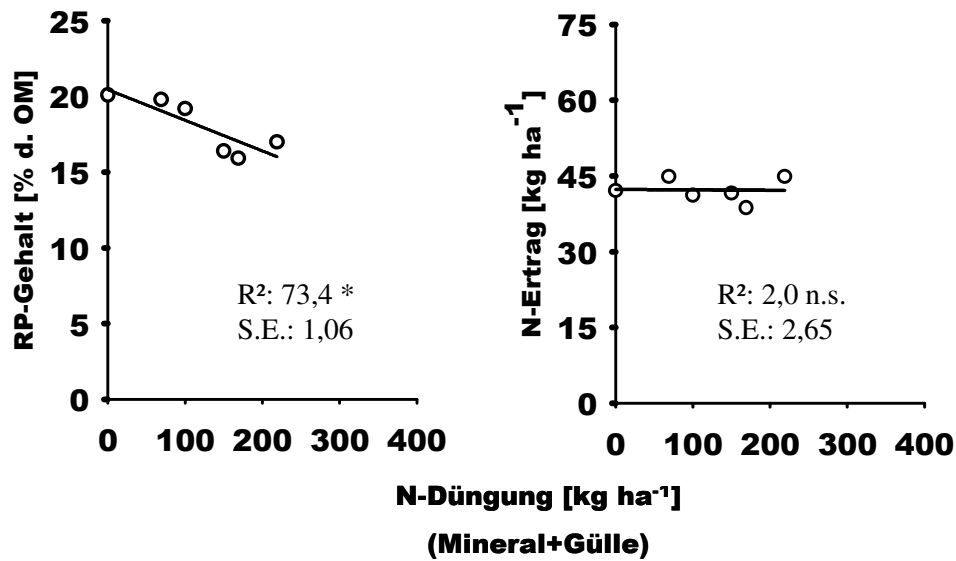


Abb. 8: RP-Gehalt und N-Ertrag der organischen Masse des 5. Aufwuchses des Klee-grases zu Vegetationsende in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Bei H-Intensität wurde in der OM ein RP-Gehalt von 17,0 %, bei E-Intensität ein Gehalt von 19,8 % d. OM ermittelt. Die RP-Gehalte im Herbst korrespondierten signifikant mit den mittleren Weißklee EA des Klee-grases (Abb. A10). Die N-Erträge schwankten unabhängig von der N-Düngung im Bereich von 37,9 bis 44,2 kg N ha<sup>-1</sup> auf Grund der geringen Variation der oberirdischen OM-Erträge nur gering.

#### 4.1.5 Ertrags- und Qualitätsparameter des Klee-grases („catch crop“) im Frühjahr vor Umbruch

Das Klee-gras besaß zum Zeitpunkt des Umbruchs zur Folgefrucht Silomais eine OM, bestehend aus oberirdischem Aufwuchs (inkl. Stoppeln) und den Wurzeln von 19,3 - 27,3 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der Anteil der Wurzeln an der gesamten organischen Masse variierte zwischen 50 und 60 % und stieg mit steigender N-Düngung an (Tab. A9, A13). Die Gülle- und mineralische N-Düngung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag der gesamten organischen Masse, auch nicht auf die Teilfraktionen (oberirdischer Aufwuchs, Wurzeln). Der Klee-grasbestand akkumulierte zum Umbruch eine N-Menge von 51 bis 65 kg ha<sup>-1</sup> in der gesamten OM im Mittel der Versuchsjahre. Der N-Gehalt beider Teilfraktionen nahm bei steigender mineralischen N-Düngung signifikant ab (Tab. A12, A13). Der oberirdische Aufwuchs akkumulierte zwischen 56 und 69 % der gesamten N-Menge des untergepflügten Klee-grases, bedingt durch seinen um 0,63 % höheren N-Gehalt der OM und seinen höheren OM-Ertrag.

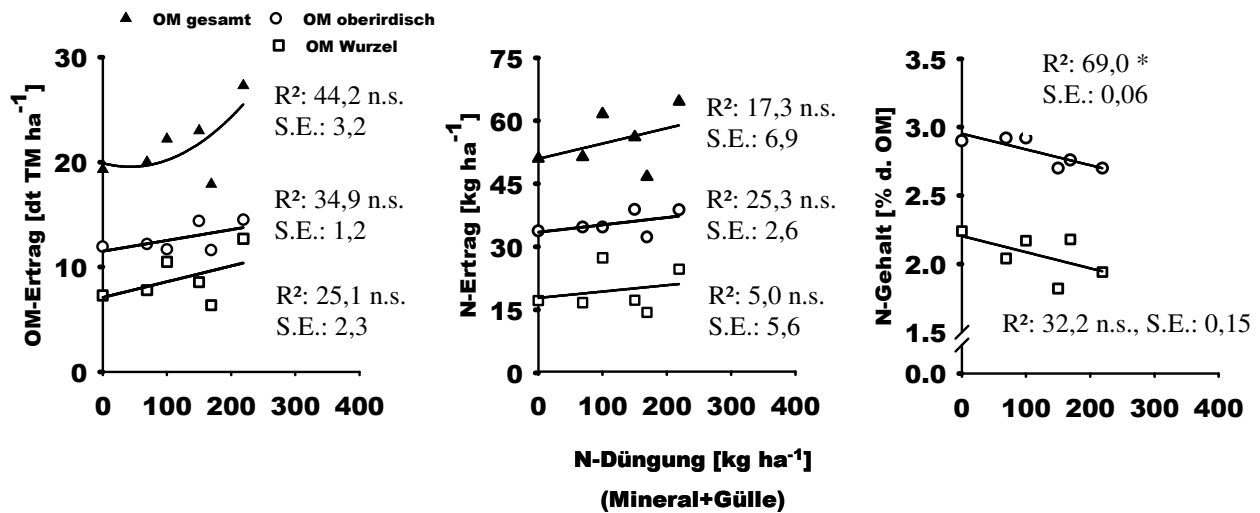


Abb. 9: OM-, N-Ertrag und N-Gehalt der organischen Masse (OM) des Kleegrases im Frühjahr vor Umbruch im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

## 4.2 Silomais

Zum Zeitpunkt der Ernte wies der Silomais im ersten Versuchsjahr einen TS-Gehalt von durchschnittlich 27,5 % d. TM auf. In den beiden folgenden Jahren lagen die Werte bei 30 bzw. 32,5 % d. TM.

### 4.2.1 Ertrags- und Futterqualitätsparameter

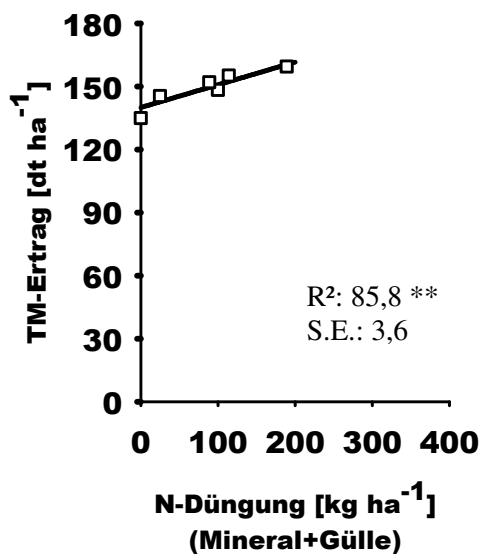


Abb. 10: TM-Ertrag des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Der Silomais nach Kleegrasumbruch erzielte TM-Erträge, die in Abhängigkeit von der N-Düngung zwischen 135 und 160 dt TM ha<sup>-1</sup> variierten (Abb. 10, Tab. A14). Es konnte bei alleiniger Betrachtung der Faktoren Gülle N bzw. Mineral N kein signifikanter Einfluss der Faktoren Gülle- und mineralischer N-Dünger nachgewiesen werden (Tab. A17). Der N aus dem Kleegrasumbruch wurde bei der N-Düngung nicht angerechnet, wirkte aber als eine zusätzliche N-Quelle des Bodens. Die Faktoren Gülle- und Mineraldünger-N besaßen zum Zeitpunkt der Ernte darüber hinaus jeweils keinen Einfluss auf den RP-Gehalt des Silomaises (Abb. 11), dieser schwankte zwischen 7,46 und 7,77 % i. d. TM und keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag des Silomaises, letzterer variierte zwischen 164 und 199 kg N ha<sup>-1</sup>. Auch die NEL-Erträge des Silomaises wiesen im Mittel der Versuchsjahre keine signifikante Abhängigkeit von den Faktoren der Gülle und mineralischen N-Düngung auf. Die NEL-Erträge schwankten im Mittel der Jahre zwischen 91 und 106 GJ NEL ha<sup>-1</sup> (Tab. A14)

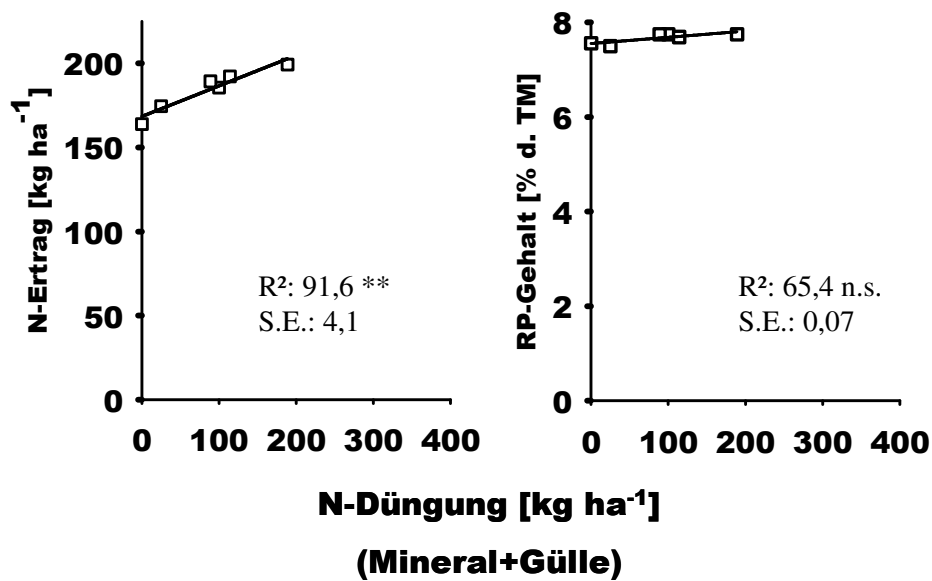


Abb. 11: N-Ertrag und RP-Gehalt des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Die signifikant von der mineralischen N-Düngung abhängigen NEL-Gehalte waren im Mittel der Jahre ohne N-Düngung am höchsten. Die Gehalte lagen im Mittel der N-Düngung bei  $6.66 \text{ MJ NEL kg TM}^{-1}$ .

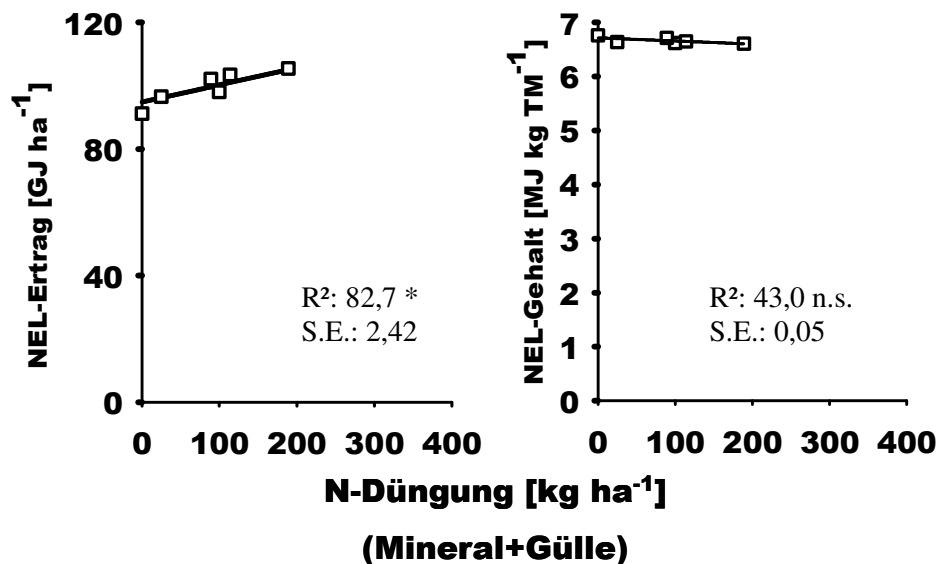


Abb. 12: NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Silomaises in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

#### 4.2.2 N-Flächenbilanz und Quotient N-Saldo/Energieertrag

Die Gülle- und mineralische N-Düngung besaßen einen hoch bzw. sehr hoch signifikanten Einfluss auf den N-Saldo des Silomaises. Auf Grund der hohen N-Erträge ohne jegliche N-Düngung und bei Güllendüngung (E-Intensität), erzielte der Silomais nach Kleeerasumbruch im Mittel der Versuchsjahre negative N-Salden im Bereich von  $-164$  bzw.  $-99 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

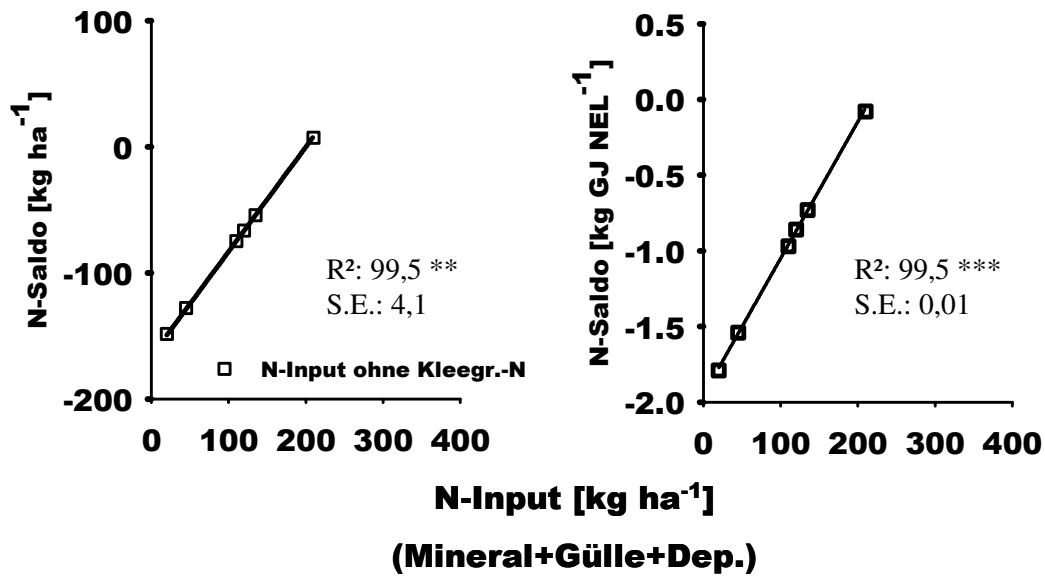


Abb. 13: N-Saldo des Silomaises in Abhängigkeit des N-Input im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Bei H-Düngung (190 kg N ha<sup>-1</sup>) wurde ein nahezu ausgeglichener N-Saldo von +11 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht. Der zusätzliche N aus dem Klee grasumbruch, der über alle N-Düngungsstufen gleich hohe N-Mengen aufwies, stand zusätzlich zur Verfügung. Wurde dieser als N-Input für alle N-Intensitäten gleich hoch angerechnet, dann erhöhte sich der N-Saldo im Durchschnitt der Behandlungen um 55 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Saldo bezogen auf die produzierte Energieeinheit zeigte auf, wie hoch der N-Überschuss je erzeugter Energieeinheit ist. Der bei Silomais vorhandene N-Unterschuss variierte nach Klee grasumbruch von - 1,8 bis - 0.1 kg N GJ NEL<sup>-1</sup> und wurde jeweils positiv von zunehmender Gülle- als auch mineralischer N-Düngung signifikant beeinflusst. Der angerechnete N aus dem Klee grasumbruch schlug sich dagegen in einer Erhöhung des N-Saldos von durchschnittlich 0,56 kg N je erzeugter Energieeinheit nieder.

### 4.3 Triticale

Die Leistungsparameter beziehen sich auf die Korn- und Strohernte der Triticale. Ertragsstrukturparameter wie Tausendkorngewicht (TKG), ähren tragende Halme und Korn/Stroh-Verhältnis wurden außerdem erhoben, doch werden diese im Ergebnisteil nicht vorgestellt. Sie sind in den Anhangstabellen dokumentiert. Ferner werden die Ergebnisse aus der Ganzpflanzen-Ernte der Triticale im Anhang dokumentiert.



4.3.1 Ertrags- und Qualitätsparameter der Korn- und Strohernte der Triticale

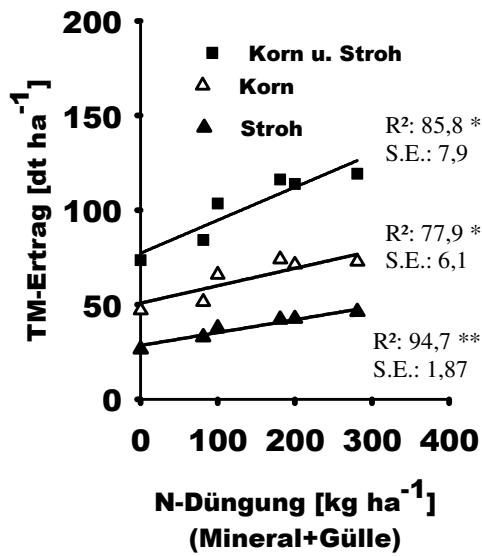


Abb. 14: Korn- und Stroh-Ertrag der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Der Korn-Ertrag wurde durch die Faktoren Gülle- und mineralische N-Düngung nicht signifikant beeinflusst. Der Stroh-Ertrag stieg dagegen sehr hoch signifikant mit steigender mineralischer N-Düngung an. Die Korn- bzw. Stroh-Erträge nahmen im Mittel der Jahre linear zu. Ohne N-Düngung erzielte die Triticale einen Korn-Ertrag von 47 dt TM ha<sup>-1</sup>, bei E Intensität wurden nur ca. 4,5 dt ha<sup>-1</sup> mehr geerntet. Bei H Intensität wurden 73 dt Korn-Ertrag ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die N-Erträge beider Fraktionen (Korn, Stroh) wurden sehr hoch bzw. hoch signifikant von der mineralischen N-Düngung beeinflusst. Das wiederum lag an der sehr unterschiedlich ausgeprägten Höhe der RP-Gehalte des Erntegutes (Abb. 15). Die RP-Gehalte des Kornes nahmen mit steigender mineralischer N-Düngung hoch signifikant zu. Die N-Erträge aus Korn und Stroh variierten in der Weise, dass über das Stroh mit steigendem Düngungsniveau zwischen 7 und 14 % des geernteten N die Fläche verließ. Lagen die N-Erträge aus Korn der H

Intensität bei ca. 159 kg ha<sup>-1</sup>, wurde über das Stroh nur ca. 27 kg N ha<sup>-1</sup> geerntet. Die N-Menge im Korn wurde im Vergleich zum Stroh stärker von der mineralischen N-Düngung beeinflusst. Der Gradient des geernteten Gesamt-N zwischen extensiv und intensiv gedüngten Beständen lag bei 120 kg N ha<sup>-1</sup>. Unter ungedüngten Bedingungen erzielte die Triticale auf Grund niedriger TM-Erträge und sehr geringer RP-Gehalte einen N-Ertrag von 67 kg ha<sup>-1</sup>. Die RP-Gehalte der Ganzpflanze variierten zwischen 4,1 und 10,97 % d. TM und nahmen signifikant mit steigender N-Düngung zu. Die RP-Gehalte nahmen sehr hoch signifikant mit der mineralischen N-Düngung zu (Tab. A23). Die NEL-Erträge aus Korn und Stroh waren hoch signifikant von der mineralischen N-Düngung abhängig. Das Korn als Stärkespeicher

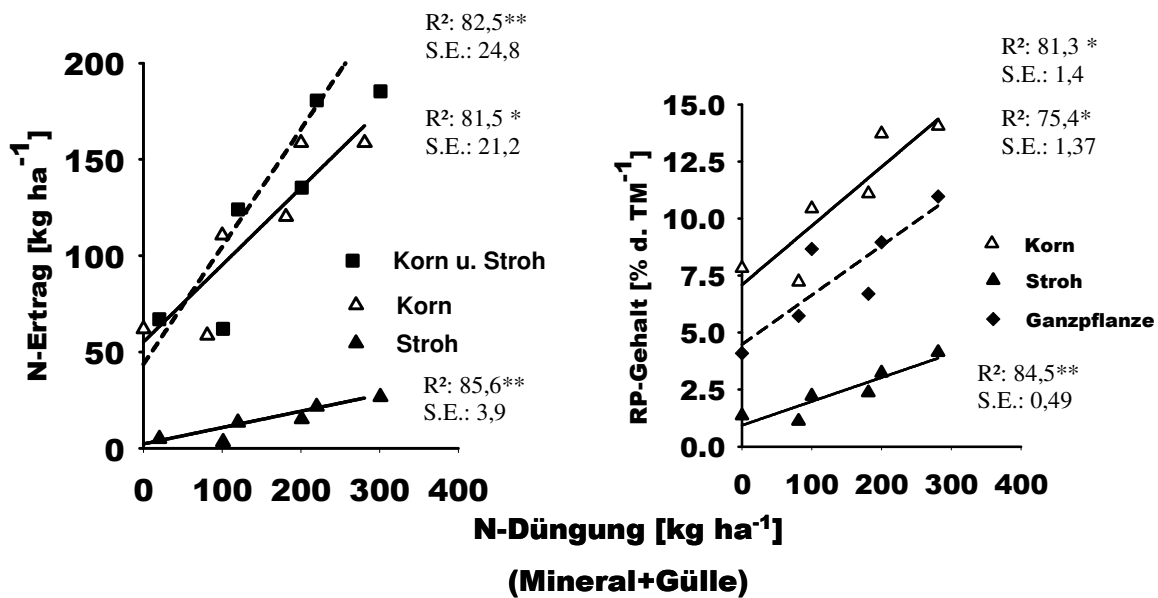


Abb. 15: N-Ertrag und RP-Gehalt des Korn, Strohs und der Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2000.

besaß NEL-Gehalte, die eine geringe Variation in Abhängigkeit der N-Düngung aufwiesen und zwischen 8,16 und 8,34 MJ NEL kg TM<sup>-1</sup> variierten. Wasserstress, wie im Jahr 2000 führte zu einer deutlichen Absenkung der NEL-Gehalte (7,5 MJ NEL kg TM<sup>-1</sup>). Die NEL-Gehalte der Ganzpflanze variierten zwischen 5,07 und 6,87 MJ kg TM<sup>-1</sup> und waren nicht signifikant abhängig von der N-Düngung. Der NEL-Ertrag aus Korn und Stroh variierte in Abhängigkeit der N-Düngung zwischen 50 und 75 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. Über das Korn wurden zwischen 79 und 81 % der Energie geerntet, die NEL-Erträge des Strohs befanden sich auf sehr niedrigem Niveau.

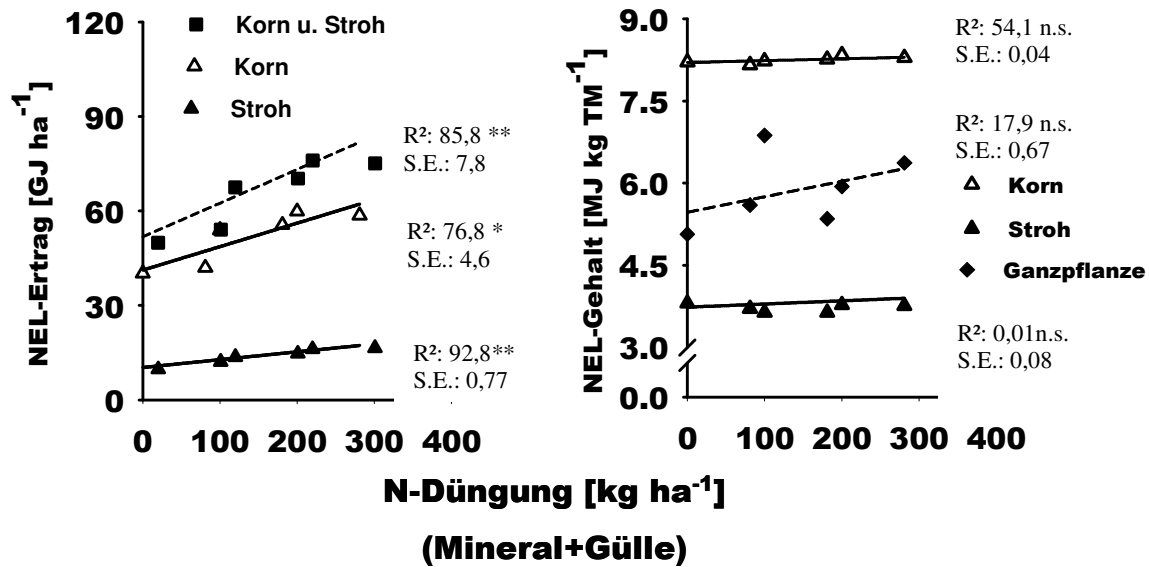


Abb. 16: NEL-Ertrag und NEL-Gehalt des Korn, Strohs und Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

### 4.3.2 N-Flächenbilanz und Quotient N-Saldo/Energieertrag

Der N-Saldo aus Korn und Stroh stieg bei Erhöhung der mineralischen N-Düngung hoch signifikant an und variierte zwischen - 71 und 95 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Triticale erzielte ein ausgeglichenes N-Saldo von 0 kg ha<sup>-1</sup>, wenn eine N-Düngung von ca. 110 kg N ha<sup>-1</sup> erfolgte.

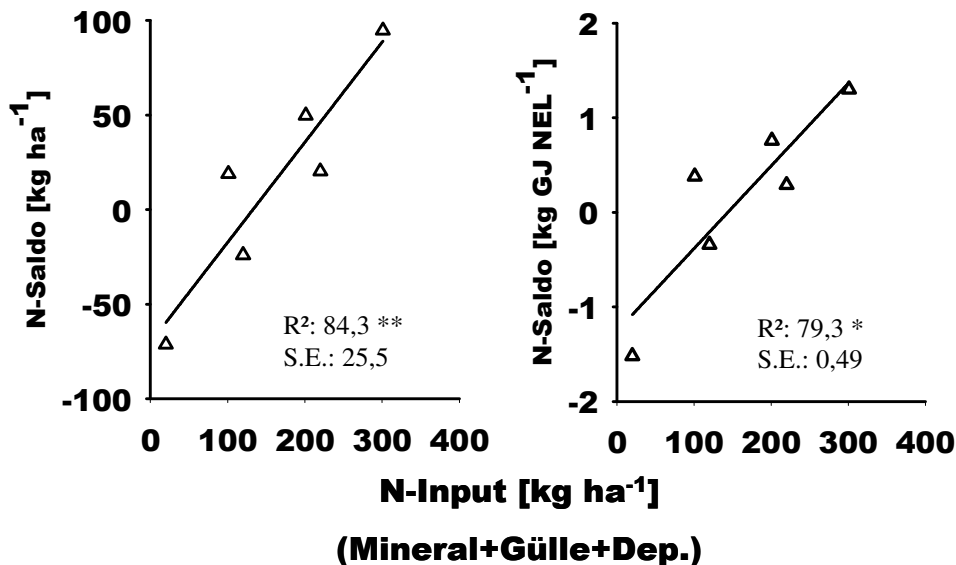


Abb. 17: N-Saldo der Triticale (Korn und Stroh) in Abhängigkeit des N-Inputs im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Die E-Intensität erbrachte einen N-Überschuss von  $19 \text{ kg ha}^{-1}$ . Eine Erhöhung der N-Düngung auf  $181$  bzw.  $281 \text{ kg N ha}^{-1}$  führte zu N-Salden von  $50$  bzw.  $95 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Wurde der N-Saldo auf den erzeugten Energie-Ertrag bezogen, stellte sich ein Unterschuss von  $-1,5$  bei E-Intensität bzw. ein Überschuss von  $1,3 \text{ kg N GJ NEL}^{-1}$  bei H-Intensität ein. Bei einer N-Düngung von  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  wurde die erzeugte Energieeinheit aus Korn und Stroh ohne N-Überschüsse erzeugt.

#### 4.4 Produktivität und N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge

Die N- und NEL-Erträge der Fruchtfolgeglieder wurden im Mittel der drei Versuchsjahre verrechnet und geben einen Überblick über die in der Rotation erzielten Leistungen.

##### 4.4.1 N- und NEL-Erträge

Die N- bzw. die NEL-Erträge der Fruchtfolge stiegen hoch signifikant bzw. signifikant mit zunehmender mineralischer N-Düngung an. Im Mittel der Jahre wurden N-Erträge zwischen  $144$  und  $209 \text{ kg ha}^{-1}$  erreicht. Beim NEL-Ertrag nahm der Silomais im Vergleich zum Klee gras und der Triticale eine überragende Rolle ein. Mit NEL-Erträgen des Silomaises zwischen  $91$  und  $105 \text{ GJ ha}^{-1}$  blieben die Triticale ( $50$  bis  $75 \text{ GJ ha}^{-1}$ ) und das Klee gras ( $41$  bis  $58 \text{ GJ ha}^{-1}$ ) in ihren Ertragsleistungen bezüglich Energie wesentlich zurück.

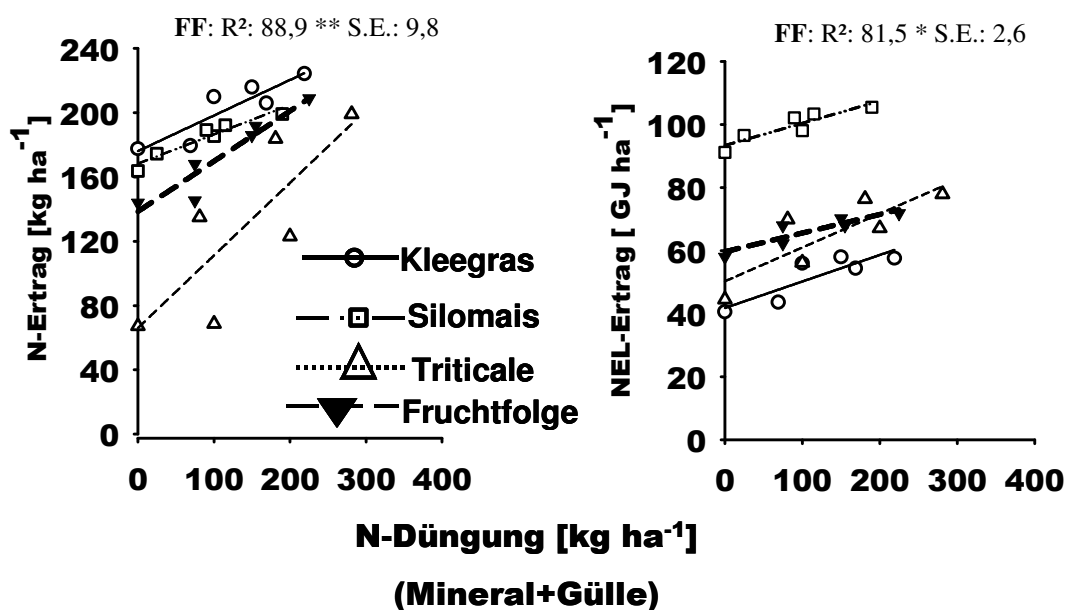


Abb. 18: N- und NEL-Ertrag der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras - Silomais - Triticale) in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

Abbildung 19 zeigt die NEL- und RP-Gehalte der Kulturarten und der Fruchtfolge. Die Futterqualität der Fruchtfolge besteht gewichtet nach den Erträgen aus den drei Kulturarten. Die N-Düngung hatte keinen Einfluss auf die Futterqualität, stattdessen bestimmen die Anteile der Kulturarten und deren Qualitäten die Güte der Futterqualität der Gesamtmischung. Im Mittel der N-Düngung werden NEL-Gehalte von  $6,47 \text{ MJ NEL kg TM}^{-1}$  erzielt. Abzüglich der Silierverluste liegt ein Futter unabhängig von der N-Düngung mit mittlerer Energiedichte vor. Die RP-Gehalte im Mittel der Fruchtfolgeglieder variieren zwischen  $9,04$  und  $10,92 \%$  d. TM, nehmen zwar mit steigender N-Düngung zu, doch liegen diese im suboptimalen RP-Versorgungsbereich für laktierende Milchkühe und Jungvieh.

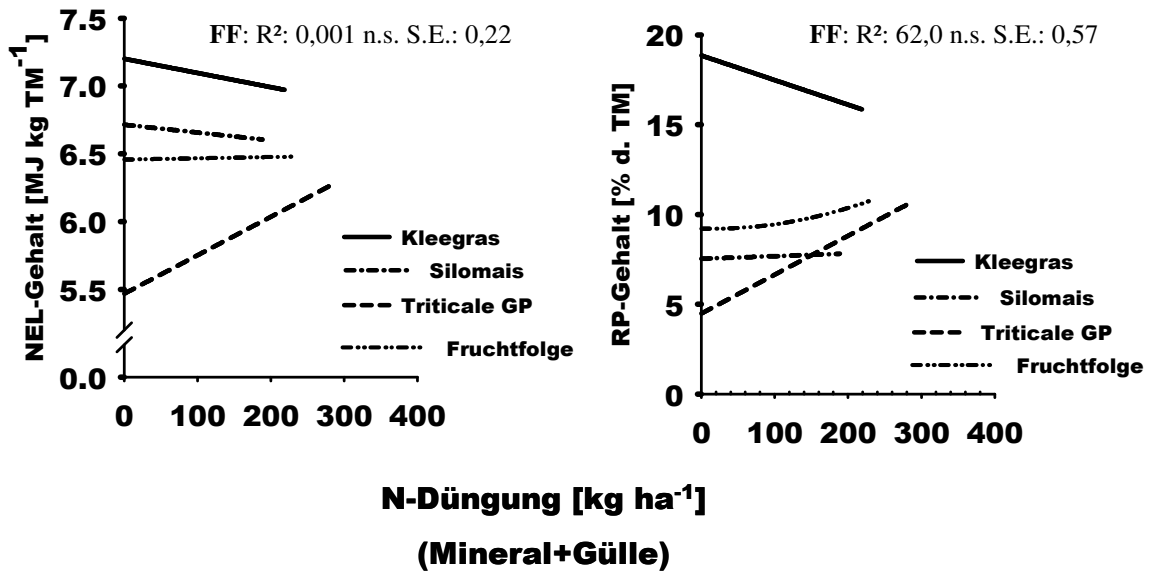


Abb. 19: NEL- und RP-Gehalt der einzelnen Kulturarten der Ackerfutterbau-/Fruchtfolge sowie im Mittel der Fruchtfolgeglieder in Abhängigkeit der N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

#### 4.4.2 N-Flächenbilanz und Quotient N-Saldo/Energieertrag

Die N-Salden der Fruchtfolge stiegen im Mittel der Jahre hoch signifikant mit steigender Gülle N-Düngung an. Diese erstreckten sich in Abhängigkeit des N-Inputs zwischen - 27 und 102 kg ha<sup>-1</sup>. Ein ausgeglichener N-Saldo wurde bei einem N-Input von 100 kg ha<sup>-1</sup> erreicht. Der N-Überschuss je produzierter Energieeinheit der Fruchtfolge war sehr hoch signifikant von der Gülledüngung als auch von der mineralischen N-Düngung abhängig. Lag der N-Saldo ohne Gülledüngung zwischen - 0,13 und 0,67 dann wurde mit Gülledüngung ein Niveau von 0,96 bis 1,58 kg N GJ<sup>-1</sup> NEL erreicht.

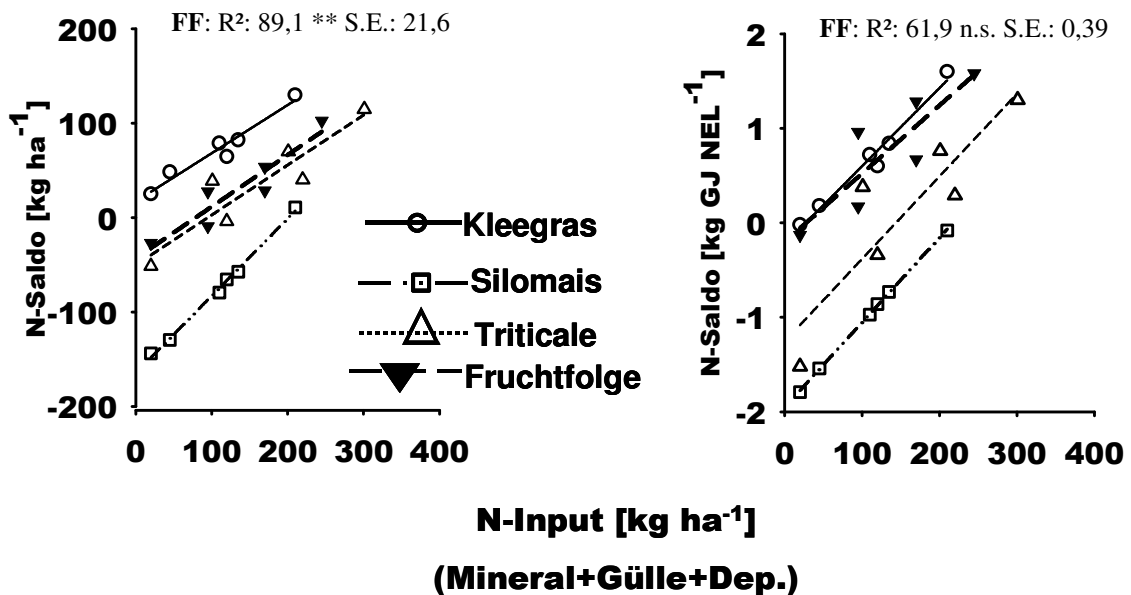


Abb. 20: N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Kleegras - Silomais - Triticale) in Abhängigkeit des N-Input im Mittel der Versuchsjahre 2000-2002.

## 5. Diskussion

In der 1. Phase des „N-Projektes Karkendamm“ wurde das Dauergrünland und Mais in Monokultur im Hinblick auf die Produktivität und N-Verwertung über einen weiten N-Düngungsgradienten geprüft (WACHENDORF & TAUBE, 2000; INGWERSEN, 2001; BÜCHTER, 2003; TROTT, 2003). Das Dauergrünland, insbesondere Weide- und Mähweidesysteme, zeichneten sich durch eine schlechte N-Verwertung aus. Der Silomais verwertet den N effizient und führte bei optimaler N-Düngung zu ausgeglichenen N-Salden und geringen Nitrat auswaschungen. Die 2. Projektphase hatte zum Ziel, die Produktivität und die N-Verwertung eines alternativen Futterbausystems in Form einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge für einen fakultativen Grünlandstandort zu prüfen.

Folgende Fragen sollen diskutiert werden:

- Welchen Einfluss besitzen Gülle- und mineralische N-Düngung auf Produktivität und Futterqualität der Kulturarten Klee gras, Silomais und Triticale in einer Fruchtfolge auf sandigem Boden?
- Welchen Vorfruchtwert besitzt das Klee gras und vermag die N-Düngung (Gülle, Mineral) die Leistungsfähigkeit des Silomaises noch weiter zu steigern?
- Bei welcher N-Intensität in der pflanzlichen Produktion kommt es zu einem ausgeglichen N-Flächenbilanzsaldo der Kulturarten und der Ackerfutterbau-Fruchtfolge und wie unterscheidet sich dieses vom System Dauergrünland/Maismonokultur?

Im folgenden werden die Kulturarten der Fruchtfolge u.a. mit den Produktionssystemen des Dauergrünlands insbesondere der Mähweide II und Mais in Monokultur verglichen. Die Versuchsjahre der Projektphasen I und II entsprachen sich in den Jahren 2000 und 2001. Die Analyse der mit dem Modell FOPROQ erstellten Umweltindices (Abb. A1-A3) zeigt, dass die Werte für die Versuchsjahre 2000, 2001 und 2002 sehr ähnlich sind. Damit können trotz nicht identischen Versuchsdesigns für die Versuche der Projektphase I und II Analogieschlüsse im Sinne einer vergleichenden Analyse der Futterbausysteme versus Dauergrünland/Mais-Monokultur für die zentralen Leistungsparameter gezogen werden.

### 5.1 Leistungsfähigkeit der Kulturarten Klee gras, Silomais und Triticale in Abhängigkeit der N-Düngungsintensitäten (extensiv, reduziert und hoch)

#### *Klee gras*

Das Klee gras mit nur einem Hauptnutzungsjahr diente als tragende „Säule“ der Ackerfutterbau-Fruchtfolge. Neben der Grundfutterproduktion wurde zusätzlich in dem 5. Aufwuchs der noch mineralisierte N des Bodens in organischer Substanz gebunden und legumer N zu Vegetationsende fixiert („catch crop“ Funktion). Hinsichtlich des TM-Ertrages aus 1. bis 4. Aufwuchs waren zwischen der Mähweide II (TROTT, 2003) des Dauergrünlandversuchs und dem Klee gras bei reduzierter und hoher N-Düngung keine Unterschiede festzustellen. Unter ungedüngten Bedingungen erreichte die Mähweide II 10 dt ha<sup>-1</sup> höhere Netto TM-Erträge. Unter Einbeziehung des TM-Ertrages des 5. Aufwuchses übertraf die Ertragsleistung des Klee grasses die der Mähweide II. Andere Untersuchungen belegten ebenfalls, dass neuetablierte Bestände im Vergleich zum Dauergrünland ein höheres Ertragspotential aufwiesen, wenn diese mit mehr als 300 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt wurden (HOPKINS et al., 1990). Ergebnisse von ELTUN & NORDHEIM (1999) ergaben eine Abnahme im TM-Ertrag des Klee grasses mit steigendem Alter der Narbe. Im ersten Jahr der Nutzung wurden die höchsten TM-Erträge ermittelt, diese sanken aber signifikant bei Reduzierung der mineralischen N-Düngung.

Die N-Düngung im Klee gras erfolgte frühjahrsbetont, nach dem Konzept der „strategischen“ N-Düngung (FRAME & NEWBOULD, 1986). Eine stärkere Andüngung im Frühjahr hatte zur Folge, dass die Kleeanteile nur temporär verhältnismäßig niedrig blieben. Der 1. und 2. Schnitt waren in seiner botanischen Zusammensetzung deutlich Deutsch Weidelgras betont, mit Ihnen wurden im Wesentlichen die gedüngten N-Mengen wieder vom Feld abgeführt. Auch die botanische Zusammensetzung der Neuansaat führte zum Einen durch höhere Kleeanteile und zum Anderen durch geringere Kraut- und unerwünschte Gräseranteile (*Taraxacum officinale*; *Elymus repens*, *Poa trivialis* L.) zu höheren Erträgen und einer höheren Futterqualität. Dieses steht im Einklang mit den Ergebnissen von ELTUN & NORDHEIM (1999), die u.a. eine Futterbau-Fruchtfolge mit dreijährigem Klee gras prüften.

Der Klee gras bestand erreichte wesentlich höhere Weißklee EA als die Mähweide II (TROTT, 2003). Diese lagen im Mittel der Aufwüchse ohne N-Düngung bei 43 %, dagegen in der Mähweide II bei 30 %. TROTT (2003) stellte fest, dass die Interaktion aus Bewirtschaftungssystem und mineralischer N-Düngung einen sehr hoch signifikanten Einfluss hatte. Mit abnehmender Beweidung und daraus folgender Verringerung der N-Rückführung über die Exkremente und Weidereste und abnehmender mineralischer N-Düngung stiegen die Kleeanteile auf dem Dauergrünland an. Die fixierte N-Menge beider Systeme unterschied sich in Abhängigkeit der N-Düngung. Fixierte das Klee gras bei E-Intensität  $129 \text{ kg N ha}^{-1}$ , hatte die Mähweide II  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  weniger N fixiert. Bei R-Intensität waren es  $104 \text{ kg N}$  gegenüber der Mähweide II mit  $52 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Bei H-Intensität fixierte der Klee gras bestand noch  $86 \text{ kg N}$ , die Mähweide II nur noch  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Insgesamt lag die  $\text{N}_2$ -Fixierung des Klee gras wesentlich über der Mähweide II, vor allem unter H-Intensität. Das lag an den sehr hohen Kleeanteilen, vor allem im 3. und 4. Aufwuchs, zu denen außer bei intensiver N-Düngung ( $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) keine mineralische N-Düngung mehr erfolgte. Es ist zu berücksichtigen, dass die Unterschiede zwischen beiden Systemen auch in der unterschiedlichen Ermittlung der N-Fixierung liegen können, da die  $\text{N}_2$ -Fixierung des Dauergrünlandversuchs nach der Differenzmethode (LOGES, 1998) ermittelt wurde. Aber auch bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass eine steigende N-Düngung keinen Einfluss auf die Fixierungsleistung des Weißklee s nimmt. LOGES et al. (2000) ermittelte auf einem sandig-lehmigen Standort in Schleswig-Holstein eine  $\text{N}_2$ -Fixierung von  $248 \text{ kg N ha}^{-1}$  eines schnittgenutzten Klee gras ohne N-Düngung. In unserer Untersuchung erzielte das Klee gras eine geschätzte N-Fixierung von  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

LOGES et al. (2000) ermittelte bei Kleeanteilen von 67 % eine Effizienz der  $\text{N}_2$ -Fixierung von  $61 \text{ kg N t}^{-1}$  Klee-TM. Die Effizienz der  $\text{N}_2$ -Fixierung des Klee gras der Fruchtfolge lag im Mittel der N-Düngung bei  $40 \text{ kg N t}^{-1}$  Klee-TM und variierte zwischen  $53 \text{ kg N}$  (E-Intensität) und  $36 \text{ kg N t}^{-1}$  Klee-TM (H-Intensität). TROTT (2003) ermittelte für alle beweideten Systeme auf dem Dauergrünland eine  $\text{N}_2$ -Fixierungseffizienz unter ungedüngten Bedingungen von  $45 \text{ kg N t}^{-1}$  Klee-TM, die schnittgenutzten Systeme wiesen eine Effizienz von  $53 \text{ kg N t}^{-1}$  Klee-TM auf. Die im Klee gras geschätzte, fixierte N-Menge kann in Abhängigkeit der N-Düngung als insgesamt hoch eingestuft werden, denn zu berücksichtigen ist zudem, dass abgesetzter Urin und Kot die Kleeanteile und die Fixierungsleistung im 3. und 4. Aufwuchs negativ beeinflusst haben könnte.

Der hohe Kleeanteil führte zu höheren NEL-Gehalten als in der Mähweide II (TROTT, 2003). Die NEL-Gehalte der Mähweide II variierten in Abhängigkeit der N-Düngung zwischen  $6,70$  und  $6,63 \text{ MJ NEL kg}^{-1} \text{ TM}$ . Die NEL-Gehalte des Klee gras variierten nur sehr gering zwischen  $7,11$  und  $6,94 \text{ MJ NEL kg}^{-1} \text{ TM}$  und waren im Mittel der N-Düngung  $0,34 \text{ MJ NEL kg}^{-1} \text{ TM}$  höher als die Werte der Mähweide II. Die Vergleichbarkeit der NEL-Gehalte wird eingeschränkt, da die NEL-Gehalte der Mähweide II im Gegensatz zum Klee gras (siehe Kapitel 3.5.2) auf Basis von VAN ES (1978) berechnet wurden, und die potentielle Verdaulichkeit der organischen Substanz nach der Cellulase-Methode (FRIEDEL & POPPE, 1990) ermittelt wurde, welches zu einer Überschätzung der Gehalte führt (MAHLKOW-NERGE,

1999). Die RP-Gehalte des Klee-grases lagen im Mittel der Jahre 1,27 % unter denen der Mähweide II (18,5 % d. TM<sup>-1</sup>). Das kann mit niedrigen RP-Gehalten des Versuchsjahres 2000 bedingt durch die Frühjahrs-/Sommertrockenheit erklärt werden. Diese Werte lagen 1,5 % unter dem Versuchsmittel. Zudem sanken die RP-Gehalte ab einer mineralischen N-Düngung von 100 kg ha<sup>-1</sup>. Die mineralische N-Düngung in Verbindung mit dem N aus den Exkrementen vor allem aus dem Urin führten möglicherweise zu geringeren Weißklee EA insbesondere zu einer Herabsetzung der Fixierungsleistung und damit zu niedrigeren RP-Gehalten des Bestandes (SØEGAARD et al., 1996).

Mit sinkender N-Düngung nimmt der N-Ertrag des Klee-grases (Abb. 21) unterproportional ab. Im Vergleich der drei Futterbauintensitäten (Abb. 21) führte eine Reduzierung der N-Düngung im Klee-gras von 22 % (219 auf 169 kg N ha<sup>-1</sup>) zu einer Abnahme im N-Ertrag von 8 %, die E-Intensität führte zu einer Ertragseinbuße von 20 %. Ähnliche Ergebnisse fanden ELTUN & NORDHEIM (1999) mit dreijährigem Klee-gras in einer Futterbau-Fruchtfolge. Im Vergleich zum Klee-gras erzielte die Mähweide II über alle N-Düngungsintensitätstypen (69, 169 u. 219 kg N ha<sup>-1</sup>) durchschnittlich 43 kg ha<sup>-1</sup> höhere N-Erträge. Dieses kann durch die höheren RP-Gehalte der Mähweide II erklärt werden.

Die Netto NEL-Erträge der Mähweide II (TROTT, 2003) und des Klee-grases, dargestellt in Abb. 21, unterschieden sich in Abhängigkeit der 3 Futterbauintensitäten nicht wesentlich. Im Vergleich zu den Kulturarten der Fruchtfolge als auch der Mähweide II und Mais in Monokultur erzielte das Klee-gras die niedrigsten Netto NEL-Erträge.

Die Gülledüngung von 25 m<sup>3</sup> Gülle ha<sup>-1</sup> besaß für keinen Ertragsparameter des Klee-grases einen signifikanten Einfluss. Das spricht für eine nur geringe Verwertung des Güllestickstoff im Klee-gras, dieses wurde auch für das Dauergrünland von TROTT (2003) festgestellt.

Als Maß für eine umweltverträgliche Landwirtschaft kann die NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser herangezogen werden. Die NO<sub>3</sub>-Konzentrationen des Sickerwassers des Klee-grases (BOBE et al., 2004) lagen trotz höherer Weißklee EA und gleich hoher positiver N-Salden wie in der Mähweide II unter dem EU-Trinkwassergrenzwert von 50 mg l<sup>-1</sup>. Die NO<sub>3</sub>-Auswaschungen der Mähweide II (WACHENDORF et al., 2004) lagen im Mittel von 4 Sickerwasserperioden über die gesamte N-Düngungsintensität über dem EU-Trinkwassergrenzwert. Der überjährig angebaute Klee-grasbestand konnte bodenbürtigen bzw. Exkrement-N vor allem im 5. Aufwuchs binden und ebenso N fixieren und vor der winterlichen Auswaschung wirkungsvoll bewahren. Im Unterschied zur Mähweide II erfolgte die letzte Beweidung (4. Aufwuchs) Anfang/Mitte September hingegen die der Mähweide II Mitte Oktober (5. Aufwuchs).

### *Silomais*

Der Anbau von Silomais nach Klee-gras führte im Vergleich zum Monokulturanbau zu wesentlich höheren TM-Erträgen. Besonders unter ungedüngten Bedingungen wurden nahezu doppelt so hohe TM-Erträge erzielt. Die N-Erträge (Abb. 21) des Silomais nach Klee-grasumbruch übertrafen im Mittel der N-Düngung die N-Erträge des Mais in Monokultur (Kapitel 3) um 64 kg N ha<sup>-1</sup>. Dabei wurde kein signifikanter Einfluss (189,3 kg bis 199,2 kg N ha<sup>-1</sup>) der geprüften N-Intensitätsstufen auf den Silomais festgestellt. Die sehr hohen N-Erträge in Verbindung mit den hohen TM-Erträgen des Silomais können auf die N-Freisetzung durch das umgebrochene Klee-gras folgendermaßen kalkulatorisch zurückgeführt werden. Ohne jegliche N-Düngung erzielte der Silomais einen N-Ertrag von 164 kg N ha<sup>-1</sup> in der Sprossmasse. Der N stammte aus der jährlichen Mineralisation im Boden, der atmosphärischen Deposition (20 kg N ha<sup>-1</sup>) und der Mineralisation des Klee-gras-N. Der Mais der Monokultur ohne Untersaat (Kapitel 3, Tab. A4) erreichte im Mittel von 4 Jahren unter ungedüngten Bedingungen einen N-Ertrag von 58 kg ha<sup>-1</sup>. Dieser N stammte aus der jährlichen Deposition, der jährlichen Mineralisierung der Wurzeln und Stoppeln des Mais in Höhe von ca. 11-20 kg N ha<sup>-1</sup> (ZSCHEISCHLER et al., 1990) und der organischen Substanz des

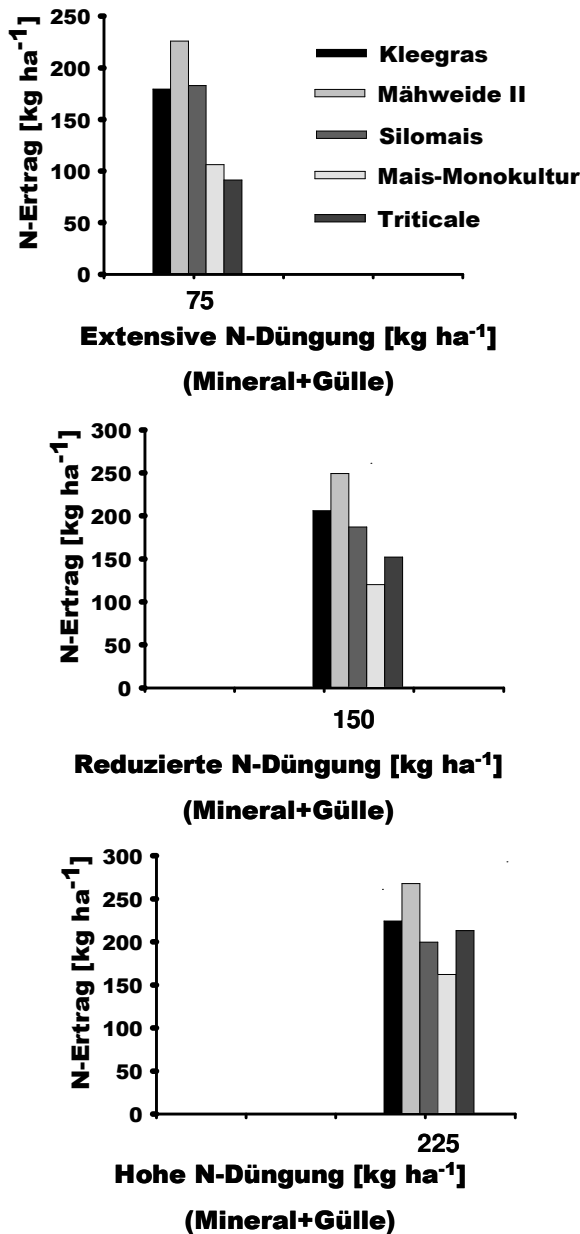


Abb. 21: N-Ertrag der Kulturarten der Fruchtfolge im Vergleich zur Mähweide II und Mais-Monokultur im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei pflanzenbaulichen N-Intensitäten (extensiv, reduziert, hoch)

Bodens. Dieser Wert der Mineralisation abzüglich der Deposition und dem N aus Wurzeln und Stoppeln kann auch als Netto N-Mineralisation („N supply of the soil“) bezeichnet werden (VELTHOF & OENEMA, 2001). Es wird unterstellt, dass der N-Ertrag des Mais in Monokultur ohne N-Düngung als standorttypische N-Nachlieferung des Bodens gewertet wird. Die zusätzlich geerntete N-Menge von ca. 65 bis 71 kg N ha<sup>-1</sup> des Silomais nach Kleegrasumbruch kam kalkulatorisch aus der Mineralisierung der organischen Bodensubstanz. Eine Erklärung für die weit aus höheren kalkulatorischen N-Mengen im Silomais wäre, dass bei der Beprobung des Kleegrases im Frühjahr sowohl N- als auch C-Verbindungen bei der Siebung der Wurzelproben ausgewaschen worden sind und somit nicht erfasst wurden. Denn auch HØGH-JENSEN & SCHJOERRING (2001) weisen auf einen nicht unerheblichen Beitrag von N aus Rhizodeposition im Kleegrasbestand hin, der gerade bei Umbruch beachtet werden sollte. Somit kann näherungsweise ein durchschnittlicher Vorfruchteffekt des Kleegrases von 106 kg N ha<sup>-1</sup> im ersten Jahr nach Umbruch von überjährigem Kleegras auf humos-sandigem Boden festgestellt werden. NEVENS & REHEUL (2002) ermittelten auf dem belgischen Versuchsstandort Melle bei Umbruch eines dreijährigen Grünlandbestandes auf sandigem Lehm einen N-Beitrag des Grünlandbestandes im ersten Jahr von 150 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zum Anbau von Mais in Monokultur. Diese Menge N kann nach NEVENS & REHEUL (2002) und VAN DIJK et al. (1997) in Form von Mineraldünger oder Wirtschaftsdünger bei der Berechnung des N-Düngungsbedarf eingespart werden. Unsere Untersuchungen belegen ebenso, dass eine N-Düngung in Form von Gülle oder mineralischem N-

Dünger bzw. die Kombination daraus nach Kleegrasumbruch keinen ertragswirksamen Einfluss auf die Ertragsparameter des Silomais hatten. NEVENS & REHEUL (2002) konnten auch noch im 2. und 3. Jahr nach Grünlandumbruch feststellen, dass die N-Düngung des Silomais um 50 bzw. 29 kg N ha<sup>-1</sup> reduziert werden konnte. Unsere Untersuchungen ergaben für die Folgefrucht Triticale nach Silomais keine Unterschiede im N-Entzug im Herbst, aber bei intensiver N-Intensität über dem EU-Trinkwassergrenzwert liegende NO<sub>3</sub>-



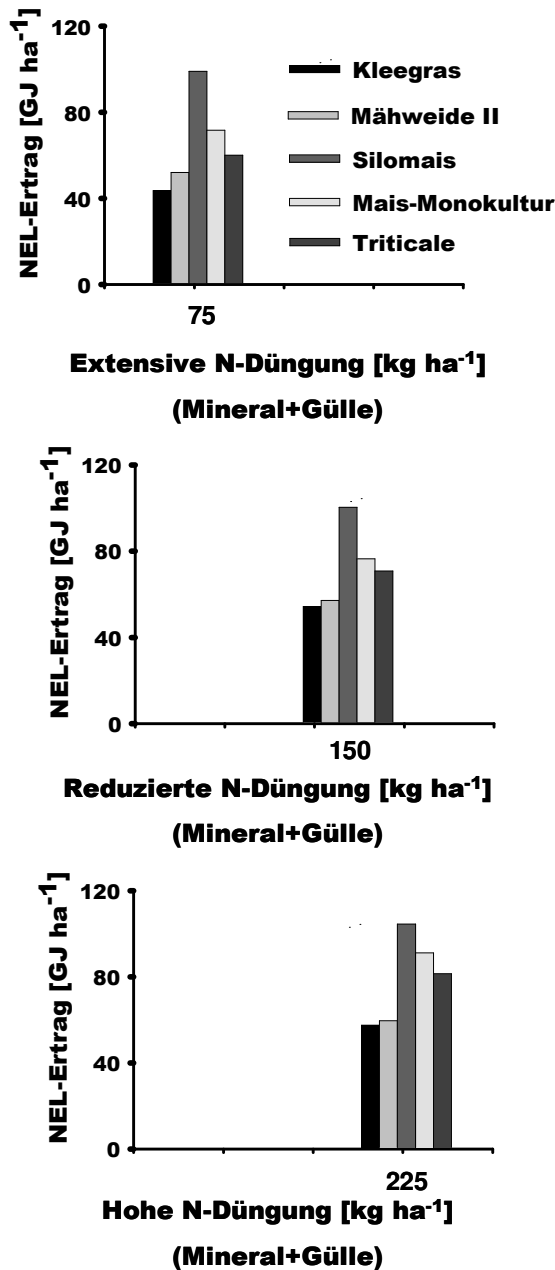


Abb. 22: NEL-Ertrag der Kulturarten der Fruchtfolge im Vergleich zur Mähweide II und Mais-Monokultur im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei pflanzenbaulichen N-Intensitäten (extensiv, reduziert, hoch).

Aufwuchs ( $23 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) sollte daher bei der Ermittlung des N-Düngerbedarfs zu Silomais berücksichtigt werden. Denn die hohen  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen nach Silomais belegten (BOBE et al., 2004), dass ein erheblicher Anteil des insgesamt zur Verfügung gestandenen, bodenbürtigen N vom Silomais nicht mehr aufgenommen wurde. In Wasserschutzgebieten muss nach den Richtwerten für die Düngung (ANONYMUS, 2003) für Umbruch von Wechselgrünland eine N-Nachlieferung von  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$  zur Folgefrucht angerechnet werden. Die Höhe der anzurechnenden N-Menge nach überjährigem Kleegras mit

Konzentrationen im Sickerwasser (BOBE et al., 2004). Die Quelle der  $\text{NO}_3$ -Freisetzung dürfte der restlich mineralisierte N des Kleegrases sein, verursacht durch eine erhöhte Mineralisation

nach dem Pflügen (WHITEHEAD et al., 1990). BOBE et al. (2004) berichteten in den Sickerwasseruntersuchungen auf der Ackerfutterbau-/Fruchtfolge des „N-Projekt Karkendamm“ von sehr stark erhöhten  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen nach gedüngtem Silomais. Diese lagen im Mittel von 3 Sickerwasserperioden über dem EU-Trinkwassergrenzwert von  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$  und erreichten Konzentrationen bis  $130 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Diese hohen  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen könnten aus zwei wesentlichen N-Quellen stammen: zum Einen aus dem vom Silomais nicht mehr aufgenommenen Kleegras-N, denn Kleegras-N wurde weiterhin mineralisiert, als der Silomais seine wesentliche N-Aufnahme schon abgeschlossen hatte (ab Kolbenabreife) und zum Anderen aus dem organisch gebundenen N der Kotflecken der Beweidung des Kleegrases (ca.  $23 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). BOBE et al. (2004) konnten für den Silomais zudem zeigen, dass die  $\text{NO}_3$ -Auswaschung mit dem Sickerwasser sehr stark mit der mineralischen N-Düngung anstieg. Schon eine Düngergabe von  $25 \text{ kg N ha}^{-1}$  brachte die Auswaschung nahe an die kritische N-Fracht von  $18 \text{ kg N ha}^{-1}$  heran, bei dem der EU-Trinkwassergrenzwert überschritten wird. WACHENDORF et al. (2001) stellten bei Untersuchungen der N-Mineralisierung unter Exkrementstellen dagegen fest, dass der Kot-N der Herbstbeweidung einer langsamen Mineralisierung unterliegt und in der folgenden Sickerwasserperiode im Gegensatz zum Urin-N nur sehr geringfügig ausgewaschen wird. Der im Kot enthaltene hauptsächlich organisch gebundene N (97-99 %) stand mit dem Kleegrasumbruch im Frühjahr ebenfalls dem Silomais zur Verfügung. Die N-Menge der Kotflecken aus der Beweidung des 3. und 4.

Herbstbeweidung zur Folgefrucht läge nach unseren Ergebnissen für humos-sandigen Boden im 1. Jahr kalkulatorisch bei  $106 \text{ kg N ha}^{-1}$  und damit wesentlich höher. Es kann insgesamt festgestellt werden, dass Silomais nach Umbruch von überjährigem Klee gras auf sandigem Boden Schleswig-Holsteins im Mittel der Jahre zu weitaus höheren N- (+78 %) und NEL-Erträgen (+30 %) führte als Mais in Monokultur. Die Ergebnisse zeigen, dass die N-Düngung im ersten Jahr nach Klee grasumbruch keinen signifikant höheren N- und NEL-Ertrag erbrachte, so dass auf die N-Düngung im ersten Jahr zu Silomais nach Klee gras ganz verzichtet werden kann. Bei Umbruch eines klee reichen Ackergrases kann für humos-sandigen Boden eine N-Nachlieferung zur Folgefrucht Silomais von pauschal  $106 \text{ kg N ha}^{-1}$  angerechnet werden. Im Gegensatz zum Maisanbau in Monokultur erfolgte aber bei zusätzlicher N-Versorgung des Silomais nach Klee grasumbruch eine erhöhte  $\text{NO}_3$ -Auswaschung.

### **Triticale**

Die Leistungsfähigkeit der Triticale war im Besonderen durch die typisch für diesen Standort auftretende Trockenheit im Juni/Juli in Verbindung mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität (159 mm bis 60 cm Bodentiefe) beeinflusst worden. Der Trockenstress führte bei sonst optimaler N-Düngung zu starken Ertragseinbußen (2000) im Korn-Ertrag sowie Qualitätsminderungen in Form von niedrigen RP-Gehalten im Korn (< 11,0 %). Bei E-Intensität erreicht die Triticale die niedrigsten N-Erträge im Vergleich der Fruchtfolgekulturarten und den herkömmlichen Grundfutterproduktionssystemen. Die Triticale erzeugte bei R-Intensität einen höheren N-Ertrag im Vergleich zur Maismonokultur, aber einen niedrigeren N-Ertrag als Klee gras, Silomais und Mähweide II. Bei H-Intensität erzielte die Triticale den dritthöchsten N-Ertrag nach Mähweide II und Klee gras. Im Vergleich zum Maisanbau in Monokultur führte der Triticale-Anbau bei Steigerung der N-Düngung zu höheren N-Erträgen im Mittel von 28 % (Abb. 21) und damit zu einer höheren Ausnutzung des mineralischen N. Die Triticale bewirkte in der Fruchtfolge, dass höhere N-Ertragsleistungen im Vergleich zum Mais in Monokultur erzielt wurden. Dieses kalkulierten auch GREEF & TAUBE (1999) für Standorte der Grundfutterproduktion in Schleswig-Holstein. Beim NEL-Ertrag weist die Triticale bei E-Intensität den nach Silomais und Maismonokultur dritthöchsten Ertrag aus. Dieses ändert sich bei weiterer Steigerung der N-Düngung in höheren NEL-Erträgen der Kulturarten Triticale und Maismonokultur aber nicht in einer Änderung der Reihenfolge. Der Maisanbau in Monokultur erzielte bei Steigerung der N-Intensität 7 bis 16 % höhere NEL-Erträge. Die Triticale wies im Vergleich zur Mähweide II des Dauergrünlands (TROTT, 2003) in Abhängigkeit der N-Düngung ca. 27 % höhere NEL-Erträge auf (Abb. 22). Die Triticale, als abtragende Frucht, reagierte generell bei Steigerung der mineralischen N-Düngung mit stärkeren Ertragszunahmen. Untersuchungen auf sandigem Boden Schleswig-Holsteins ergaben in Abhängigkeit der N-Düngung vergleichbare N- und NEL-Erträge für die Triticalesorte Modus (SACH, 1999). ELLEN (1993, b) stellte bei einem Sortenvergleich u. a. für Triticale auf Marschboden in den Niederlanden fest, dass bei einer Gabe von  $120 \text{ N kg ha}^{-1}$  Mineraldünger ebenso hohe N-Erträge für Stroh und Korn erzielt wurden wie bei der Triticale des Fruchtfolgeversuchs auf sandigem Boden. Erhebungen im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf der Insel Föhr (ANONYMUS, 2003) ergaben bei einem N-Düngungsniveau von  $150 - 170 \text{ kg ha}^{-1}$  ein Ertragsniveau auf sandigem Boden für Triticale nach Silomais zwischen 50 und 60 dt Korn-Ertrag und korrespondierende N-Erträge zwischen  $70$  und  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Die Triticale lässt sich nach ihrem N-Flächenbilanzsaldo als eine Kulturart einordnen, welche in Abhängigkeit des N-Inputs zwischen Klee gras mit den höchsten N-Salden und Silomais mit den niedrigsten N-Salden liegt. Bei einem N-Input von  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  wird ein ausgeglichenes N-Bilanzsaldo ermittelt, wobei die  $N_{\text{min}}$ -Werte im Herbst nach Triticale zwischen  $40$  und  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  variierten. Nach unseren Untersuchungen wurde bei H-

Intensität  $N_{\min}$ -Werte zwischen 60 und 80 kg N ha<sup>-1</sup> korreliert mit N-Frachten zwischen 20 und 30 kg ha<sup>-1</sup> ermittelt. Diese N-Frachten überschritten im Mittel der Jahre die kritische N-Fracht von 18 kg N ha<sup>-1</sup>. Die erhöhten NO<sub>3</sub>-Auswaschungen im Sickerwasser (BOBE et al., 2004) bei H-Intensität zeugten von einer potentiellen Gefahr der N-Verluste beim Triticale-Anbau in einer Futterbau-Fruchtfolge auf humos-sandigem Boden mit geringem Sorptionsvermögen. Diese lagen aber auf einem niedrigerem Niveau als beim Silomais nach Klee-grasumbruch und waren weniger stark von der N-Düngung abhängig.

Die stark erhöhten NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser des Silomaises korrelierten nur gering mit dem N-Saldo (BOBE et al., 2004), dieser lag trotz Anrechnung des Klee-gras-N im negativen Bereich. Anders herum wies der N-Saldo des Silomais nach Klee-grasumbruch nicht auf sehr stark erhöhte NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser hin. Dagegen konnte BÜCHTER (2003) für die Bewirtschaftungssysteme und N-Intensitäten auf dem Dauergrünland und für den Mais in Monokulturanbau, die also hinsichtlich ihrer Bewirtschaftung, dem Kulturartenanbau, der Intensität der Bodenbearbeitung und N-Nachlieferung feststehende Systeme darstellen, eine enge Beziehung zwischen N-Saldo und NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser nachweisen. Damit kann von dem N-Saldo auf die Ausprägung der NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser geschlossen werden, welches für die untersuchte Ackerfutterbau-Fruchtfolge bei BOBE et al. (2004) auf humos sandigem Boden als auch für die ökologischen Ackerbau-Fruchtfolgen bei RUHE et al. (2001) auf lehmigen Boden nicht zutraf.

Deshalb sollte gerade der N-Flächenbilanzsaldo des Silomaises nach Klee-grasumbruch in seiner quantitativen Ausprägung kritisch betrachtet werden und das Flächenbilanzsaldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge als das Maß einer umweltverträglichen Bewirtschaftung herangezogen werden.

## 5.2. Ackerfutterbau-Fruchtfolge

Für den Vergleich der Ackerfutterbau-Fruchtfolge mit dem herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem Dauergrünland in Form der Mähweide II und Mais in Monokultur wurde für die Flächenverteilung angenommen, dass die Mähweide II einen Anteil von 70 % und Mais in Monokultur 30 % der Gesamtfläche eines Milchvieh-/Futterbaubetriebes einnimmt. Diese sehr vereinfachte Annahme basiert auf den Daten, die für den Rinderreport (ANONYMUS, 2000) von ca. 1500 Futterbaubetrieben in Schleswig-Holstein erhoben worden sind. Die Produktionsfunktionen für die Mähweide II (TROTT, 2003) und Mais in Monokultur (Kapitel 3; Tab A11) mit Untersaat wurden auf eine Gesamt N-Düngung bezogen, die sich zu 70 % aus der N-Intensität der Mähweide II und zu 30 % aus der N-Intensität des Maises in Monokultur zusammensetzt. In diesem Vergleich (Abb. 23) ist das herkömmliche Grundfutterproduktionssystem der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im N-Ertrag in Abhängigkeit der drei N-Düngungsintensitäten im Mittel um 16 % überlegen. Auf humos-sandigem Boden kann die Fruchtfolge das N-Ertragspotential des aktuellen Grundfutterproduktionssystems auch bei der H-Intensität nicht erreichen. Die niedrigeren N-Erträge der Fruchtfolge resultieren aus den niedrigeren N-Erträgen des Klee-gases im Vergleich zur Mähweide II und den bei E- und R-Intensität wesentlich niedrigeren N-Erträgen der Triticale im Vergleich zum Mais der Fruchtfolge bzw. der Monokultur. Betrachtet man die NEL-Erträge der beiden Landnutzungssysteme, dann erzeugt die Fruchtfolge gleich hohe bzw. um 5 % höhere NEL-Erträge bei E- und bei H-Intensität.

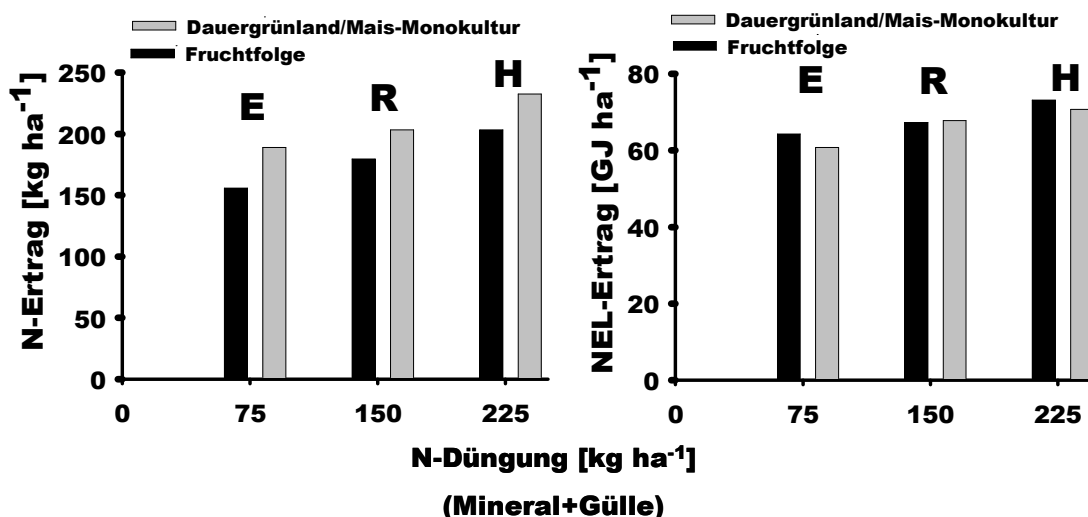


Abb. 23: N-Ertrag und NEL-Ertrag der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zum Futterbau-System Mähweide II/Mais in Monokultur (Flächenverteilung: 70 % Mähweide II, 30 % Mais in Monokultur) im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei N-Intensitäten der pflanzlichen Produktion (extensiv: **E**, reduziert: **R**, hoch: **H**)

## 5.2 N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zum herkömmlichen Futterbau-System Dauergrünland/Mais-Monokultur

Bei der Saldierung der In- und Outputgrößen für beide Futterbausysteme wurde beim Klee gras bzw. bei der Mähweide II die N-Zufuhr über die N<sub>2</sub>-Fixierung und N-Rückführung über die Exkremate berücksichtigt. Diese Saldierung führte im Vergleich zur Düngeverordnung (ANONYMUS, 1996) zu einer umfassenden und genaueren Berücksichtigung aller Inputgrößen, die auf der Fläche wirken. Beim Vergleich der N-Salden im Klee gras kommt es je nach Bilanzierungsweise zu starken Unterschieden im N-Saldoüberschuss (Abb. 24). Die Unterschiede in N-Saldo werden durch Unterschiede in der N-Zufuhr hervorgerufen. Beim N-Saldo des Silomais werden nach Berechnung der Düngeverordnung (DVO) die niedrigsten N-Salden ermittelt. Wird aber die N-Nachlieferung der Klee gras-Residuen berücksichtigt zeigen sich höhere N-Überschüsse (Abb. 25). Um Aussagen über die Umweltverträglichkeit von Grundfutterproduktionssystemen zu treffen, stellt die Bilanzierung über die Fruchtfolge gegenüber der Betrachtung der einzelnen Kulturarten eine bessere Möglichkeit dar, die Belastungen zu quantifizieren (Abb. 26). Bei der E-Intensität erzielte die Fruchtfolge im Vergleich zur Mähweide II/Mais-Monokultur ein nicht ausgeglichenes N-Saldo, liegt aber noch unter dem Niveau des herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem. Mit steigender N-Intensität (R u. H) erhöhen sich die N-Salden für beide Systeme mit Unterschieden von ca. 10 kg N ha<sup>-1</sup> erheblich. Unter Berücksichtigung des EU-Trinkwassergrenzwertes von 50 mg NO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> ergab sich ein Schwellenwert für die N-Fracht von 18 kg ha<sup>-1</sup>. Diese N-Fracht ist auf Grund der niedrigen Sickerwassermenge von im Mittel 130 mm als gering anzusehen (BOBE, 2004; persönliche Mitteilung). Die Ergebnisse vom Dauergrünland und Mais in Monokultur ergaben Sickerwasserraten von 180 bzw. 240 mm (BÜCHTER, 2003) und N-Frachten von 26 kg N ha<sup>-1</sup>. Ist ein ausgeglichener N-Saldo das Maß für eine umweltverträgliche Landwirtschaft, dann erzielt die Fruchtfolge auch bei der E-Intensität diese Vorgabe nicht. Bei weiter steigender N-Intensität übertrafen die beiden Futterbau-Systeme den Schwellenwert der N-Fracht. Bezieht man den N-Saldo auf die erzeugte Energieeinheit des jeweiligen Futterbau-Systems, mit dem Ziel eines möglichst niedrigen N-Überschusses je erzeugter Energieeinheit,

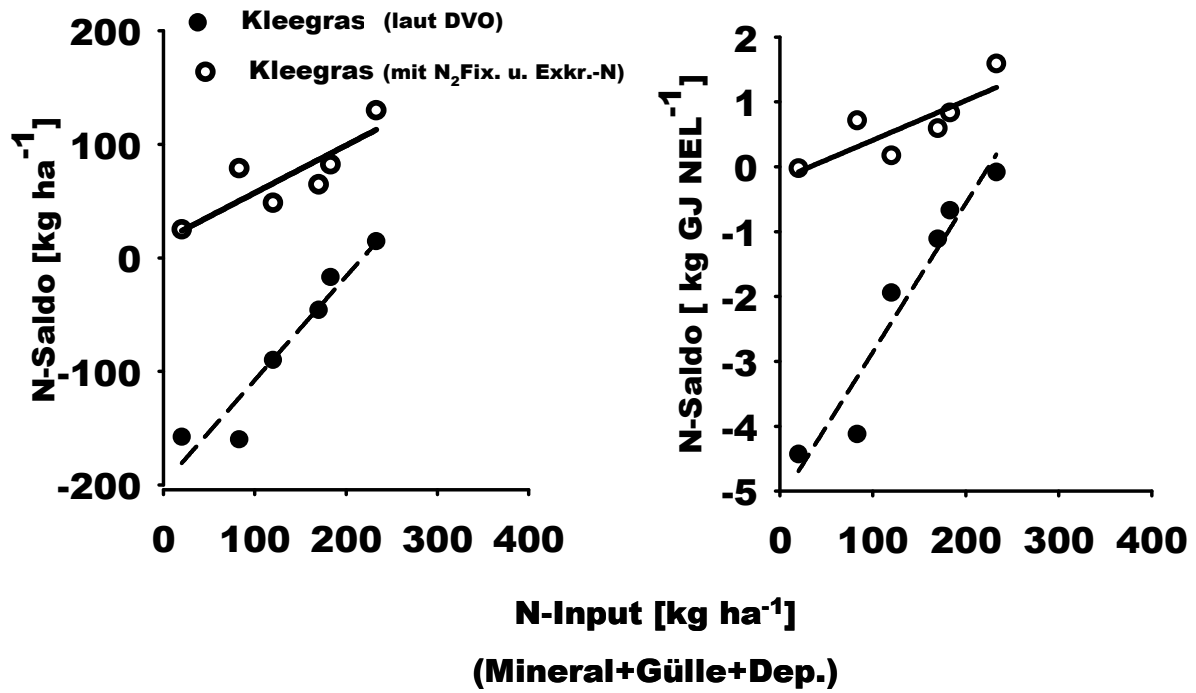


Abb. 24: N-Saldo des Kleegrases der Ackerfutterbau-Fruchtfolge laut Düngeverordnung (DVO) und unter Berücksichtigung der N<sub>2</sub>-Fixierung und des Exkrement-N.

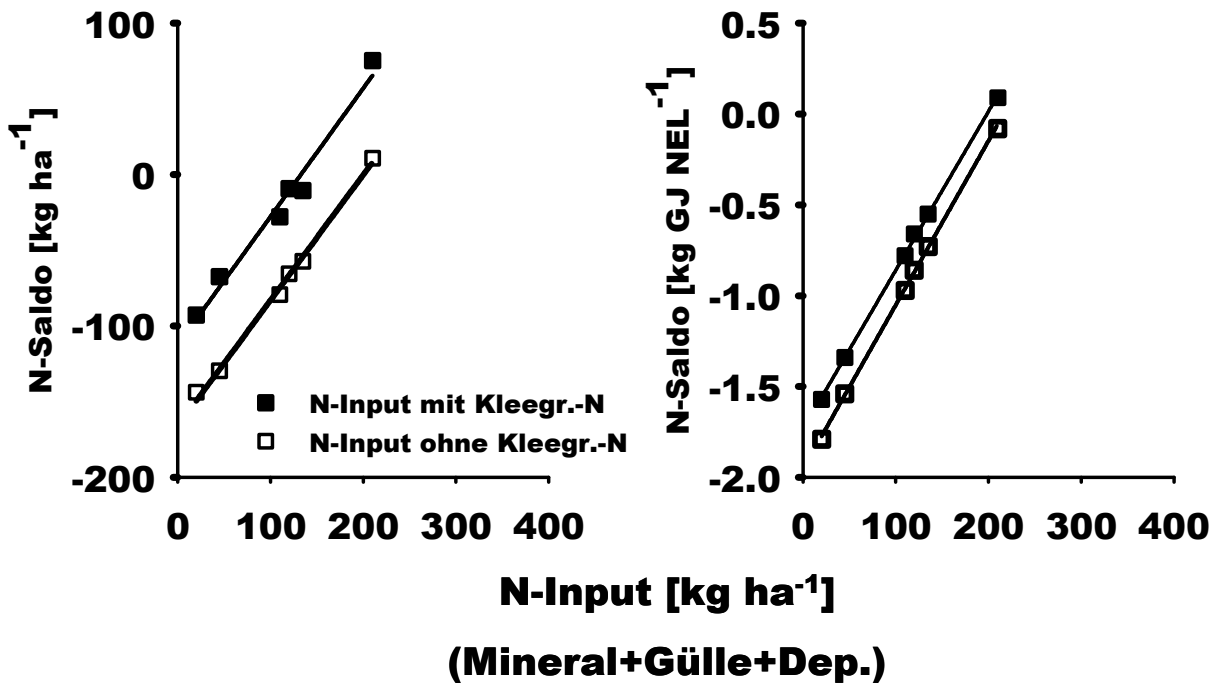


Abb. 25: N-Saldo des Silomaises der Ackerfutterbau-Fruchtfolge ohne und mit Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus den Kleegras-Residuen.

dann führt die Ackerfutterbau-Fruchtfolge bei der E-Intensität und Mähweide II/Mais in Monokultur bei der H-Intensität zu den geringsten N-Bilanzüberschüssen je produzierter Energieeinheit ( $0,42 \text{ kg N GJ NEL}^{-1}$ ). Innerhalb der Fruchtfolge sorgten der Silomais nach Kleegrasumbruch und die Triticale bei steigender N-Düngung für eine Überschreitung des EU-Trinkwassergrenzwertes in Abhängigkeit des N-Saldos (BOBE et al., 2004). Auch NEVENS & REHEUL (2002) stellten erhöhte  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen nach Silomais mit Grünlandumbruch fest und resümierten, dass zu Silomais nach Grünlandumbruch eine angepasste N-Düngung erfolgen muss. Eine Alternative zum Silomais stellte für sie die Futterrübe dar, die ein noch

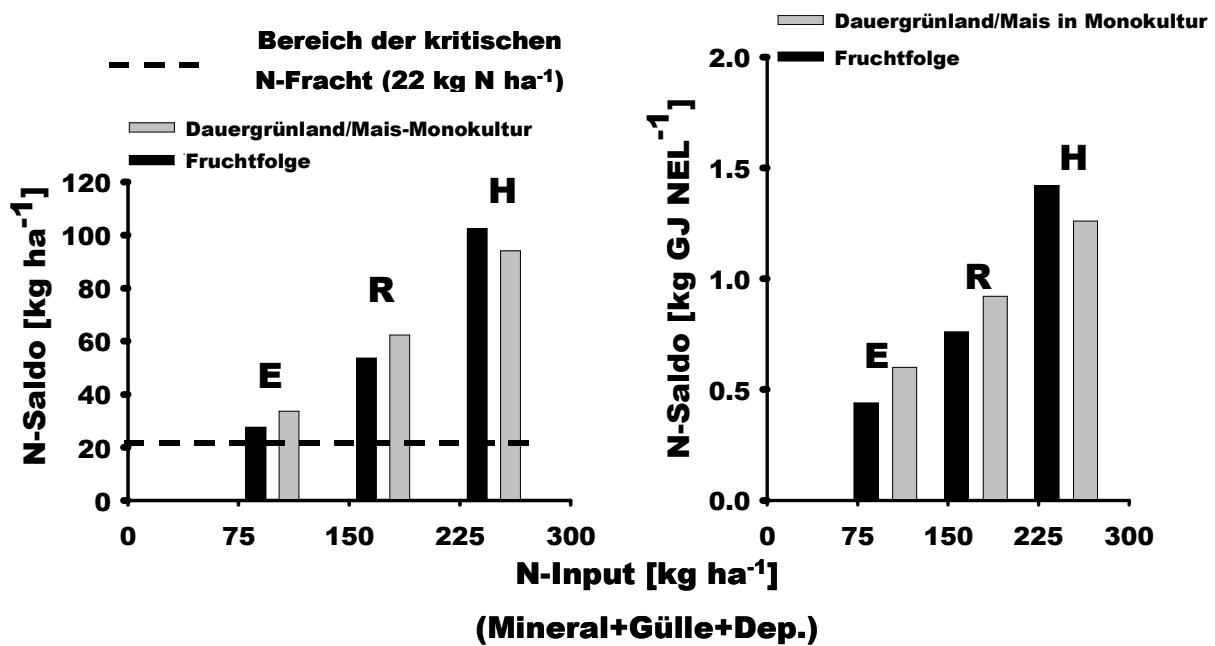


Abb. 26: N-Saldo der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im Vergleich zum Futterbau-System Mähweide II/Mais in Monokultur (Flächenverteilung: 70 % Mähweide II, 30 % Mais in Monokultur) im „N-Projekt Karkendamm“ in Abhängigkeit der drei N-Intensitäten der pflanzlichen Produktion (extensiv: **E**, reduziert: **R**, hoch: **H**)

höheres N-Aufnahmepotential als Silomais aufwies und deren Anbau auch zu keinen bedenklichen  $\text{NO}_3$ -Verlagerungen im Winter führte. Die  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen des Kleegrases lagen als einzige Kultur über alle N-Intensitätsstufen unter dem EU-Grenzwert (BOBE et al., 2004).

## 6. Zusammenfassung

Die Grundfutterproduktion der schleswig-holsteinischen Milchvieh-/Futterbaubetriebe ist durch einen hohen Spezialisierungsgrad und hohe Produktivität gekennzeichnet. Das Grundfutter wird im Wesentlichen auf Dauergrünland in Form von Mähweide und Maisanbau in Monokultur auf humos-sandigen, sorptionsschwachen Böden der Geest produziert. Hohe N-Bilanzüberschüsse hervorgerufen durch eine nichtangepasste N-Düngung, niedrige Verwertung des Futter-N durch die Wiederkäuer und vergleichsweise hohe Viehdichten führen zu  $\text{NO}_3$ -Auswaschungen auf dem Dauergrünland, die über dem EU-Trinkwassergrenzwert liegen. Der Maisanbau in Monokultur ist mit einer Reihe von Problemen behaftet wie z.B. Bodenerosion, Humusabbau und Nährstoffverlagerung bei spätem Bestandesschluss und einer nicht vorhandenen Pflanzendecke außerhalb der Vegetationsperiode.

In der vorliegenden Arbeit sollte auf Grund oben beschriebener Problematik eine Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras, Silomais und Triticale) als alternatives Landnutzungssystem hinsichtlich der Produktivität und der N-Salden geprüft werden. Der Feldversuch ist Teil des interdisziplinären Forschungsprojektes „N-Projekt Karkendamm“. Das übergeordnete Ziel ist die Analyse der Auswirkungen betrieblicher Managementstrategien auf die N-Flüsse in spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieben, um daraus Konzepte für umweltgerechte Milchproduktionssysteme zu entwickeln. Die Untersuchungen fanden auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm der Christian-Albrechts-Universität Kiel statt, es wurde eine zweifaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt.

Auf dem überjährig genutzten Klee gras erfolgten 2 Schnitte und anschließend 2 Beweidungen mit Färsen, der 5. Aufwuchs diente als „catch crop“. Im folgenden Frühjahr wurde das Klee gras umgebrochen und Silomais zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage angebaut. Nach der Silomaisernte wurde die abtragende Wintergetreidefrucht Triticale angebaut. Die Gülledüngung erfolgte in den Stufen 0 und  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Jede Kulturart erhielt spezifische mineralische N-Düngungsmengen (Klee gras: 0, 100, 150  $\text{kg N ha}^{-1}$ ; Silomais: 0, 25, 100  $\text{kg N ha}^{-1}$ ; Triticale: 0, 100, 200  $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Im Mittel der Fruchtfolge ergab sich daraus eine extensive (E:  $\varnothing 78 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), reduzierte (R:  $\varnothing 153 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) und hohe Intensitätsstufe (H:  $\varnothing 228 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) aus Mineraldünger und Gülle.

Um die Leistungsfähigkeit der Fruchtfolge einordnen zu können, wurde sie schließlich den Ergebnissen aus der ersten Projektphase des N-Projektes Karkendamm gegenübergestellt. Die Kulturarten der Fruchtfolge wurden u.a. mit der Mähweide II (2 Schnitte, 2 Beweidungen) des Dauergrünlandversuches, Silomaisanbau in Monokultur, die ebenso Teile des N-Projektes Karkendamm darstellten, verglichen. Die Ackerfutterbau-Fruchtfolge wurde dabei vereinfachend mit dem herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem der schleswig-holsteinischen Milchvieh-/Futterbaubetriebe, bestehend aus Mähweide II und Mais in Monokultur (Flächenanteil: 70 % Mähweide II, 30 % Mais in Monokultur), verglichen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### *Klee gras*

- Die Kleeanteile nahmen bei sinkender N-Düngungsintensität linear zu, diese lagen im Mittel der Aufwüchse bei 43 % Ertragsanteilen. Während der Beweidungsperiode stiegen die Kleeanteile ohne N-Düngung auf 65 % an. Der Weißklee fixierte bei einer geschätzten Fixierungsleistung von 3,5  $\text{kg N pro \% Weißkleeertragsanteil}$  im Mittel der Versuchsjahre bei E-Intensität 164  $\text{kg}$ , bei R-Intensität 129  $\text{kg}$  und bei H-Intensität 86  $\text{kg N ha}^{-1}$ .
- Die Bestände erzielten mit zunehmender mineralischer N-Düngung linear ansteigende Netto N-Erträge (178 bis 224  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) und Netto NEL-Erträge (41 bis 58  $\text{GJ NEL ha}^{-1}$ ) diese korrespondierten mit linear abnehmenden RP- bzw. NEL-Gehalten.

- Auf Grund der hohen  $N_2$ -Fixierungsleistung und N-Rückführung über die Exkremate wurden in Abhängigkeit der Gesamt N-Düngung positive N-Salden zwischen 25 und 130 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt und die erzeugte Energieeinheit mit den höchsten N-Überschüssen (-0,02 bis 1,6 kg N GJ NEL<sup>-1</sup>) im Vergleich der Kulturarten der Fruchtfolge belastet.
- Vor Umbruchtermin enthielt das Klee gras im Mittel der Versuchsjahre eine N-Menge von 55 kg ha<sup>-1</sup> in der OM (oberirdische Biomasse + Wurzeln).

#### *Silomais*

- Die N-Erträge variierten in Abhängigkeit der N-Düngung zwischen 164 und 199 kg und die NEL-Erträge zwischen 91 und 106 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. Es bestätigte sich ein sehr hohes N-Aufnahmepotential nach Klee grasumbruch sowie eine hohe N-Verwertung. Der Silomais profitierte von einem kalkulatorischen N-Beitrag nach Klee grasumbruch von 106 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Saldo (ohne Berücksichtigung des Vorfrucht-N) nahm mit zunehmender mineralischer oder Gülle- N-Düngung zu, dennoch erwies sich der Silomais als die Kulturart mit den geringsten N-Überschüssen, diese variierten zwischen -144 und 11 kg N ha<sup>-1</sup>.

#### *Triticale*

- Als abtragende Kulturart der Fruchtfolge benötigte sie höhere N-Intensitäten, um ähnlich hohe N-Erträge (Korn u. Stroh) wie Klee gras bzw. Silomais auf diesem Standort zu erreichen. Die NEL-Erträge lagen zwischen denen des Klee grasses und des Silomaises und nahmen ebenfalls mit steigender mineralischer N-Düngung zu. Daraus resultieren N-Salden, die zwischen -72 und 95 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. -1,5 und 1,3 kg N GJ NEL<sup>-1</sup> variierten und eine intermediäre Stellung zwischen Klee gras und Silomais einnahmen.

#### *Ackerfutterbau-/Fruchtfolge*

- Die N-Erträge der Fruchtfolge stiegen mit zunehmender mineralischer N-Düngung an. Im Mittel der Jahre wurden N-Erträge zwischen 144 und 209 kg ha<sup>-1</sup> erreicht. Ein ausgeglichener N-Saldo wurde bei einem N-Input von 75 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht und stieg mit steigender Güllendüngung an (-27 bis 102 kg N ha<sup>-1</sup>). Ohne Güllendüngung kam es zu wesentlich niedrigeren N-Überschüssen je erzeugter Energieeinheit.

#### *Vergleich zum herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem*

- Das herkömmliche Grundfutterproduktionssystem ist der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im N-Ertrag in Abhängigkeit der drei N-Düngungsintensitäten im Mittel um 16 % überlegen. Die NEL-Erträge der Fruchtfolge ergaben gleich hohe bzw. um 5 % höhere NEL-Erträge bei der E- und H-Intensitätsstufe.
- Beide Futterbau-Systeme übertrafen in Abhängigkeit der drei N-Intensitätsstufen die kritische N-Fracht von 18 kg N ha<sup>-1</sup>, oberhalb derer  $NO_3$ -Konzentrationen im Sickerwasser > 50 mg l<sup>-1</sup> auftreten. Die Fruchtfolge erzielte aber bei E- und R-Intensität niedrigere N-Überschüsse.



## 7. Literaturverzeichnis

- Anger, M. & W. Kühbauch, 2000. Model calculations to reduce nutrient surplus and N-losses in dairy grassland farms. *Grassland Science in Europe*, 5, 394-396.
- Anonymus, 1996. Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 6. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Anonymus, 2000. Rinderreport: Ergebnisse der Rinderspezialberatung in Schleswig-Holstein. Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Nr.544.
- Anonymus, 2001. Versuchsbericht der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.
- Anonymus, 2003. Richtwerte für die Düngung. Hrsg.: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Kiel.
- Anonymus, 2003. Abschlußbericht: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben/Föhr. Hrsg.: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Kiel.
- Aarts, H.F.M., Habekotte, B., Hilhorst, G.J, Koskamp, G.J., van der Schans, F.C. & C.K de Vries, 1999. Efficient resource management in dairy farming on sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47, 153-167.
- Bach, M., Frede H.-G., & G. Lang, 1997. Handbuch N-, P-, K-Bilanzierung. Gesell. F. Boden- und Gewässerschutz, Wettenberg.
- Benke, M., 1992. Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Grünland mittels der Saugkerzen-Methode in Abhängigkeit von der Nutzungsart (Schnitt/Weide), der Nutzungshäufigkeit, der Bestandeszusammensetzung (mit/ohne Weißklee) und der Stickstoffdüngung. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der CAU Kiel, Lehrstuhl Grünland und Futterbau.
- Berendonk, Clara, 1998. Maisanbau im ökologischen Landbau. *Mais*, 25 Jg., 4, 144-146.
- Blicher-Mathiesen, G & I. Paulsen, 2000. Nitrate leaching from temporary grasslands at dairy farms. *Grassland Science in Europe*,7, 662-663.
- Bobe, Janina, Wachendorf, M., Büchter, M. & F. Taube, 2004. Nitrate leaching losses under a forage crop rotation. *Grassland Science in Europe*, 9, 346-348.
- Bockmann, H., 1976. Ertragsleistung und Ertragssicherheit von Weizen nach verschiedenen Vorfrüchten. *Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzdienst* 28, 1-4.
- Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. *Ecological Studies* 33, Springer Verlag, Berlin, Hamburg, New York.
- Büchter, M., 2003. Nitratauswaschungen unter Grünland und Silomais in Monokultur auf sandigen Böden Norddeutschlands. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, CAU Kiel
- Büchter, M., Wachendorf, M. & F. Taube, 2002. Nitrate leaching from permanent grassland on sandy soil – Results from an integrated research project. *Grassland Science in Europe*, 7, 668-669.
- Davies, M.G., Smith, K.A. & A.J.A. Vinten (2001). The mineralization and fate of nitrogen following ploughing of grass and grass-clover swards. *Biology and Fertility of Soils* 33, 423-434.
- De Boever, J.L., Cottyn, B.G., Buysse, F.X., Wainman, F.W. & J.M. Vanacker, 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 14, 203-214.
- Deutsches Maiskomitee e.V.,1999. Sortenspiegel Mais 1999, Bonn. 12.
- Dokumentationsstelle der Universität Hohenheim, 1991. DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. DLG-Verlag Frankfurt/Main, 6. Auflage.
- Djurhuus, J. & P. Olsen, 1997. Nitrate leaching after cut grass/clover leys as affected by time of ploughing. *Soil Use Management*, 13, 61-67.

- Elgersma, A., Schlepers, H., Stegemann, A.G. & A. Kool, 1996. Nitrate leaching under grass-clover mixtures. *Grassland Science in Europe*, 5, 717-721.
- Ellen, J., 1993 b. Growth, yield and composition of four winter cereals. II. Nitrogen and carbohydrate economy. *Netherlands J. of Agricultural Sci.* 41, 235-246.
- Eltun, R. & O. Nordheim, 1999. Yield results during the first eight years crop rotation of the Apelsvoll cropping system experiment. In: *Designing and testing crop rotations for organic farming*. Eds.: J. E. Olesen, R. Eltun, M. J. Gooding, E. St. Jensen & U. Köpke. Danish Research Centre for Organic Farming.
- Flachowsky, G., Lebzien, P. & R. Daenicke, 1999. Zur Bedeutung von Leguminosen als Grundfutterkomponenten in Rationen von Hochleistungskühen. *VDLUFA Schriftenreihe* 52, 293-296.
- Frame, J. & P. Newbould, 1986. Agronomy of white clover. *Advances in Agronomy*, 40, 1-88
- Friedel, K & S. Poppe, 1990. Ein modifiziertes Zellulaseverfahren als Methode zur Schätzung der Verdaulichkeit von Grobfutter. *G4-Bericht, WPU Rostock, WB Tierernährung*.
- Hawkins, J. & D. Scholefield, 2000. Leaching of dissolved organic N from grass-white clover pasture in SW England. *Grassland Science in Europe*, 5, 378-380.
- HEB, J., 1989. Kleeerasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Kleeergras – Kleeergras – Weizen – Roggen. Dissertation der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität zu Bonn.
- Høgh-Jensen, H., 1996. Nitrogen recovery after clover/ryegrass leys. In: Younie, D. (Ed.) *Legumes in sustainable farming systems*. Occasional Symposium No. 30, British Grassland Society, 130-132.
- Høgh-Jensen, H. & J.K. Schjoerring, 2001. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 439-448.
- Hoogerkamp, M., 1973a. Accumulation of organic matter under grassland and its effects on grassland and on arable crops. *Agricultural Research Report 806, PUDOC, Wageningen*.
- Hoogerkamp, M., 1973b. De ophoping van organische stof onder grassland en de invloed hiervan op de opbrengst van grassland en akkerbouwgewassen. *Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen, Wageningen*.
- Hoogerkamp, M., 1984. Changes of productivity of grassland with ageing. *Dissertation, Agricultural University Wageningen*.
- Hopkins, A., Gilbey, J, Dibb, C, Bowling, P.J., Murray, P.J., 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. *Grass and Forage Science*, 45, 43-55.
- Ingwersen, B., 2002. Einfluß von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Leistungsfähigkeit von leguminosenbasiertem Dauergrünland unter besonderer Berücksichtigung der Nährstoffbilanzierung. *Dissertation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität, Kiel*.
- Jarvis, S.C., Wilkins, R.J., & B.F. Pain, 1996. Opportunities for reducing the environmental impact of dairy farming managements: a system approach. *Grass and Forage Science*, 51, 21-31.
- Johnston, A.E., McEwen, J.M., Lane, P.W., Hewitt, M.V., Poulton, P.R. & D.P. Yeoman, 1994. Effects of one to six year old ryegrass-clover leys on soil nitrogen and subsequent yields and fertilizer nitrogen requirements of the arable sequence winter wheat, winter beans (*Vicia faba*) grown on a sandy loam soil. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 122, 73-89.

- Kaske, A., 2000. Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität, Kiel
- Keller, E., 1997. Betrachtung von grundsätzlichen Aspekten des Ökologischen Landbaus – Vergleich mit anderen Landbaumethoden – Einführung in: Keller, E., Hanus, H. und Heyland, K.-U. (Hrsg.): Handbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kirchgessner, M., 1987. Tierernährung. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt (M.)
- Köppen, D., 2000. Fruchtfolgegestaltung und -bewertung. Bauernblatt, 45. Heft, 54. ,53-55.
- Kuzaykov, Y. G. Domanski, 2000. Carbon input by plants into soil. Review. J. Plant Nutr. Soil Sci., 163, 421-431.
- Lantinga, E.A., Keuning, J.A., Groenwold, J. & P.J.A.G. Deenen, 1987. Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In Anonymus "Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer or Waste?" 103-117.
- Ledgard, S.F., 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards by dairy cows, estimated using <sup>15</sup>N methods. Plant and Soil, 131, 215-223.
- Ledgard, S.F., Brier, G.J. & M.P. Upsdell, 1990. Effect of clover cultivar on production and nitrogen fixation in clover-grass swards under dairy cow grazing. N. Z. J. Agric. Res., 33, 243-249.
- Ledgard, S.F., Penno, J.W. & M.S. Sprosen, 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. Journal of Agricultural Science, Cambridge 132, 215-225.
- Ledgard, S.F., 2001. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. Plant and Soil, 228, 43-59.
- Le Gall, A., Legarto, J., Caberet, M.-M. & A. Pflimlin, 2000. Impact of intensive dairy systems on nitrogen flows at the farm scale. Grassland Science in Europe, 5, 409-411.
- Lex, J. 1992. Beitrag des Weißklee (Trifolium repens L.) im Gemenge mit Gräsern zur Ertragsbildung des Pflanzenbestands und zum Futterwert der Erntemasse. Diss., Technische Universität München.
- Loges, R., 1998. Ertrag, Futterqualität, N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 9.
- Loges, R., Kaske, A. & F. Taube 2000. Yield, forage Quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International IFOM Scientific Conference, Basel, 83.
- Lütke Entrup, N. & J. Oehmichen, 2000. Integrierter Landbau – das Leitbild für eine standortgerechte und umweltverträgliche Landwirtschaft. In Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Mahlkow-Nerge, K., Untersuchungen über den Effekt der Bewirtschaftungsintensität von Grünland auf Ertrag und Futterwert sowie die Eignung verschiedener Verfahren der Futterwertschätzung. Dissertation, Universität Rostock, 1999.
- Neuendorff, J., 1996. Beitrag des Weißklee (Trifolium repens L.) zur Ertragsbildung von Grünlandnarben unter besonderer Berücksichtigung von Methoden zur Quantifizierung seiner Stickstoff-Fixierungsleistung. Dissertation, Gesamthochschule Kassel.
- Nevens, F. & D. Reheul, 2000a. Nitrogen credit following the ploughing of three year old grazed grass leys. Grassland Science in Europe, 5, 263-266.
- Nevens, F. & D. Reheul, 2000b. Increasing N use efficiency in an integrated grassland - forage crop rotation. Grassland Science in Europe, 5, 375-377.

- Nevens, F. & D. Reheul, 2002. The nitrogen- and non-nitrogen-contribution effect of ploughed grass leys on the following arable forage crops: determination and optimum use. *European Journal of Agronomy*, 16, 57-74.
- Nijssen, J.M.A., Van Dijk, W., Baan Hofmann, T. & A.P. Wouters, 1996. Economic van mais-gras wisselbouw. Publikatie 113, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Peel, S., Lane, S.J., Chambers, B.J., Harrison, R., & S.C. Jarvis, 1999. Reducing nitrogen emissions from complete dairy farm systems. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. Eds.: Jarvis, S.C. and Pain, B.F. CAB International, Wallingford, 383-390.
- Rotz, C.A., Buckmaster, D.R. Mertens, D.R. & J.R. Black, 1989. DAFOSYM: A dairy forage system model for evaluating technologies and management strategies in forage conservation. *J. Dairy Sci.* 72, 3050-3063.
- Rotz, C.A., Wachendorf, M., Herrmann, A., Kornher, A. & F. Taube, 2002. A modelling approach to management impacts on nitrogen fluxes in specialised dairy farms. *Grassland Science in Europe*, 7, 728-729.
- Ruhe, I., Loges, R. & F. Taube, 2001. Vergleichende Analyse der N-Flüsse in Fruchtfolgen N-intensiver und N-extensiver ökologischer Produktionssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Nitratverluste. 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, München,
- Ruhe, I., Loges, R. & F. Taube, 2002. Stickstoffflüsse in Fruchtfolgen des ökologischen und konventionellen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 14, 28-29.
- SAS<sup>®</sup> Institute, 2003. SAS/STAT User's Guide, Release 8.2 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scheffer, F., 2002. *Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer / Schachtschabel*, 15. Aufl. /neubearb. und erw. von Hans Peter Blume, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg – Berlin.
- Scheringer, J. & J. Isselstein, 2000. Zur Variabilität der Stickstoffeffizienz in Futterbaubetrieben in Niedersachsen. 44. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 2, 125-128.
- Scheringer, J. & J. Isselstein, 2002. Stickstoffflüsse in konventionellen und ökologischen Futterbaubetrieben Niedersachsens. 46. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 234-239.
- Schils, R.L.M., 1997. Effect of a spring application of nitrogen on the performance of perennial ryegrass-white clover swards at two sites in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 45, 263-275.
- Schils, R., Van Dijk, W., Hanekamp, W., Jagtenberg, C. & P. Snijders, 2000a. The use of forage maize within a grass/clover-based dairy system. *Grassland Science in Europe*, 5, 338-340.
- Schils, R.L.M., Boxem, Tj., Jagtenberg, C.J. & M.C. Verboon, 2000b. The performance of white clover-based dairy system in comparison a grass/fertilizer-N system. II. Animal production, economics and environment. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48, 305-318.
- Schroeder, J.J., Groenwold, J., & T. Zaharieva, 1996. Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root length density distribution and fertiliser application method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 44, 209-225.
- Schroeder, J.J., Neeteson, J.J., Withagen, J.C.M. & I.G.A.M. Noij, 1998. Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crop Research*, 58, 55-67.

- Schroeder, J.J., Neeteson, J.J., Oenema, O. & P.C. Struik, 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production. Reviewing the state of the art. *Field Crop Research*, 66, 151-164.
- Søgaard, K., Eriksen, J. & I.S. Kristensen, 2002, Grassland cultivation in Denmark. In: *Grassland resowing and grass-arable crop rotation*. Eds.: J.G. Conijn, G.L. Velthof & F. Taube, Wageningen Report 47.
- Søgaard, K., Petersen, S.O. & F.P. Vinther. 1998. The effect of N in urine under grazing on herbage production, N fixation and ammonia volatilisation. *Grassland Science in Europe*, 4, 615-619.
- Søgaard, K. & K. Nielsen, 2000. Grassland in Denmark. *Grassland Science in Europe*, 5, 1-8.
- Sticksel, E, F.-X. Mairl & R. Valta, 1999. Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 2. Mitteilung: Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais. *Pflanzenbauwissenschaften*, 3 (1), 17-21.
- Stute, J.K. & J.L. Posner, 1995. Synchrony between Legume Nitrogen Release and Corn Demand in the Upper Midwest. *Agron. J.*, 87, 1063-1069.
- Taube, F. & A. Kornher, 1989. Der Beitrag des Weißklee zur Ertragsbildung auf Grünland – Eine Alternative zur Stickstoffdüngung? *Schriftenreihe der Agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel*, 71.
- Taube, F. & E.M. Pötsch, 2001. On-farm nutrient balance assessment to improve nutrient management on organic dairy farms. *Grassland Science in Europe*, 6, 225-235.
- Taube, F., Kornher, A. & M. Wachendorf, 1995. Leistungsfähigkeit weißkleebasierter Produktionssysteme auf dem Dauergrünland Norddeutschlands. *D. Wirtschaftseigene Futter*, 41, 28-42.
- Taube, F. & M. Wachendorf, 2001. The nitrogen project: a system approach to optimize nitrogen use efficiency on the dairy farm. *Proceedings of the American Forage and Grassland Council at Springdale, Arkansas, USA, April 22-25, Vol. 10*, 223-228.
- Taube, F., Wachendorf, M., Greef, J.M. & R. Wulfes, 1997. Perspektiven semi-intensiver Produktionssysteme in Milchvieh/Futterbauregionen Norddeutschlands. *Ber. Ldw.* 75, 586-603.
- Trott, H.T. 2003. Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Bewirtschaftungsform und N-Intensität auf Leistungsparameter und die Stickstoffbilanz von Dauergrünland. *Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, 28.
- Trott, H., Wachendorf, M. & F. Taube, 2002. Management of permanent grassland for reduced nitrogen surplus – Results from an integrated research project. *Grassland Science in Europe*, 7, 740-741.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Vellinga, Th.V. & P.J. Kiukman, 2002. The effect of ploughing of grasslands on nitrous oxide emissions. *Grassland Science in Europe*, 7, 742-743.
- Van Eekeren, N., 2000. Balancing summer rations of dairy cows by means urea content in bulk tank milk. *Grassland Science in Europe*, 5, 555-557.
- Van Dijk, W., 1997. Mais na oud grasland op klei vraagt weinig stikstof en fosfaat. *Praktijkonderzoek* 10, nr.1, 12-14.
- Van Dijk, W., Hofmann, T.B., Nijssen, K., Everts, H., Wouters, A.P., Lamers, J.G., Alblas, J., & J. van Bezooijen, 1996. Effecten van mais-gras Vruchtwisseling. *Verslag Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond No. 217*.
- Van Vuuren, A.M., Steg, A., Van Straalen, W.M., & V.A. Hindle, 1994. Protein quality of white clover. *Workshop Proceedings 15<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Wageningen*, 59-62.

- Velthof, G.L., Neeteson, J.J., Van der Meer, H.G. & O. Oenema, 2000. Schatting van de netto mineralisatie en biologische stikstofbinding in landbouwgronden. Rapport 117, Alterra, Wageningen.
- Velthof, G.L. & O. Oenema, 2001. Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen. Alterra-rapport 399, Wageningen.
- Vinther, F.P., 2000. Symbiotic nitrogen fixation and N-transfer in a grass-white clover mixture. *Grassland Science in Europe*, 5, 415-417.
- Volkers, K.C., Wachendorf, M., Loges, R., Jovanovic, N.J. & F. Taube, 2003. Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, 109, 183-194.
- Wachendorf, C., Trott, H. & F. Taube, 2001. Stickstoffmineralisierung unter Exkrementstellen: <sup>15</sup>N-Signatur verschiedener N-Fractionen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 96, 305-306.
- Wachendorf, M., Ingwersen, B. & F. Taube, 1998. Prediction of the clover content of red clover- and white clover-grass mixtures by near-infrared reflectance spectroscopy. *Grass and Forage Science*, 54, 87-90.
- Wachendorf, M. & F. Taube, 1999. Nitrogen fertilizer management of grassland and maize for an improved nitrogen use efficiency on dairy farms. Proceedings of the COST 814 Workshop "Nitrogen USE Efficiency" June 1999, Ghent, Belgium.
- Wachendorf, M. & F. Taube, 2002. Management impacts on nitrogen fluxes and nitrogen losses in grassland systems – Results from an integrated project. *Grassland Science in Europe*, 7, 744-745.
- Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H.T. & F. Taube, 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass and Forage Science*, 59, 1-13.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996a. Estimation of the metabolizable energy in forages by a cellulase-method. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 115.
- Weißbach, F., Kuhla S., Schmidt L., 1996b. Simplified method for calculation of NEL from metabolizable energy. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 5, 117.
- Wellbrock, N., 2002. Veränderungen und ökosystemare Bewertung der atmosphärischen Deposition eines Buchenwaldes und Übertragung des Bewertungskonzeptes auf ausgewählte Waldökosysteme in Schleswig-Holstein. *EcoSys – Beiträge zur Ökosystemforschung*, 35.
- Whitehead, D.C., 1995. *Grassland Nitrogen*. CAB International, Oxon, p.397.
- Whitehead, D.C., Bristow, A.W. & D.R. Lockyer, (1990). Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to the potential for nitrate leaching after ploughing. *Plant and Soil* 123, 39-49.
- Wilkins, R.J., 1996. Environmental constraints to grassland systems. *Grassland Science in Europe*, 5, 695-703.
- Wivstadt, M., 1997. Green-manure crops as a source of nitrogen in cropping systems. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Wörner, M., 1990. Der Beitrag des Weißklees zur Ertragsbildung auf Grünland in Bewirtschaftungssystemen mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen. Diplomarbeit, Universität Kiel.
- Woledge, J., 1988. Competition between grass and clover in spring as affected by nitrogen fertilizer. *Ann. Appl. Biol.*, 112, 175-186.
- Zscheischler, J., Estler, M.C., Staudacher, W., Groß, F., Burgstaller, G., Streyl, H. & T. Rechmann, 1990. *Handbuch Mais: umweltgerechter Anbau; wirtschaftliche Verwertung*. 4., vollkommen überarb. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt (Main).

## 8. Anhang

Tab. A1: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der Netto TM-, N- und NEL-Erträge des Klee-grases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Klee-gras	2000		2001		2002		2000-2002	
	Netto TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		Netto TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		Netto TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		Netto TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	40,6	41,7	65,0	72,0	65,0	79,7	55,6	64,4
100	52,9	53,3	95,2	91,9	90,4	88,8	79,5	78,0
150	61,3	57,0	100,6	102,1	83,3	89,3	81,9	82,8
S.E.	7,0		7,0		4,5		4,2	

Klee-gras	2000		2001		2002		2000-2002	
	Netto N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		Netto N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		Netto N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		Netto N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	110,3	101,5	205,1	205,1	218,8	256,0	177,6	179,5
100	109,4	109,9	246,3	241,3	259,7	278,7	209,9	206,0
150	137,1	142,2	248,4	267,4	232,5	282,5	215,9	224,3
S.E.	9,7		21,7		29,6		14,4	

Klee-gras	2000		2001		2002		2000-2002	
	Netto NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		Netto NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		Netto NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		Netto NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	30,4	27,2	47,2	52,2	46,4	56,8	40,6	43,6
100	35,1	31,9	67,4	65,1	62,9	66,8	56,0	54,4
150	37,9	39,5	70,9	71,6	59,1	65,8	58,0	57,6
S.E.	2,8		5,0		5,5		4,4	

Tab. A2: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der N-, RP und NEL-Gehalte des Kleegrases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	2,57	2,52	3,18	2,84	3,38	3,17	3,11
100	2,06	2,27	2,58	2,63	2,85	2,92	2,58	2,63
150	2,40	2,47	2,41	2,60	2,71	2,96	2,56	2,70
S.E.	0,10		0,10		0,11		0,06	

Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	16,08	15,76	19,86	17,76	21,1	19,84	19,49
100	17,89	14,19	16,16	16,45	17,79	18,23	16,18	16,44
150	15,03	15,48	15,09	16,25	16,92	18,52	16,03	16,89
S.E.	0,63		0,61		0,69		0,37	

Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2001 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2002 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	6,89	6,89	7,29	7,26	7,13	7,06	7,11
100	6,63	6,61	7,10	7,10	6,93	7,00	6,92	6,94
150	6,65	6,80	7,05	7,02	6,91	6,94	6,89	6,94
S.E.	0,04		0,05		0,05		0,03	



Tab. A3: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der Weißklee Ertragsanteile (EA), fixierte N-Menge und N-Saldo des Kleeegrases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	Weißklee EA [% d. TM <sup>-1</sup> ]		Weißklee EA [% d. TM <sup>-1</sup> ]		Weißklee EA [% d. TM <sup>-1</sup> ]		Weißklee EA [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	33,1	33,8	43,4	25,3	61,6	50,5	46,8	36,9
100	3,65	7,67	39,2	39,3	41,5	38,9	31,9	30,0
150	1,37	2,58	40,4	42,6	30,2	26,3	27,2	24,5
S.E.	4,74		8,07		6,6		3,0	
Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	fixierte N-Menge [kg ha <sup>-1</sup> ]		fixierte N-Menge [kg ha <sup>-1</sup> ]		fixierte N-Menge [kg ha <sup>-1</sup> ]		fixierte N-Menge [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	131,6	134,6	151,8	89,7	215,3	176,7	163,8	129,2
100	12,4	27,3	140,8	144,4	143,9	133,4	111,7	104,8
150	4,5	10,1	141,3	149,2	99,7	88,5	95,1	85,8
S.E.	8,7		28,5		12,6		10,4	
Klee gras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	-110,3	-38,5	-205,1	-142,1	-218,8	-193,0	-177,6	-110,5
100	-9,4	53,1	-146,3	-78,3	-159,7	-115,6	-109,9	-37,0
150	12,8	70,9	-98,4	-54,4	-82,5	-69,5	-65,9	-5,3
S.E.	8,4		21,7		29,6		14,4	

Fortsetzung Tabelle A3

Kleegras N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2001 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	-3,71	-1,25	-4,36	-2,50	-4,73	-3,38	-4,43
100	-0,21	1,72	-2,12	-1,19	-2,50	-1,67	-1,94	-0,67
150	0,37	1,95	-1,19	-0,69	-1,17	-0,93	-1,11	-0,08
S.E.	0,30		0,23		0,31		0,24	

Tab A4: Ergebnis der Varianzanalyse für die Parameter Netto TM-, N-, und NEL-Ertrag, N-, RP und NEL-Gehalt, N-Saldo und Weißklee Ertragsanteile (EA) und fixierte N-Menge des Kleegrases.

Varianzursache	Netto TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]				Netto N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				Netto NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS
N-Düngung (N) Mineral	***	*	*	***	**	*	NS	***	**	***	NS	***
G*N	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	***	***	***	*	***	***	***	*	*	**	NS
G*N	NS	*	NS	*	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]				N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]				Weißklee EA [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	**	NS	*	NS	**	***	***	***	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	**	***	*	***	**	***	***	**	***	NS	**	**
G*N	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	NS

Fortsetzung Tabelle A4

Varianzursache	fixierte N-Menge [kg ha <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002
Signifikanzniveaus				
Güledüngung (G)	NS	NS	*	NS
N-Düngung (N) Mineral	***	NS	***	***
G*N	NS	NS	NS	NS

Tab A5: Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) der organischen Masse (OM), des N-Ertrages und NEL-Ertrages des oberirdischen Aufwuchses (inkl. Stopplern) des Kleeegrases zu Vegetationsende in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	16,81	16,00	16,50	20,79	8,12	7,59	13,80	14,78
100	13,64	12,40	12,84	18,93	11,77	15,63	12,75	15,65
150	16,83	16,81	14,94	22,31	15,87	10,43	15,88	16,50
S.E.	1,75		1,84		2,08		1,20	

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	48,13	42,51	54,52	77,47	27,16	26,48	42,11	44,88
100	40,63	29,07	47,75	61,08	37,57	44,15	41,20	38,66
150	35,18	37,72	49,07	73,55	44,16	30,47	41,55	44,93
S.E.	9,38		8,06		5,37		5,80	

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	10,64	10,04	11,31	15,93	5,51	5,06	8,80	9,40
100	10,21	7,63	9,63	11,78	7,69	9,00	8,70	8,50
150	9,98	10,24	10,25	15,07	9,71	6,37	9,50	10,10
S.E.	1,96		1,82		1,21		1,20	

Tab. A6: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des N-, RP und NEL-Gehaltes des oberirdischen Aufwuchses (inkl. Stoppeln) zu Vegetationsende des Klee-grases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	2,90	2,61	3,35	3,44	3,39	3,53	3,21	3,17
100	2,37	2,27	3,46	3,59	3,18	2,80	3,07	2,63
150	1,98	2,19	3,25	3,31	2,78	2,86	2,55	2,72
S.E.	0,17		0,18		0,16		0,20	

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	18,16	16,31	20,92	21,53	21,21	22,07	20,10	19,83
100	14,79	14,19	21,63	22,44	19,87	17,51	19,21	16,42
150	12,36	13,67	20,31	20,70	17,36	17,86	15,95	17,00
S.E.	1,05		1,14		1,02		0,87	

Catch crop Herbst	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	6,37	6,27	6,89	7,05	6,79	6,67	6,68	6,60
100	6,18	6,68	6,97	6,91	6,56	5,78	6,57	6,00
150	5,82	6,07	6,84	6,79	6,12	6,11	6,14	6,26
S.E.	0,20		0,15		0,23		0,20	

Tab A7: Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) der organischen Masse (OM), des N-Ertrages und NEL-Ertrages des **oberirdischen Aufwuchses** (inkl. Stoppeln) vor Umbruch des Kleegrases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	9,28	9,08	17,68	17,73	8,80	9,72	11,94	12,18
100	8,35	8,11	13,65	13,77	13,08	12,90	11,69	11,59
150	12,55	10,55	17,35	16,27	13,35	16,78	14,41	14,53
S.E.	1,35		1,51		2,02		1,13	

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	28,35	25,60	47,4	46,3	25,60	32,3	33,77	34,71
100	22,00	22,00	36,5	35,2	45,50	39,60	34,67	32,28
150	34,20	28,2	43,7	43,2	38,60	45,30	38,87	38,87
S.E.	3,50		3,5		5,98		3,10	

Fortsetzung Tab. A7

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	5,32	5,41	11,4	12,0	5,11	6,01	7,27	7,81
100	4,98	5,00	9,2	9,2	7,97	7,27	7,37	7,15
150	7,02	5,90	11,1	10,2	7,25	8,93	8,45	8,34
S.E.	0,69		0,9		1,18		0,64	

Tab. A8: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des N-, RP und NEL-Gehaltes des **oberirdischen Aufwuchses** (inkl. Stoppln) vor Umbruch des Kleeegrases in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002)

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	3,02	2,80	2,66	2,60	3,02	3,36	2,90	2,92
100	2,64	2,66	2,66	2,56	3,46	3,07	2,92	2,76
150	2,66	2,65	2,56	2,72	2,88	2,74	2,70	2,70
S.E.	0,15		0,04		0,14		0,08	

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	18,91	17,53	16,63	16,28	18,90	21,00	18,15	18,28
100	15,53	16,61	16,65	16,03	21,66	19,20	18,28	17,28
150	16,67	16,57	16,03	17,04	18,04	17,12	16,91	16,91
S.E.	0,96		0,25		0,91		0,92	

Fortsetzung Tab. A8

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	5,83	5,97	6,5	6,8	5,90	6,22	6,08	6,33
100	5,99	6,14	6,72	6,66	6,09	5,59	6,27	6,13
150	5,57	5,60	6,40	6,37	5,42	5,32	5,80	5,76
S.E.	0,22		0,09		0,21		0,13	

Tab A9: Mittelwerte und Fehler (LSMEANS/S.E.) der **Wurzelmasse** (OM) des Kleegrases, des N-Ertrages und NEL-Ertrages vor Umbruch in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]		OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	9,85	9,13	2,5	5,48	9,59	8,83	7,33	7,81
100	14,54	7,75	2,29	3,84	14,80	7,49	10,54	6,36
150	10,85	10,80	4,27	5,02	10,60	16,40	8,57	12,74
S.E.	3,37		1,1		3,47		2,13	

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	30,54	26,66	4,16	7,56	16,93	15,77	17,21	16,67
100	37,50	21,10	4,78	6,39	32,73	15,61	27,43	14,37
150	30,29	44,75	4,91	7,47	16,64	24,84	17,28	25,68
S.E.	9,0		1,56		5,90		5,21	

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	6,28	5,57	0,87	2,14	2,54	3,33	3,23	3,68
100	8,50	4,76	1,11	1,31	4,27	2,26	5,04	2,78
150	6,40	9,80	1,34	1,87	2,95	5,05	3,59	5,60
S.E.	1,95		0,38		0,92		1,00	

Fortsetzung Tab. A9

Tab. A10: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des N-, RP und NEL-Gehaltes der **Wurzelmasse** des Kleegrases vor Umbruch in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002)

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	3,06	2,93	1,70	1,39	1,97	1,79	2,24	2,04
100	2,61	2,66	1,63	1,76	2,15	2,11	2,17	2,18
150	2,66	2,73	1,34	1,54	1,47	1,55	1,82	1,94
S.E.	0,13		0,12		0,22		0,11	

Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	19,13	18,32	10,65	8,68	12,35	11,22	14,04	12,74
100	16,32	16,61	10,22	11,02	13,43	13,23	13,60	13,62
150	16,63	17,08	8,37	9,66	9,20	9,72	11,40	12,15
S.E.	0,88		0,75		0,37		0,72	



Catch crop Frühjahr	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]								
Mineral								
0	6,24	6,11	3,16	3,93	2,94	3,61	4,11	4,55
100	5,93	6,14	3,59	3,65	3,11	3,06	4,26	4,28
150	5,81	5,95	3,26	3,84	2,76	3,19	3,94	4,32
S.E.	0,15		0,15		0,25		0,12	

Fortsetzung Tab. A10

Tab A11: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter OM-, N-, NEL-Ertrag, N-Gehalt, RP-Gehalt und NEL-Gehalt des **oberirdischen Aufwuchses** (inkl. Stoppeln) zu Vegetationsende des Klee-grases

Varianzursache	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	**	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	NS	*	**	*	NS	*	**	*	NS	NS	NS
G*N	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

Tab A12: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter OM-, N-, NEL-Ertrag, N-Gehalt, RP-Gehalt und NEL-Gehalt des **oberirdischen Aufwuchses** (inkl. Stoppeln) des Klee-grases vor Umbruch

Varianzursache	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	*	*	*	NS	NS	*	*	NS	*	*	*
G*N	NS	NS	*	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS

Tab A13: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter OM-, N-, NEL-Ertrag, N-Gehalt, RP-Gehalt und NEL-Gehalt der **Wurzelmasse** des Klee-grases vor Umbruch

Varianzursache	OM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	*	NS	*	NS	*	*	*	NS	NS	NS	NS
G*N	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS

Tab. A14: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der TM-, N- und NEL-Erträge des Silomais in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2001 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	125,6	145,9	127,3	144,9	152,0	165,4	134,9	152,1
25	141,8	149,8	126,5	139,1	168,2	177,1	145,5	155,3
100	146,2	153,5	137,8	147,5	161,2	177,9	148,4	159,6
S.E.	6,4		4,7		5,4		6,1	

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	147,4	172,4	151,3	174,3	192,8	221,3	163,7	189,3
25	167,7	178,7	143,4	163,5	212,8	234,2	174,6	192,3
100	171,8	182,4	162,2	173,1	222,4	242,3	185,5	199,2
S.E.	8,6		8,1		12,9		11,1	

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2001 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2002 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	83,4	96,4	87,3	98,4	102,9	111,5	91,2	102,1
25	92,3	98,7	84,4	91,7	113,2	120,0	96,6	103,4
100	96,6	101,7	91,3	97,5	106,3	117,2	98,1	105,5
S.E.	4,2		3,4		3,5		3,8	

Tab. A15: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der N-, RP und NEL-Gehalte des Silomais in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	1,17	1,18	1,18	1,20	1,27	1,34	1,21	1,24
25	1,18	1,20	1,14	1,17	1,26	1,32	1,20	1,23
100	1,18	1,19	1,18	1,17	1,37	1,36	1,24	1,24
S.E.	0,02		0,03		0,05		0,03	

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	7,33	7,38	7,40	7,50	7,92	8,36	7,55	7,75
25	7,38	7,45	7,08	7,34	7,91	8,22	7,46	7,67
100	7,34	7,44	7,36	7,34	8,61	8,50	7,77	7,76
S.E.	0,12		0,18		0,29		0,18	

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2001 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2002 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	6,65	6,61	6,85	6,78	6,77	6,74	6,76	6,71
25	6,51	6,58	6,67	6,59	6,73	6,78	6,64	6,65
100	6,61	6,62	6,64	6,62	6,60	6,59	6,62	6,61
S.E.	0,07		0,09		0,06		0,04	

Tab. A16: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des N-Saldo des Silomais in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	-147,4	-82,4	-151,3	-84,3	-192,8	-131,3	-163,8
25	-142,66	-63,8	-118,4	-48,5	-187,8	-119,2	-149,6	-77,2
100	-71,8	7,6	-62,2	16,9	-122,4	-52,3	-85,5	-9,2
S.E.	8,5		8,1		13,0		7,4	

Silomais N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2001 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	-1,76	-0,86	-1,72	-0,85	-1,87	-1,18	-1,79
25	-1,54	-0,64	-1,40	-0,52	-1,66	-0,97	-1,54	-0,73
100	-0,74	0,07	-0,67	0,17	-1,14	-0,44	-0,86	-0,08
S.E.	0,45		0,05		0,09		0,05	

Tab A17: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter TM-, N-, NEL-Ertrag, N-Gehalt, RP-Gehalt und NEL-Gehalt des Silomaises

Varianzursache	TM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	NS
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]				N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]							
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	**	**	**	**	**	***	***	***	***			
N-Düngung (N) Mineral	***	***	***	***	***	***	***	***	***			
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				

Tab. A18: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Korn-, Korn N- und Korn NEL-Ertrages der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2001 Korn-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2002 Korn-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Korn-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	40,9	45,4	43,55	63,0	56,5	45,9	47,0
100	54,9	57,3	79,0	82,0	63,8	82,8	65,9	74,0
200	48,6	53,3	100,1	92,8	64,8	72,7	71,2	72,9
S.E.	3,2		3,7		15,2		5,0	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 Korn N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 Korn N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Korn N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	40,97	41,28	68,51	140,69	70,28	51,5	62,01
100	91,10	93,08	87,09	233,36	97,78	149,36	110,6	120,15
200	92,58	101,91	155,15	220,71	150,54	176,75	158,64	158,57
S.E.	12,5		6,13		25,54		9,21	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2001 Korn NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2002 Korn NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Korn NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	32,6	32,6	35,0	64,3	51,4	39,6	40,2
100	39,5	41,4	49,6	84,3	58,2	74,2	53,9	55,6
200	36,4	39,2	68,2	77,7	59,2	66,3	59,9	58,6
S.E.	3,00		2,90		13,80		3,3	

Tab. A19: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Tausend-Korn-Gewichts (TKG), RP und NEL-Gehaltes der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 TKG [g]		2001 TKG [g]		2002 TKG [g]		2000-2002 TKG [g]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	40,0	41,0	46,5	47,6	40,3	40,8	42,3
100	44,6	43,0	43,5	47,4	40,6	37,9	42,9	42,8
200	38,0	40,2	39,5	40,0	35,4	32,7	37,6	37,6
S.E.	0,88		1,73		0,62		1,91	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 Korn RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 Korn RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Korn RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	6,14	6,09	9,83	8,69	7,73	7,08	7,83
100	10,74	10,80	11,30	11,84	9,56	11,21	10,44	11,10
200	11,95	11,95	14,71	14,98	14,49	15,25	13,73	14,06
S.E.	0,64		0,57		0,16		0,42	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2001 Korn NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2002 Korn NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Korn NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	7,75	7,69	8,04	7,89	9,02	8,63	8,21
100	7,47	7,47	8,14	8,32	9,12	8,98	8,23	8,26
200	7,49	7,36	8,42	8,38	9,18	9,13	8,34	8,29
S.E.	0,15		0,05		0,14		0,12	



Tab. A20: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Stroh-, Stroh N- und Stroh NEL-Ertrages der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Stroh-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2001 Stroh-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2002 Stroh-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Stroh-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	20,0	18,9	25,0	40,2	34,6	36,9	26,5	32,8
100	25,2	25,3	49,3	54,8	37,9	45,1	37,6	42,2
200	23,2	27,5	61,4	64,2	43,1	47,4	42,6	46,3
S.E.	1,46		3,4		13,6		3,7	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Stroh N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 Stroh N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 Stroh N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Stroh N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	1,88	0,66	8,11	17,71	12,69	9,65	5,05	3,39
100	10,41	12,67	9,48	26,87	11,60	15,69	13,54	15,27
200	11,32	18,69	14,87	40,29	26,36	34,91	21,71	26,81
S.E.	1,39		1,92		6,20		1,76	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Stroh NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2001 Stroh NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2002 Stroh NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Stroh NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	9,6	8,7	7,2	14,8	11,2	12,6	9,7	12,1
100	11,8	11,5	11,4	19,3	12,3	14,7	13,6	14,7
200	11,2	13,1	15,7	20,7	14,5	15,9	16,1	16,5
S.E.	1,1		1,2		4,7		1,5	

Tab. A21: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des Korn/Stroh-Verhältnis, Stroh -RP - und NEL-Gehaltes der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Korn/Stroh Verhältnis		2001 Korn/Stroh Verhältnis		2002 Korn/Stroh Verhältnis		2000-2002 Korn/Stroh Verhältnis	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	2,05	2,16	1,75	1,56	1,77	1,50	1,86
100	2,20	2,14	1,62	1,52	1,68	1,82	1,83	1,82
200	2,13	1,96	1,62	1,44	1,56	1,54	1,77	1,65
S.E.	0,06		0,09		0,20		0,08	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Stroh RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2001 Stroh RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2002 Stroh RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Stroh RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	0,56	0,25	1,79	1,55	2,32	1,53	1,36
100	2,61	3,17	2,16	1,66	1,89	2,19	2,22	2,37
200	3,07	4,21	2,74	3,75	3,87	4,57	3,23	4,14
S.E.	0,33		0,14		0,22		0,46	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 Stroh NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2001 Stroh NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2002 Stroh NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		2000-2002 Stroh NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	4,66	4,78	2,94	2,87	3,53	3,38	3,81
100	4,68	4,65	2,99	2,86	3,25	3,37	3,64	3,64
200	4,83	4,74	3,16	3,15	3,36	3,33	3,78	3,76
S.E.	0,09		0,09		0,06		0,60	

Tab. A22: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) der ährentragenden Halme und des N-Saldos der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	Ährentragende Halme [St m <sup>-2</sup> ]		Ährentragende Halme [St m <sup>-2</sup> ]		Ährentragende Halme [St m <sup>-2</sup> ]		Ährentragende Halme [St m <sup>-2</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	72	78	60	82	59	93	64	84
100	82	82	100	95	123	138	102	105
200	81	79	130	114	156	142	122	112
S.E.	3,0		8,0		6,0		3,0	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	-52,2	42,0	-76,6	-58,4	-83,0	-5,2	-71,3	18,9
100	-1,1	79,4	9,5	-60,2	-9,4	13,7	-24,0	49,8
200	96,4	159,7	36,0	39,2	23,1	44,3	20,2	94,7
S.E.	5,0		7,0		30,3		10,9	

Triticale N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
0	-0,98	1,02	-1,78	-0,18	-1,31	0,93	-1,52	0,38
100	0,04	1,57	-0,69	0,16	-0,10	0,57	-0,34	0,76
200	2,09	3,12	-0,55	0,22	0,65	0,94	0,29	1,30
S.E.	0,25		0,06		0,56		0,17	

Tab A23: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter TM-, N-, NEL-Ertrag, RP- und NEL-Gehalt des Korns und Strohs der Triticale

Varianzursache	Korn TM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				Korn N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				Korn NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	***	NS	NS	***	***	**	***	NS	***	NS	**
G*N	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	Korn N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				Korn RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				Korn NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	**	NS	***	**	**	NS	***	**	NS	*	NS	NS
G*N	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	NS	NS
Varianzursache	Stroh TM-Ertrag [dt TM ha <sup>-1</sup> ]				Stroh N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]				Stroh NEL-Ertrag [GJ NEL <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	**	NS	***	**	***	**	**	NS	***	NS	**
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Varianzursache	Stroh N-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				Stroh RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]				Stroh NEL-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	*	NS	NS	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
N-Düngung (N) Mineral	*	***	*	*	*	***	*	*	NS	NS	NS	NS
G*N	NS	**	**	**	NS	**	**	**	NS	NS	NS	NS

Tab A24: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter Tausendkorngewicht (TKG), Korn/Stroh-Verhältnis, Ährentragende Halme und N-Saldo der Triticale

Varianzursache	TKG [g]				Korn/Stroh-Verhältnis				Ährentragende Halme (St m <sup>-2</sup> )			
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*
N-Düngung (N) Mineral	*	NS	**	***	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	***
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	***
Varianzursache	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]				N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]							
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Gülledüngung (G)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
N-Düngung (N) Mineral	**	NS	NS	**	**	**	NS	**				
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				

Tab. A25: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des N-Saldos der Fruchtfolge in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

Fruchtfolge N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	105,1	107,5	144,3	158,6	167,0	177,3	143,9
75	126,7	138,3	182,7	191,6	194,7	211,9	168,1	185,9
150	141,2	141,1	223,6	236,3	197,7	239,1	191,7	208,8
S.E.	9,6		7,9		8,6		3,6	

Fruchtfolge N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 NEL-Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]		2001 NEL-Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]		2002 NEL-Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 NEL-Ertrag [GJ ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	56,1	55,3	59,0	70,6	71,5	73,3	58,0
75	59,4	67,8	77,0	80,3	82,5	87,0	68,0	70,2
150	61,1	62,1	88,7	90,2	76,4	87,3	67,9	71,8
S.E.	2,9		2,4		3,8		3,0	

Fruchtfolge N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
	0	-33,1	44,4	-41,8	9,0	-34,4	19,5	-27,0
75	-22,7	38,5	-5,8	65,9	-9,8	34,5	-9,3	53,7
150	36,3	119,8	23,6	99,4	36,0	68,4	28,6	102,4
S.E.	8,9		0,7		5,6		7,1	

Fortsetzung Tab.25

Fruchtfolge N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2001 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	0,49	1,59	-0,05	0,25	0,37	0,64	-0,46	0,44
75	-0,06	0,65	0,18	0,79	0,19	0,75	0,14	0,76
150	0,25	1,66	0,67	1,13	0,72	0,90	0,42	1,42
S.E.	0,30		0,18		0,13		0,10	

Tab A26: Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter N-, NEL-Ertrag und N-Saldo der Fruchtfolge

Varianzursache	N-Ertrag				NEL-Ertrag				2000	2001	2002	2000-2002
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002				
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Güledüngung (G)	NS	*	**	NS	*	**	NS	NS				
N-Düngung (N) Mineral	***	***	NS	**	NS	***	**	*				
G*N	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS				
Varianzursache	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]				N-Saldo [kg GJ NEL <sup>-1</sup> ]				2000	2001	2002	2000-2002
	2000	2001	2002	2000-2002	2000	2001	2002	2000-2002				
<b>Signifikanzniveaus</b>												
Güledüngung (G)	***	**	***	**	***	NS	**	***				
N-Düngung (N) Mineral	*	***	***	NS	NS	***	*	**				
G*N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				

Tab. A27: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des TM, N- und NEL-Ertrages der Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

GPS N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2001 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 TM-Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	/	/	64,4	95,2	55,2	85,4	77,7	99,8
100	/	/	129,4	139,0	129,1	139,1	114,0	143,3
200	/	/	166,5	161,1	149,9	136,6	143,6	147,1
S.E.			11,8		10,1		16,6	

GPS N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2001 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 N-Ertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	/	/	63,4	186,9	45,5	73,9	45,8	73,3
100	/	/	142,8	143,8	146,3	163,3	146,0	154,3
200	/	/	221,4	130,0	168,7	248,7	197,7	248,5
S.E.			33,7		27,4		14,0	

GPS N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ] Mineral	2000 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2001 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2002 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]		2000-2002 NEL-Ertrag [GJ NEL ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle	Gülle
0	/	/	38,7	82,7	30,1	45,1	34,8	43,5
100	/	/	71,4	62,0	74,5	77,4	71,4	76,9
200	/	/	87,4	66,0	72,3	85,7	81,2	89,8
S.E.			11,7		8,1		5,4	



Tab. A28: Mittelwerte und Fehler (LS MEANS/S.E.) des RP- und NEL-Gehaltes sowie des N-Saldos der Ganzpflanze der Triticale in Abhängigkeit der Gülle- und mineralischen N-Düngung (2000-2002).

GPS	2000		2001		2002		2000-2002	
	RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]		RP-Gehalt [% d. TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	/	/	5,52	7,79	5,50	6,07	4,1	5,73
Mineral	/	/	6,73	7,23	7,44	7,24	8,67	6,70
0	/	/	8,49	6,56	8,09	10,95	8,97	10,97
100								
200								
S.E.			0,59		0,50		1,3	

GPS	2000		2001		2002		2000-2002	
	NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]		NEL-Gehalt [MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	/	/	5,38	5,53	6,22	6,00	5,07	5,60
Mineral	/	/	5,37	5,45	6,13	5,56	6,87	5,35
0	/	/	5,34	5,39	5,67	6,02	5,94	6,37
100								
200								
S.E.			0,10		0,17		0,8	

GPS	2000		2001		2002		2000-2002	
	N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Saldo [kg ha <sup>-1</sup> ]	
	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle	0 m <sup>3</sup> Gülle	25 m <sup>3</sup> Gülle
N-Düngung [kg ha <sup>-1</sup> ]	/	/	-63,4	-186,9	-45,5	-73,9	-34,4	26,5
Mineral	/	/	-42,8	12,2	-46,3	42,7	-25,4	43,8
0	/	/	-21,4	126,1	31,3	57,3	22,7	61,6
100								
200								
S.E.			33,8		27,4		4,7	



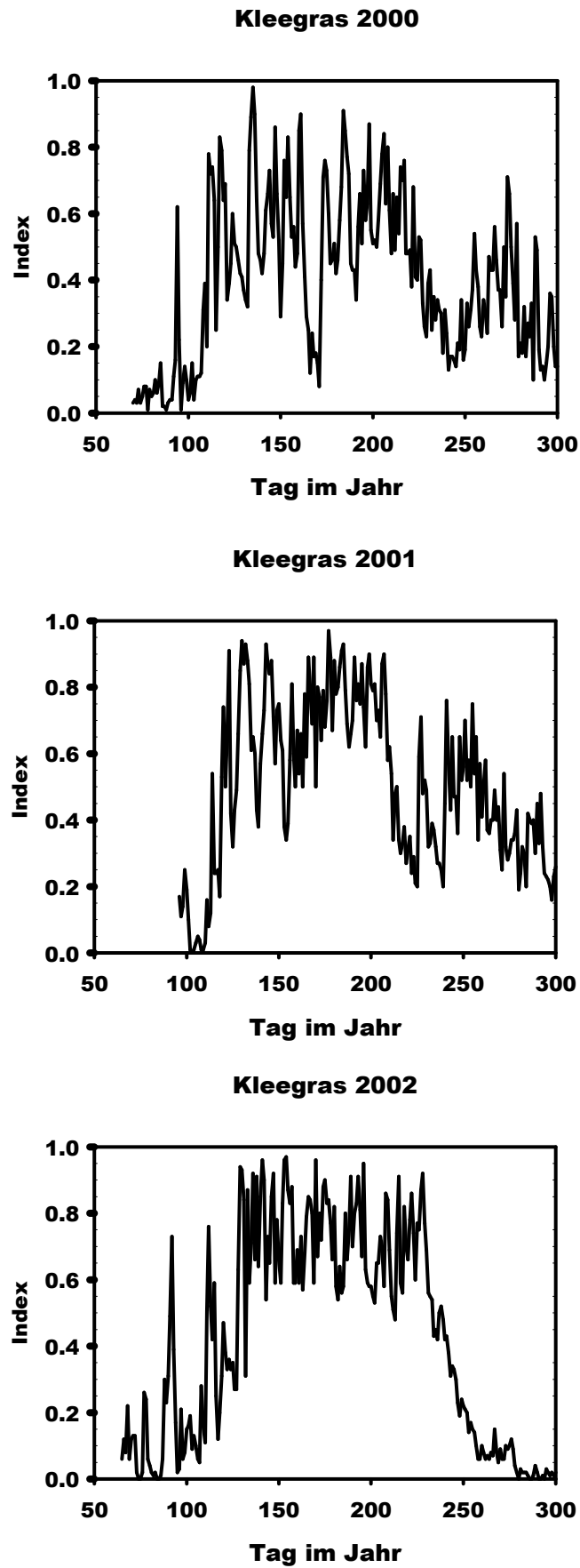


Abb. A1: Umweltindex, berechnet nach FOPROQ, für das Klee gras der Versuchsjahre 2000 bis 2002.

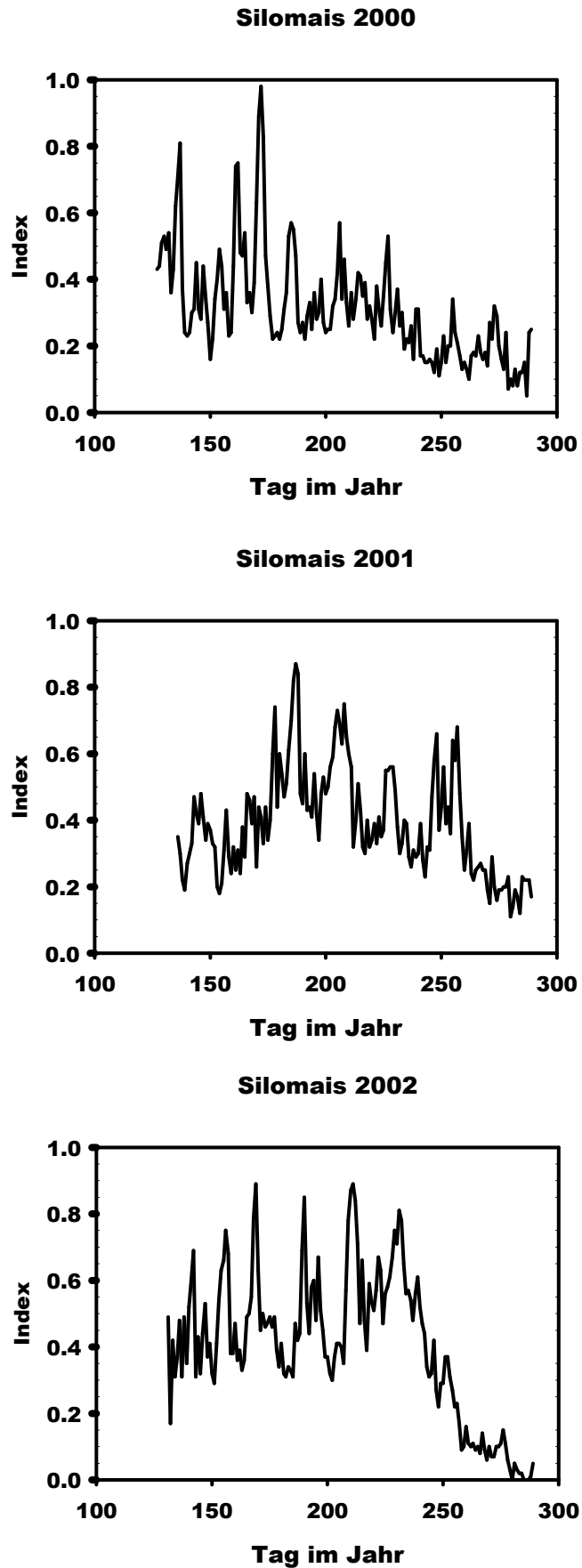


Abb. A2: Umweltindex, berechnet nach FOPROQ, für den Silomais der Versuchsjahre 2000 bis 2002.

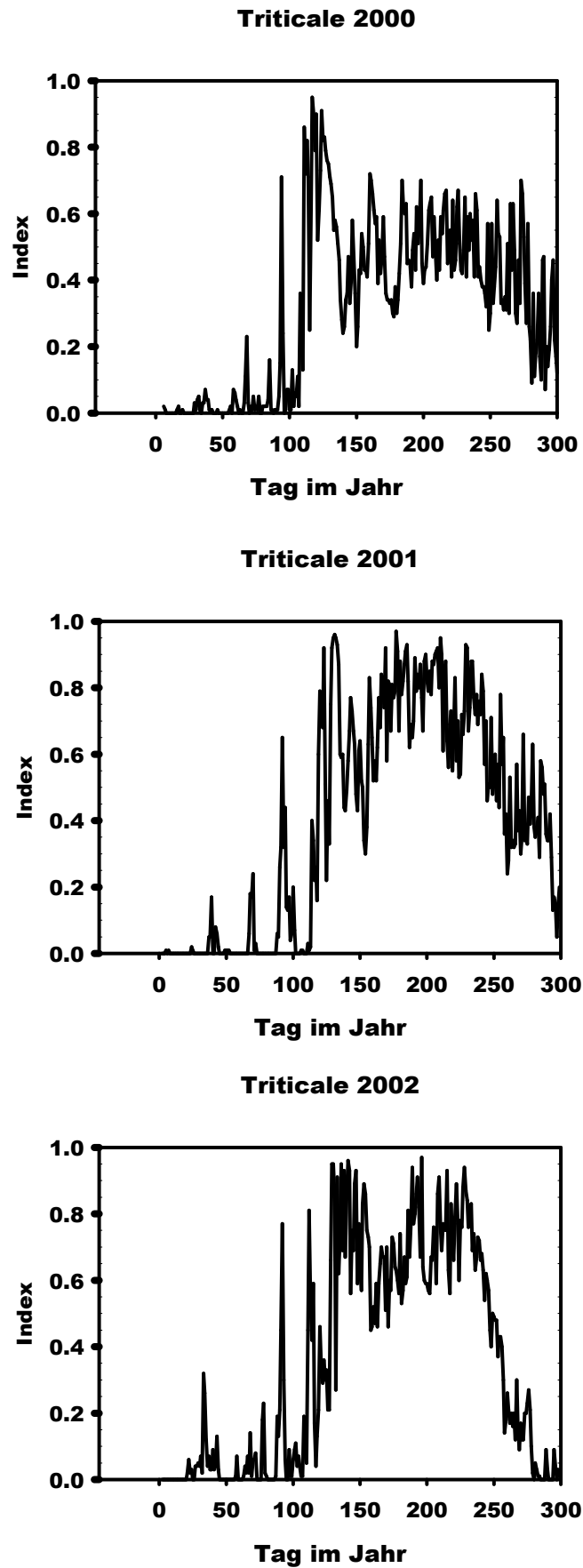


Abb. A3: Umweltindex, berechnet nach FOPROQ, für die Triticale der Versuchsjahre 2000 bis 2002.

Tab. A30: Regressionsfunktionen für Parameter der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (abhängige Variable, y), deren Funktionstyp mit Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>) und Standardfehler (S.E.) im Mittel der Versuchsjahre (S. 157 bis 159).

abhängige Variable und Funktionstyp	a	b	c	R <sup>2</sup>	S.E.
N <sub>2</sub> -Fixierung kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	146,32	-0,3751		56,6	20,6
N <sub>2</sub> -Fixierung kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nz	198,97	-0,3549		85,0	16,2
Klee gras Netto TM-Ertrag dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	58,66	0,1276		80,5	5,5
Klee gras Netto N-Ertrag kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	176,16	0,2212		79,5	9,8
Klee gras RP-Gehalt % d. TM y= a+b*Nt	18,85	-0,0137		58,8	1,0
Klee gras Netto NEL-Ertrag GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	41,78	0,0842		74,6	4,3
Klee gras NEL-Gehalt MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	7,20	-0,001		60,7	0,07
Klee gras N-Saldo mit N <sub>2</sub> -Fixierung und Exkrement-N kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	19,46	0,3863		69,1	22
Klee gras N-Saldo ohne N <sub>2</sub> -Fixierung und Exkrement-N kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-198,99	0,9127		92,0	22,9
Klee gras N-Saldo mit N <sub>2</sub> -Fixierung und Exkrement-N kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-0,1798	0,0061		69,0	0,35
Klee gras N-Saldo ohne N <sub>2</sub> -Fixierung und Exkrement-N kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-5,1516	0,0229		92,6	0,55
5. Aufwuchs Herbst RP-Gehalt % d. TM y= a+b*Nt	20,45	-0,0202		73,4	1,06
5. Aufwuchs N-Ertrag kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	42,34	-0,0009		2	2,65
5. Aufwuchs RP-Gehalt % EA <sup>-1</sup> y= a+b*EA %	11,93	0,1868		66,2	1,2
Catch-crop OM-Ertrag gesamt dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt+c*Nt <sup>2</sup>	19,91	-0,0164	0,0002	44,2	3,23
Catch-crop OM-Ertrag oberirdisch dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	11,51	0,0103		34,9	1,2
Catch-crop OM-Ertrag Wurzeln dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	7,10	0,0150		25,1	2,3

Catch-crop N-Ertrag gesamt kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	50,93	0,0365		17,3	6,9
Catch-crop N-Ertrag oberirdisch kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	33,47	0,0175		25,3	2,6
Catch-crop N-Ertrag Wurzeln kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	17,83	0,0151		5	5,6
Catch-crop N-Gehalt oberirdisch % d. TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	2,95	-0,0012		69,0	0,06
Catch-crop N-Gehalt Wurzeln % d. TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	2,20	-0,0012		32,2	0,15
Silomais TM-Ertrag dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	139,11	0,1284		85,8	3,61
Silomais N-Ertrag kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	168,43	0,1820		91,6	4,21
Silomais RP-Gehalt % d. TM y= a+b*Nt	7,55	0,0013		65,4	0,07
Silomais NEL-Ertrag GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	93,42	0,07		82,7	2,42
Silomais NEL-Gehalt MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	6,71	-0,0006		43,0	0,05
Silomais N-Saldo mit Klee gras-N kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-112,5203	0,8475		97,7	9,8
Silomais N-Saldo ohne Klee gras-N kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-164,74	0,8186		99,5	4,1
Silomais N-Saldo mit Klee gras-N kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-1,73	0,00867		99,9	0,01
Silomais N-Saldo ohne Klee gras-N kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-1,95	0,0090		99,5	0,01
Triticale TM-Ertrag Korn u. Stroh dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	73,77	0,1744		85,8	7,88
Triticale TM-Ertrag Korn dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	49,26	0,1031		77,9	6,11
Triticale TM-Ertrag Stroh dt ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	26,56	0,0713		94,7	1,87
Triticale N-Ertrag Korn u. Stroh kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	49,26	0,4841		82,5	2,48

Triticale N-Ertrag Korn kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	55,33	0,3994		81,5	21,2
Triticale N-Ertrag Stroh kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	2,37	0,08		85,6	3,86
Triticale RP-Gehalt Korn % d. TM y= a+b*Nt	7,09	0,0259		81,3	1,38
Triticale RP-Gehalt Stroh % d. TM y= a+b*Nt	0,725	0,0105		84,5	0,49
Triticale NEL-Ertrag Korn u. Stroh GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	77,25	0,1744		85,8	7,8
Triticale NEL-Ertrag Korn GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	41,26	0,0746		76,8	4,6
Triticale NEL-Ertrag Stroh GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	10,29	0,0248		92,8	0,77
Triticale NEL-Gehalt Korn MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	8,18	0,0005		54,1	0,04
Triticale NEL-Gehalt Stroh MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	3,73	0,0001		0,006	0,08
Triticale N-Saldo kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-70,26	0,5295		84,3	25,5
Triticale N-Saldo kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-1,25	0,0087		79,3	0,49
Fruchtfolge N-Ertrag kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	132,40	0,3137		88,9	9,75
Fruchtfolge NEL-Ertrag GJ ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	59,66	0,0596		81,0	0,05
Fruchtfolge NEL-Gehalt MJ NEL kg TM <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	6,45	0,0001		0,0013	0,22
Fruchtfolge RP-Gehalt % d. TM y=a +b*Nt+c*Nt <sup>2</sup>	9,21	-0,0011	0,00001	62,0	0,57
Fruchtfolge N-Saldo kg ha <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-50,76	0,5533		89,1	21,6
Fruchtfolge N-Saldo kg GJ <sup>-1</sup> y= a+b*Nt	-0,1256	0,0061		61,9	0,39

Nt: N-Düngung kg ha<sup>-1</sup> aus Mineraldünger und Gülle

Nz: N-Zufuhr kg ha<sup>-1</sup> aus Mineraldünger, Gülle, Exkrementen, Weideresten und Deposition

EA: Ertragsanteil Klee in %



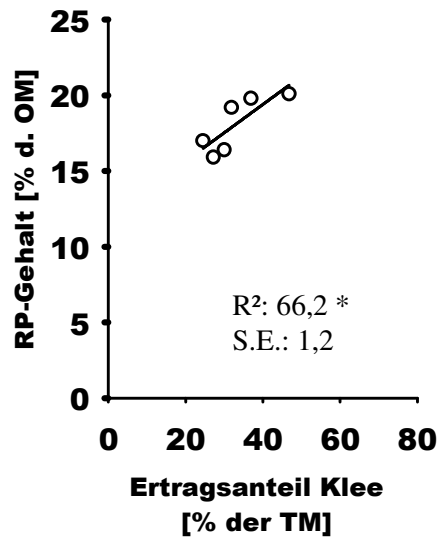


Abb. A4: Beziehung zwischen mittlerem RP-Gehalt im Klee gras und mittlerem Weißklee Ertragsanteil im Mittel der Versuchsjahre.



## **Kapitel 5**

### **Zusammenfassende Diskussion**

## 5. Zusammenfassende Diskussion

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Untersuchungen vor dem Hintergrund hoher N-Bilanzüberschüsse der intensiv wirtschaftenden Milchvieh-/Futterbaubetriebe in Schleswig-Holstein diskutiert werden. Für diese Betriebe sollen Wege zur Reduzierung der N-Überschüsse im Bereich der N-Düngung und der Nutzungssysteme aufgezeigt werden. Deshalb werden die Ergebnisse einmal unter dem Aspekt der optimalen N-Intensität in der Grundfutterproduktion als auch unter den Gesichtspunkten der N-Verwertungseffizienz, des N-Flächenbilanzsaldos und des Einflusses der N-Düngung auf ausgewählte Futterqualitätsparameter diskutiert.

### 5.1 Optimale N-Intensität der Grundfutterproduktion für Geeststandorte Schleswig-Holsteins

Die jährliche Datenerhebung durch die Rinderspezialberatungsringe (ANONYMUS, 2001) für die Effizienz des Stickstoff-Einsatzes in der Grundfutterproduktion in Schleswig-Holstein ergab für die Grassilageproduktion 2001 für ca. 770 Geestbetriebe, dass 40 % der Milchvieh-/Futterbaubetriebe durchschnittlich  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  in Form von Mineraldünger ausbringen. Zuzüglich der Gabe von  $22 \text{ m}^3 \text{ Gülle ha}^{-1}$  ( $3 \text{ kg N m}^{-3} \text{ Gülle}$ , 80 % N-Ausnutzung) wird ein maximaler Energie-Ertrag im Bereich von 51 bis  $54 \text{ GJ NEL ha}^{-1}$  erreicht (siehe Abb. 1). Eine weitere Steigerung der N-Düngung führte zu keinen wesentlichen Mehrerträgen im Energie-Ertrag. Hingegen erzeugten die Betriebe bei einer mineralischen N-Düngung von  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  und  $34 \text{ m}^3 \text{ Gülle ha}^{-1}$  zur Maissilageerzeugung einen Energie-Ertrag von  $67 \text{ GJ NEL ha}^{-1}$ . Im Vergleich der Kulturarten unserer Experimente zeigt sich die exponierte Leistungsfähigkeit

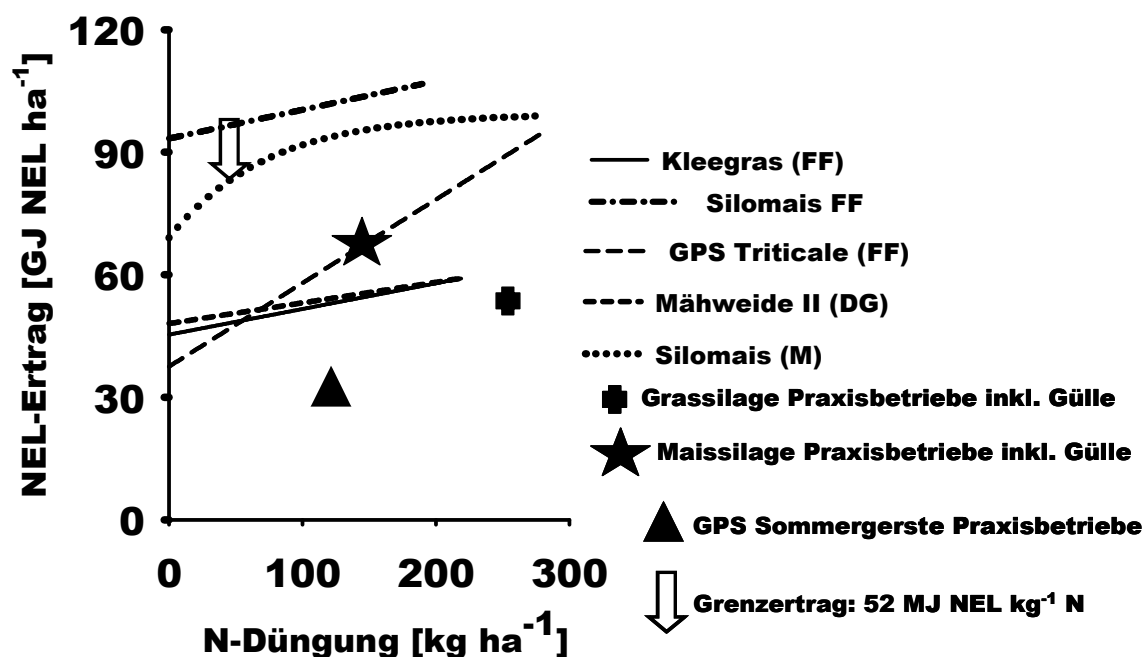


Abb. 1: Netto Energie-Ertrag der Kulturarten überjähriges Kleegras, Silomais und Ganzpflanze der Triticale, angebaut in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge (FF) sowie des Silomais ohne Untersaat in Monokultur (M) und Mähweide II des Dauergrünlandes (DG) bei variiertem N-Düngung auf humos-sandigen Böden Schleswig-Holsteins sowie die Energie-Erträge der Praxisbetriebe der Geest für Gras- und Maissilage sowie Sommergersten-Ganzpflanzensilage (Regressionsfunktionen siehe Tab. A1).

des Silomaises in Monokultur und der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (FF), insbesondere unter niedrigem N-Düngungsniveau. Unterstellt man einen optimalen Grenzertrag von ca. 52 MJ NEL kg<sup>-1</sup> N (LANTINGA et al. 1999), dann erreicht der Silomais in Monokultur diesen Grenzertrag bei einer N-Düngung von 50 bis 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Dieser N-Düngungsbereich wird auch in mehrjährigen Untersuchungen durch die Arbeiten von WULFES et al. (2000) und TAUBE et al. (1997) bestätigt. Der Faktor Untersaatenbau (siehe Kapitel 3, S.25) wirkt nach unseren Untersuchungen bei bedarfsgerechter N-Düngung nicht reduzierend auf den Energie-Ertrag. Ab einer Gesamt N-Düngung von 100 kg N ha<sup>-1</sup> ist der negative Einfluss der Untersaat auf den Energie-Ertrag zu vernachlässigen (< 5 %). Der Silomais nach Klee grasumbruch erzielte unabhängig von der N-Düngung Energie-Erträge zwischen 91 und 106 GJ NEL ha<sup>-1</sup>, so dass im ersten Jahr nach Klee grasumbruch aber auch nach Grünlandumbruch generell keine zusätzliche N-Düngung in Form von mineralischem N-Dünger oder Gülle erfolgen sollte, welches auch durch andere Arbeiten belegt wird (BERENDONK, 1998; HØGH-JENSEN & SCHJOERRING, 2001; NEVENS & REHEUL, 2002; VAN DIJK et al., 1996; VELTHOF & OENEMA, 2001).

Die Ergebnisse belegen für den Silomais in Monokulturanbau mit und ohne Untersaat im Vergleich zu den Praxisbetrieben, dass bei gleicher N-Düngungsintensität auf den Geeststandorten jedoch suboptimale Energieerträge erzielt werden. Das weist darauf hin, dass die Milchviehbetriebe das Ertragspotential des Standortes bzw. die N-Ausnutzung, besonders des Gülle-N, noch weiter steigern können, denn die Ergebnisse für die scheinbare N-Ausnutzung im Silomais der Monokultur bei langjähriger Güllendüngung liegen auf entsprechend hohem Niveau. Die Ausbringung mittels Schleppschlauch direkt vor der Saat und die nachfolgende sofortige Einarbeitung der Gülle reduziert die NH<sub>3</sub>-N-Verluste und erhöht dementsprechend das N-Angebot im Boden (DITTERT et al., 1999; MAIDL et al., 1999). Für den Silomais nach Klee grasumbruch ist keine zusätzliche N-Düngung notwendig, da dem Silomais der FF ein wesentlich höheres Angebot bodenbürtigen N zur Verfügung steht, als dem Mais in Monokulturanbau.

Unsere Untersuchungen auf dem Grünland belegen, dass eine Reduzierung der N-Intensität zu relativ geringen Einbußen im Energie-Ertrag führen. Das gilt insbesondere für typische Dauergrünlandnutzungsformen, wie die Mähweide II (MW II) (TROTT, 2003) des Dauergrünlandversuchs (DG) des „N-Projektes Karkendamm“, als auch für mehrjährige Ackerklee grasbestände (WILHELMY, 1993) bzw. für das überjährige Klee gras der FF. Der Grund liegt in der Etablierung des Weißklee s, der bei durchschnittlichen Kleeanteilen von 20 – 30 % etwa 60 bis 110 kg N ha<sup>-1</sup> (TROTT, 2003; WILHELMY, 1993) unter ungedüngten Bedingungen fixiert. Bei Reduzierung der mineralischen N-Düngung, aber unter Einbeziehung des Gülle-N treten nur geringe Reduktionen in den Netto-Erträgen auf, so dass es zu einer Substitution des mineralischen N durch legumen N kommt. Der überjährige Klee grasbestand der FF erreicht im Mittel der Aufwüchse und N-Düngung Kleeanteile von 43 %. Legt man eine Fixierungsleistung von 3,5 kg N pro Prozent Weißkleeanteil unter ungedüngten Bedingungen zu Grunde (TAUBE et al., 1995), dann können im Mittel der N-Düngung bis zu 150 kg N ha<sup>-1</sup> fixiert werden. Im Vergleich mit den Arbeiten von WILHELMY, (1993), LOGES et al. (2000), TROTT (2003) und LEDGARD (2001), wo Mengen zwischen 2 und 6 kg N pro Prozent Kleeanteil ermittelt wurden, ist die Schätzung der fixierten N-Menge auf Basis der von TAUBE et al. (1995) berechneten Fixierungsleistung von durchschnittlich 3,5 kg N pro Prozent Kleeanteil im unteren Bereich und führt zur konservativen Schätzung der fixierten N-Menge.

Bei dem vorgenommenen Vergleich mit den Praxisbetrieben sollten jedoch die TM-Verluste durch Schnittnutzung, Silierung und Werbung in Höhe von 8 % bis 30 % (KTBL, 1998; ZIMMER et al., 1993) berücksichtigt werden. Zur Erzielung hoher Erträge auf dem Grünland ist eine hohe Managementqualität erforderlich (INGWERSEN, 2002). So wurden die Bestände frühjahrsbetont gedüngt (strategische N-Düngung) und nach jeder Beweidung geputzt.

Weitere Maßnahmen zur Narbenerhaltung und -verbesserung im Dauergrünland sind das im Frühjahr durchgeführte Abschleppen, Striegeln und Walzen sowie die Nachsaat der Bestände. TROTT (2003) konnte generell für Dauergrünlandbestände unterschiedlicher Nutzungsformen deutlich machen, dass sich höhere Kleeanteile nur bei fehlender oder geringer N-Düngung mit deutlichen Unterschieden zwischen den Nutzungsformen realisieren lassen. Die Kleeanteile waren unter Weidenutzung im Vergleich zu den schnittgenutzten Beständen stark reduziert. Durch Integration von 2 Schnitten in ein Umtriebsweidesystem (Mähweide II) konnten die Kleeanteile deutlich verbessert werden. Bei Integration nur eines Schnittes konnte dieser Effekt nicht erreicht werden. TROTT (2003) und WACHENDORF (2002, a, b) berichten auch von jahreszeitlichen Schwankungen im Kleeanteil, aber auch von Schwankungen zwischen den Versuchsjahren, die trotz optimierten Managements auftraten. Die Kleeanteile des Kleegrases der FF unterlagen nicht diesen jahreszeitlichen Schwankungen, sondern zeigten innerhalb der Jahre die Abhängigkeit von der mineralischen N-Düngung, die frühjahrsbetont durchgeführt wurde, so dass die gedüngte N-Menge im Wesentlichen mit den ersten beiden Schnitten wieder geerntet wurde. Im Anschluss erfolgte die Beweidung des Kleegrases bei Kleeanteilen bis maximal 67 %, die mit steigender N-Zufuhr abnahmen. In den drei Versuchsjahren konnte der Kleeanteil der neuetablierten Bestände durch das Düngungsmanagement gleichmäßig aufgebaut werden, so dass eine Reduzierung der mineralischen N-Düngung zu einem verhältnismäßig schwachen Abfall der Netto-Erträge führte. Aus ökonomischer Sicht erfolgt die mineralische N-Düngung bis zum Erreichen des Grenzertrages. Für Schnittversuche bzw. Systeme mit mehr als zwei Beweidungen liegen die Grenzerträge bei etwa 52 MJ NEL kg<sup>-1</sup> N (LANTINGA et al., 1999; TROTT, 2003). Dieser Grenzertrag wird vom Klee gras der FF in dem geprüften Bereich der N-Düngung nicht erreicht. D.h., dass jegliche mineralische N-Düngung die Rentabilitätsschwelle im Bereich der ermittelten Energie-Erträge unterschreitet. Im Gegenzuge wird der Weißklee verdrängt und es findet keine überproportionale Substitution des mineralischen N durch legumen N statt.

Gelingt es also, den Weißklee in die vorherrschenden Nutzungssysteme des Dauergrünlands oder eines Klee grasbestandes im Ackerfutterbau der Geest zu etablieren, dann kann die N-Intensität bei nur geringen Ertragseinbußen erheblich reduziert werden.

Die Ganzpflanze (GP) der Triticale zeigte als abtragende Kulturart in der FF im Vergleich der anderen Kulturarten und Grundfutterproduktionssysteme eine hoch signifikante Abhängigkeit des NEL-Ertrages von der mineralischen N-Düngung. Unter ungedüngten Bedingungen erzielte die GP die geringsten NEL-Erträge, dem gegenüber reagierte die Triticale auf die Erhöhung der N-Düngung mit stärkeren Ertragszuwächsen im Vergleich zum Silomais und dem Klee gras der FF sowie der Mähweide II des DG. Der Halmfrucht Triticale steht nur noch ein geringes Mehrangebot bodenbürtigen N zur Verfügung, nachdem der Silomais das hohe N-Angebot nach Klee gras ausgenutzt hat. Ab einer Düngungshöhe von ca. 75 kg N ha<sup>-1</sup> stellt die Triticale eine Grundfutteralternative im Hinblick auf ihre Energie-Ertragsleistung gegenüber der Mähweide II und dem Klee gras dar. Ab einer N-Düngung von etwa 120 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht die GP der Triticale das Ertragsniveau der Maissilage aus den Praxisbetrieben der schleswig-holsteinischen Geest (Abb. 1). Die Geestbetriebe bauen im Gegensatz zur Marsch oder Ostküste in der Regel eine Sommerfrucht z.B. in Form der Sommergerste mit Untersaat an (ANONYMUS, 2001), wobei die Sommergerste bei der angegebenen N-Düngung nicht an die Leistung der GP der Triticale auch unter Berücksichtigung des Energie-Ertrages der Untersaat heranreicht. Die GP der Triticale der FF zeigt schon bei geringer N-Intensität eine Ertragsüberlegenheit gegenüber dem Grünlandnutzungssystem der Praxisbetriebe sowie der Mähweide II des DG, welches stellvertretend für das meist angewandte Grünlandnutzungssystem der Praxisbetriebe steht, und stellt somit auch eine Alternativfrucht hinsichtlich Senkung der N-Intensitäten und Hof torbilanzen dar.

Im Vergleich der Grundfutterproduktionssysteme (Kapitel 4, 5.1) wurden gleich hohe bzw. höhere NEL-Erträge für die FF in Abhängigkeit der N-Düngung ermittelt. Der Vergleich zeigt

erste Tendenzen auf, da der Weg der Berechnung unter der Voraussetzung vorgenommen wurde, dass die Standort- und Witterungsbedingungen und der Versuchsaufbau nahezu gleich sind (siehe Kapitel 4). Zu berücksichtigen ist, dass sich die Versuchsjahre in einem Jahr unterscheiden und die Standorte der Versuche auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm nicht identisch sind. Eine genauere Annäherung an die Ertragsleistungen und an die N-Bilanzüberschüsse beider Grundfutterproduktionssysteme bieten Simulationsmodelle. Dabei werden für alle Nutzungssysteme gleiche Witterungs- und Standortdaten unterstellt.

## 5.2 Reduzierung der N-Bilanzüberschüsse

In zahlreichen Arbeiten und Untersuchungen werden Möglichkeiten zur Reduzierung der N-Bilanzüberschüsse genannt (AARTS et al., 1999; JARVIS et al. 1996; PEEL et al., 1999; LEDGARD et al., 1999; Le Gall et al., 2000; SCHERINGER & ISSELSTEIN, 2000; SCHERINGER & ISSELSTEIN, 2002; TAUBE & PÖTSCH, 2001). Diese Vorschläge gehen im Wesentlichen auf folgende Ansätze zurück. Die Maßnahmen betreffen die Reduzierung der N-Bilanzüberschüsse auf der Fläche bzw. je Produkteinheit (Milch, Fleisch), um damit weitestgehend negative ökologische Effekte zu vermeiden. Zudem werden Änderungen im Betriebsmanagement angeführt, deren Aussagen sich überwiegend auf Modellberechnungen stützen (ANGER & KÜHBAUCH, 2000; ROTZ et al., 2002; WACHENDORF et al., 2003).

Der in Kapitel 4 gezeigte Vergleich des herkömmlichen Grundfutterproduktionssystems Mähweide II/Mais in Monokultur (Flächenaufteilung: 70 % / 30 %) mit der Ackerfutterbau-Fruchtfolge beschreibt u. a. die N-Flächenbilanzsalden. Es zeigt sich bei dieser Flächenaufteilung einen Vorteil der FF gegenüber dem herkömmlichen System bei extensiver und reduzierter N-Düngungsintensität. Die modellgestützten Untersuchungen (DAFOSYM) von ROTZ et al. (2002) belegen nicht nur eine höhere N-Effizienz im Milchvieh-/Futterbaubetrieb, wenn der Flächenanteil für Mais auf mindestens 50 % ausgedehnt wird, sondern auch, wenn die Weidehaltung reduziert wird. Die Flächenaufteilung der FF besteht zwar zu 66 % aus den Ackerfrüchten Mais und Triticale, doch nur der hohe Flächenanteil des Mais führt zu einer wirklichen Senkung der N-Flächenbilanzsalden. Die Sickerwasseruntersuchungen der FF dagegen schränken hinsichtlich der kritischen N-Fracht diese positive Einordnung ein, da für den Versuchszeitraum der FF geringere Sickerwassermengen (BOBE et al., 2004) im Vergleich zum Dauergrünland und Mais in Monokultur anfielen (BÜCHTER, 2003). Die kritische N-Fracht, bei dem der EU-Trinkwassergrenzwert (ANONYMUS, 1991) überschritten wird, schwankte je nach Teilversuch zwischen 18 und 26 kg N ha<sup>-1</sup>.

Die landwirtschaftlichen Betriebe sind seit Einführung der Düngeverordnung von 1996 (ANONYMUS, 1996) verpflichtet, eine Bilanzierung der Nährstoffe N, P und K entweder auf Basis der Hoftor- oder auf Feldbilanz darzustellen. In der Regel erfolgt die Darstellung auf den Milchvieh-/Futterbaubetrieben als Hoftorbilanz im Gegensatz zu den Feldbilanzen der Marktfruchtbetriebe. Vor dem Hintergrund, dass eine von der Viehdichte abhängige N-Saldo Obergrenze eingeführt wird, sollten die Milchviehbetriebe der Geest die produktionstechnischen Reserven des Pflanzenbaus zur Senkung der N-Flächenbilanzüberschüsse ausnutzen, um von derzeit ca. 160 kg N ha<sup>-1</sup> (ANONYMUS, 2001) auf unter 100 kg N ha<sup>-1</sup> zu gelangen. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die TM-Erträge der Kulturarten, die N-Verwertungseffizienz als auch die Beziehung zwischen N-Düngung (Gülle + Mineraldünger) und N-Saldo sowie N-Ertrag und N-Saldo. Die TM-Erträge nehmen in Abhängigkeit der N-Düngung in folgender Reihenfolge ab: Silomais FF – Mais in Monokultur – GP Triticale – Mähweide II – Klee gras (Quadrant I). So zeigen die Ergebnisse, dass der Silomais besonders nach Klee grasumbruch ein sehr hohes N-Angebot in einen höheren TM-Ertrag umsetzt als der Silomais in Monokultur oder die Triticale. Gerade der Silomais nach Klee grasumbruch bestätigt nochmals die Erwartung, dass diese Kulturart sehr

gut in der Lage ist, ein hohes N-Angebot in Form des mineralisierten N nach Kleegrasumbruch effizient zu verwerten. Der N-Beitrag durch Kleegrasumbruch bewirkt, dass der Einfluss der mineralischen N-Düngung bzw. der Gülledüngung überlagert wird. Dabei ist zu bedenken, dass im Vergleich zur Monokultur eine geringe Variation in der N-Düngungsintensität untersucht wurde. Die TM-Erträge für die GP der Triticale befinden sich auf dem Niveau des Silomais in Monokultur und zeigen ebenso die gute N-Verwertungseffizienz (VAN KEULEN & STOL, 1991) der Getreidefrucht auf diesem Standort an.

Im Vergleich dazu stellen die Ergebnisse aus dem Kleegras der FF und der Mähweide II des DG (TROTT, 2003) eine viel geringere N-Verwertungseffizienz dar. Betrachtet man dieses auch unter dem Blickwinkel des N-Saldos in Abhängigkeit der N-Düngung bzw. des N-Ertrages, dann lässt sich feststellen, dass beweidete, kleereiche Grünlandbestände sogar unter ungedüngten Bedingungen keine ausgeglichenen N-Flächenbilanzsaldo aufweisen. Dieses liegt zum Einen an der nur geringen Umsetzung (7 %) des aufgenommenen N durch weidendes Jungvieh in Form von Zuwachs (LANTINGA et al., 1987). Zum Anderen wird bei der Berechnung des N-Saldos der fixierte N durch die Leguminosen mittels eines Tabellenwertes pauschal in Höhe von  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  angenommen. Die Ergebnisse in Kapitel 4 über die Fixierungsleistung des Kleegrases oder die der Dauergrünlandbestände (TROTT, 2003) zeigen jedoch die große Diskrepanz zwischen dem pauschal angenommenen Wert nach Düngeverordnung und den ermittelten Werten der Feldversuche besonders unter ungedüngten Bedingungen.

In dem FF-Versuch (Kapitel 4) wurden ebenfalls die N-Mengen, die in Form der Weidereste anfallen, erfasst. Es stellt sich heraus, dass die mit den Weideresten auf der Fläche verbliebenen N-Mengen nicht von der N-Düngung beeinflusst wurden. Im Mittel der Jahre und N-Intensitäten kommen  $53 \text{ kg N ha}^{-1}$  über die Weidereste zurück auf die Fläche. Auch diese Größe wird nicht bei der Bilanzierung nach Düngeverordnung berücksichtigt und führt zu einem scheinbar niedrigeren N-Flächenbilanzüberschuss. Es ist ferner zu beachten, dass die Weidereste zur Erzielung optimaler tierischer Leistungen 20 % nicht unterschreiten sollen, aber aus Sicht der effizienten Ausnutzung des gedüngten N bei Umtriebsweide im Bereich von 20 bis 25 % liegen sollen (AARTS et al., 1992; STORM, 2001). Ebenso sollte der jährliche N-Eintrag über die Deposition von  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  (WELLBROCK, 2002) berücksichtigt werden.

Der von ECKERT et al. (1999) vorgeschlagene Belastungsindikator N-Saldo gibt einen Spielraum von  $-50$  bis  $+50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  an und zeigt auf, dass eine N-Düngung des Kleegrases unter Berücksichtigung der Deposition, der N-Fixierung und des Exkrement-N bis zu einer Höhe von  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  erfolgen dürfte. Zu diesem Ergebnis kommt auch TROTT (2003) für die Mähweide II des DG. Dieser N könnte dann auch in Form der Gülle fallen. Laut den Richtwerten der Düngung (ANONYMUS, 2003) wird zur Zeit eine N-Düngungshöhe in mineralischer und organischer Form von 140 bis 160 (Niedermoorstandorte) bzw. 220 bis 280  $\text{kg N ha}^{-1}$  (Mineralstandorte) für gräserreiche Mähweiden mit 2 Schnitten und nachfolgenden 2 bis 3 Beweidungen angegeben. Laut Richtwerten ist diese Empfehlung aber unter Berücksichtigung der Weißkleeanteile und der N-Ausnutzung aus der Gülle zu modifizieren.

Die N-Bilanzsalden der Triticale in Form der Korn- und Stroherträge bzw. der GP weisen außer unter ungedüngten Bedingungen ( $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) keine quantitativen Unterschiede auf (Vgl. Kapitel 4, 4.3.2, Tab. A30). Das zeigt, dass unter den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen im Bereich von der extensiven bis zur intensiven N-Düngungsintensität beide Formen der Nutzungen keinen Einfluss auf die Höhe des Flächenbilanzsaldos besitzen. Bei der Betrachtung der Hoftorbilanz können Korn und Stroh ohne innerbetriebliche Verwertung den Betrieb verlassen und tragen dazu bei, dass der betriebliche N-Bilanzüberhang sinkt.



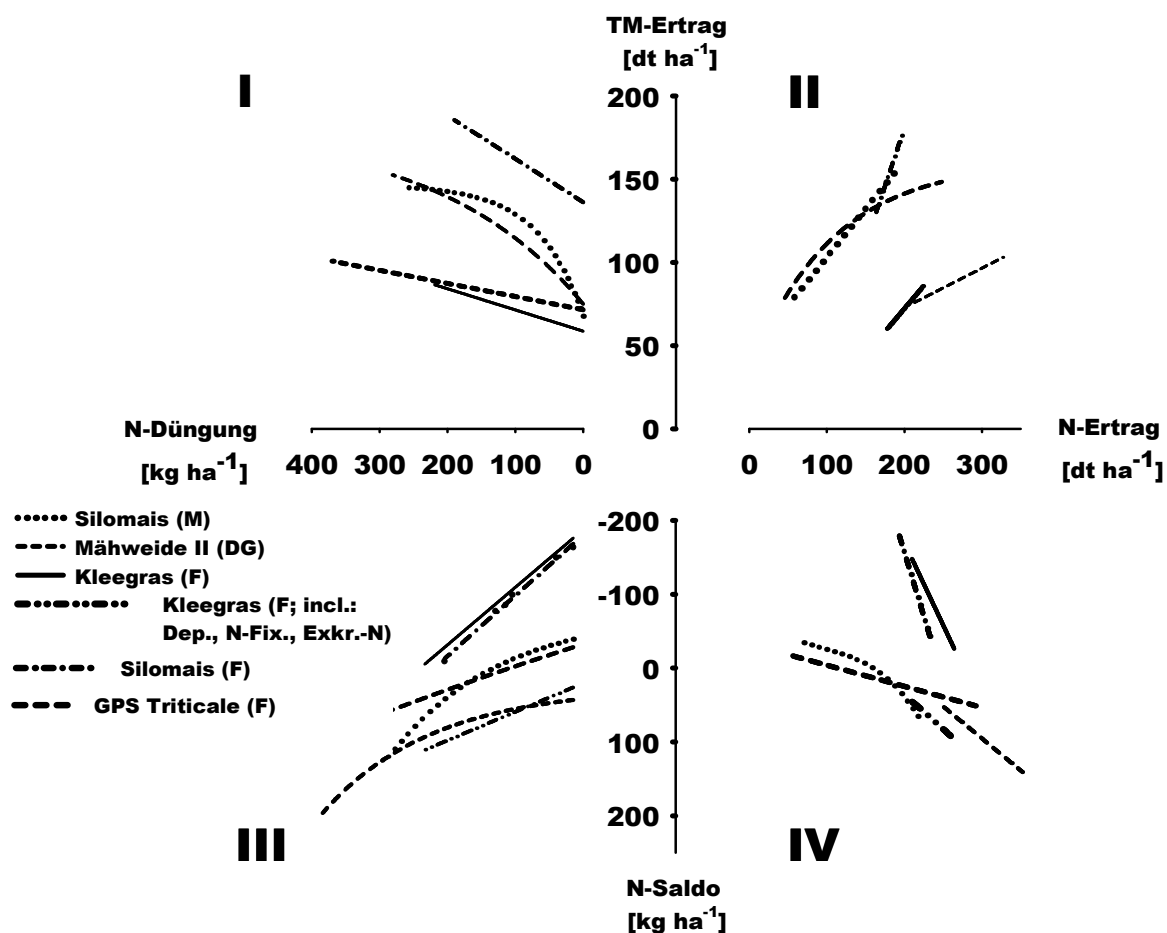


Abb. 2: TM-Ertrag in Abhängigkeit der N-Düngung (Gülle + Mineral) (I), N-Verwertungseffizienz (II), N-Saldo in Abhängigkeit der N-Düngung (III) und N-Saldo in Abhängigkeit des N-Ertrags (IV) für die Kulturarten Mais in Monokulturanbau, Kleegras, Silomais und Ganzpflanze der Triticale der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (F) sowie der Mähweide II des Dauergrünlandes (DG) (Regressionsfunktionen siehe Anhang A1 ff).

Die Ergebnisse aus der Sickerwasseruntersuchung des DG von BÜCHTER (2003) belegen einerseits, dass die vertikalen N-Verlagerungen im Vergleich zur ausschließlichen Beweidung wirkungsvoll reduziert werden können, wenn mindestens zwei Schnitte in die Bewirtschaftung integriert werden. Andererseits über den Weißklee unter ungedüngten Bedingungen auch bei zweimaliger Schnittnutzung so viel N fixiert wird, dass der EU-Trinkwassergrenzwert von 50 mg l<sup>-1</sup> trotzdem überschritten wird. Hingegen können BOBE et al. (2004) für das Kleegras der FF aus drei Sickerwasserperioden ableiten, dass die NO<sub>3</sub>-Konzentrationen trotz der hohen N-Salden über den gesamten N-Intensitätsbereich unter dem EU-Trinkwassergrenzwert liegen. Sie erklärt es mit den geringeren N-Akkumulationen nach einjähriger Nutzung und der „catch crop“ Funktion des Kleegrases, d. h. insbesondere die Unterlassung der Herbstbeweidung. Die NO<sub>3</sub>-Konzentrationen könnten aber auch durch geringere Sickerwassermengen im Vergleich zum Dauergrünland bzw. dem möglicherweise höheren Denitrifikationspotential umgebrochener Grasbestände (VAN DEN POL-VAN DASSELAAR et al., 2002) beeinflusst worden sein. Niederländische Untersuchungen beschreiben eine höhere NO<sub>3</sub>-Auswaschung unter Grünland, die besonders durch die herbstliche Beweidung verursacht wird. Das Kleegras der FF dagegen wird nur bis zur zweiten Septemberdekade beweidet, der nachfolgende 5. Aufwuchs bleibt ungenutzt („catch crop“) und unterliegt nicht der sehr geringen N-Verwertung durch das weidende Jungvieh. Insofern untermauern diese Ergebnisse die niederländischen Erkenntnisse, dass eine

Unterlassung der Beweidung im Herbst zu einer Reduzierung der vertikalen N-Verlagerungen führt. BÜCHTER (2003) sowie WACHENDORF et al. (2004) konnten für drei Sickerwasserperioden unter Dauergrünland eine kritische N-Fracht von 23 kg N ha<sup>-1</sup> ermitteln, bei dem der EU-Trinkwassergrenzwert überschritten wird. Sie fanden eine enge Beziehung zwischen dem N-Saldo und den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sowohl für das Dauergrünland mit den verschiedenen Nutzungssystemen, mit und ohne Weißklee, als auch für die Daten aus dem Silomaisanbau in Monokultur bei einer hohen Variation der N-Düngung. Hierbei konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass zum Einen bei Untersaatanbau die N<sub>min</sub>-Werte im Herbst reduziert wurden. Zum Anderen lagen die NO<sub>3</sub>-Konzentrationen des Sickerwassers und des Grundwassers (BOBE et al., 2003) im Herbst/Winter über den gesamten N-Intensitätsbereich unter dem EU-Trinkwassergrenzwert. Die Untersaat trägt in der Funktion als „catch crop“ wirkungsvoll dazu bei, dass restliche NO<sub>3</sub>-Mengen, die im Wesentlichen im August/September noch mineralisiert werden, in organischer Biomasse (catch crop) in Höhe von ca. 58 kg N ha<sup>-1</sup> gebunden werden. Es konnte mittelfristig kein positiver Effekt der Untersaat auf die N-Versorgung des Silomaises in Form einer N-Akkumulation im Boden festgestellt werden, wodurch die N-Düngungsintensität hätte reduziert werden können. BOBE et al. (2004) zeigen für den Silomais der FF im Gegensatz zum Mais in Monokultur über dem EU-Trinkwassergrenzwert gemessene NO<sub>3</sub>-Konzentrationen und erhöhte N<sub>min</sub>-Werte im Herbst/Winter ab einer N-Düngung (Gülle) von 78 kg N ha<sup>-1</sup>. Obwohl der N-Saldo, der ohne Berücksichtigung der aus der gesamten organischen Biomasse kommenden N-Menge von 55 kg N ha<sup>-1</sup>, im Bereich von -144 bis 11 kg N ha<sup>-1</sup> liegt, dieses nicht anzeigt. Andere Autoren weisen ebenso auf die über den Bedarf des Silomaises hinausgehende N-Freisetzung nach Kleeergrasumbruch hin (HØGH-JENSEN & SCHJØERRING, 2001; NEVENS & REHEUL, 2002). Die Ergebnisse zeigen, dass in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge mit Kleeergrasanbau der N-Saldo der einzelnen Kulturart Silomais bzw. Kleeergras keine quantitative Aussagekraft im Hinblick auf die Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Einzelkultur besitzt, jedoch die gesamte FF ein adäquates Instrument zur Identifizierung von Belastungen darstellt.

So ist der Untersaatanbau im Silomais der FF ein denkbare Mittel, um die vertikalen N-Verluste nach Kleeergrasumbruch zu mindern. Eine weitere Möglichkeit wäre die optimalere räumliche Verteilung der Silomaispflanzen zur Steigerung der Nährstoff- und Wassereffizienz. Untersuchungen im norddeutschen Raum von TAUBE et al. 1992, WULFES et al. (2001) und RIECKMANN et al. (2003) zum Einfluss des halbierten Reihenabstandes, der Bestandesdichte und der Sorte auf sandigen Böden Schleswig-Holsteins berichten von einem N-Mehrertrag von bis zu 15 kg N ha<sup>-1</sup> bei halbiertem Reihenabstand, verstärkt wird dieser Effekt, wenn die Bestandesdichte reduziert wird. WULFES et al. (2001) konnte feststellen, dass der Kompakttyp (Sorte: Naxos) im Vergleich zum Restpflanzentyp (Sorte Achat) bei höheren Bestandesdichten noch in der Lage ist, den halbierten Reihenabstand in Ertrag umzusetzen bei gleichzeitig geringerem Energieverlust. Der halbierte Reihenabstand führte aber zu hoch signifikant niedrigeren Energiegehalten bzw. Stärkegehalten. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der N-Verluste wäre die pfluglose Bestellung der Triticale und des Kleeergrases. Denn auch hier wurden mit der N-Düngung zunehmende NO<sub>3</sub>-Konzentrationen festgestellt, die auf den Mineralisationsschub durch das Pflügen bzw. auf die restliche Vorfruchtwirkung zurückgeführt werden können (BOBE et al., 2004; NEVENS & REHEUL, 2002). Die jährliche N-Mineralisierungsrate ist abhängig vom Standort (Boden, Klima) und der Bodennutzung. Sie beträgt ca. 1-3 % des organisch gebundenen Boden-N bei Grünland. Das sind ca. 40-120 kg N ha<sup>-1</sup> und a<sup>-1</sup> vor Grünlandumbruch. Nach Grünlandumbruch steigen die Werte etwa um das Doppelte (LÜTKE ENTRUP, 2000). Die ungedüngten Parzellen der nicht legumen Kulturarten zeigen die Variation der jährlichen Nettomineralisation („nitrogen supply of the soil“) an. Bei dieser Vorgehensweise werden N-Verluste über Auswaschungen bzw. gasförmige Verluste

vernachlässigt bzw. die Vorfruchtwirkung des Kleegrases bzw. der Untersaatanbau sind zu berücksichtigen und führen zu insgesamt höheren N-Nachlieferungen.

### **5.3 Auswirkungen einer reduzierten N-Düngungsintensität auf ausgewählte Futterqualitätsparameter**

Bei der Betrachtung der Qualitätsparameter ist zu beachten, dass unter Versuchsbedingungen keine TM-Verluste bzw. Qualitätsverluste durch die Bergung bzw. Silierung entstehen, da die Proben per Hand geerntet und im Labor sofort weiter verarbeitet werden. Die Verluste bei der Silagebereitung lassen sich in die Feld- und in die Silierverluste trennen. Das normale Ausmaß dieser Vorgänge ist bei gelungener Konservierung relativ gering, so dass die Energiekonzentration und der Gehalt an verdaulichem Protein sich nur durch ca. 5 % von den entsprechenden Werten des Grünfutters (WEIBBACH, 1993) unterscheiden. Der TM-Verlust auf dem Feld bei günstigen Witterungsbedingungen beträgt 6 % bzw. durch Gärungsprozesse im Silo 5 % und belaufen sich zusammen auf ca. 11 %. Voraussetzung einer an den Nährstoffansprüchen der Nutztiere orientierten Fütterung sind beste Silagen. Entscheidend ist hierbei, dass die Qualität bis zur Futteraufnahme gewährleistet ist. Silagen geringer Futterqualität (Energie-, Rohproteingehalt, Strukturwert, Mineral- und Wirkstoffgehalte, Gärqualität, hygienische Beschaffenheit, Stabilität) führen zu einem vermehrten Einsatz von Zukaufsfuttermitteln insbesondere Kraftfutter, welches zu einer Erhöhung der N-Hoftorbilanzsalden beiträgt (SCHELLBERG et al., 2002; STORM, 2001) und ohne Ausgleich durch Leistungsfutter zu einer Verminderung der tierischen Leistung und somit zu einer Erhöhung der N-Überschüsse pro erzeugter Produkteinheit (Fleisch, Milch) führt.

Der Einfluss der Faktoren Gülle- und mineralischer N-Düngung auf die Höhe des NEL-Gehaltes der betrachteten Kulturarten unterscheidet sich in der Weise (Abb.3), dass eine Reduzierung der mineralischen N-Düngung im Silomais der Monokultur einhergeht mit einer stärkeren Güllewirkung bei hoch signifikant niedrigeren NEL-Gehalten der Silage. Im Silomais der FF führte die Reduzierung der mineralischen N-Düngung zu einer signifikanten Abnahme der NEL-Gehalte. Die Energie-Gehalte des Silomaises der FF liegen aber auf einem höheren Niveau als in der Monokultur und die signifikante Abnahme der Gehalte umfasst einen nicht relevanten Bereich. Die NEL-Gehalte der Mähweide II des DG zeigen eine signifikante Abhängigkeit von dem Bewirtschaftungssystem in Interaktion mit der mineralischen N-Düngung in der Weise, dass die höchsten NEL-Gehalte bei reiner Beweidung ermittelt wurden, und diese mit zunehmender Integration von Schnitten abnahmen. Die Unterschiede zwischen den Systemen liegen aber nur bei 0,2 MJ NEL kg<sup>-1</sup> TM. Mit zunehmender N-Düngung sinken die NEL-Gehalte nur geringfügig ab. Hingegen heben sich das Klee gras als auch die GP der Triticale sehr stark von den Ergebnissen des Silomaises und der Mähweide II ab. Die NEL-Gehalte des Klee grasses lagen im Mittel der Jahre und Aufwüchse auf Grund der hohen Weißkleeanteile auf einem verhältnismäßig hohen Niveau. Die Reduzierung der N-Düngung führt zu keiner signifikanten Reduktion des Energie-Gehaltes in der TM. Dagegen stellen sich die NEL-Gehalte der GP der Triticale als die niedrigsten dar. Die Triticale erweist sich im Einklang mit den Ergebnissen von KIRCHGESSNER et al. (1989) und PAHL (1992) als ein relativ proteinarmes, wiederkäuergerechtes Grundfutter mittlerer Energiedichte, aber es werden wie beim Silomais in Monokultur unter ungedüngten Bedingungen unterdurchschnittliche NEL-Gehalte erreicht. Die NEL-Gehalte der GP steigen zwar mit steigender N-Düngung an, doch konnte hier auf Grund einer hohen Streuung der Werte (S.E: 0,8 MJ NEL kg<sup>-1</sup> TM) keine Signifikanz für die Faktoren Gülle- und Mineraldüngung ermittelt werden.

Die RP-Gehalte der untersuchten Kulturarten können in zwei Gruppen aufgeteilt werden. Auf der einen Seite das relativ proteinreiche Klee gras bzw. Mähweide II und auf der anderen Seite der relativ proteinarme Silomais der Monokultur und FF bzw. die GP der Triticale. Dabei unterscheiden sich der Silomais der FF und der Mais-Monokultur stark hinsichtlich ihrer RP-Konzentrationen. Weist der Mais der Monokultur unter suboptimaler N-Düngung bis  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  RP-Gehalte bis ca. 6 % i. d. TM auf, wird bei höherer N-Düngung ein RP-Gehalt von 6,5 bis 7 % erreicht. RP-Gehalte in diesem Wertebereich sind notwendig um 90 bis 100 % des maximalen TM-Ertrages zu erreichen. HERRMANN & TAUBE (2005) definierten u. a. auch mittels der Silomaisbestände der Monokultur auf Karkendamm und zwei weiterer Standorte (Schuby und Ostfeld) eine „kritische Rohprotein-Konzentration von 6,5 % für das Stadium der Silomaisreife. Der Silomais der FF weist über den gesamten N-Düngungsgradienten RP-Gehalte höher 7,5 % i. d. TM auf. Dieses weist auf die hohe N-Nachlieferung aus dem Klee gras-Umbruch unter ungedüngten Bedingungen hin und signalisiert eine N-Übersorgung der Bestände.

Die hohe durchschnittliche Energiedichte des Klee grasses ist auf die frühe Nutzung (2. Maidekade) des ersten Schnittes und auf die hohen Anteile des Weißklee während der Beweidung (3. und 4. Aufwuchs) zurückzuführen. Weißklee zeichnet sich im Vergleich zu Gräsern durch eine höhere Verdaulichkeit der organischen Masse und höhere Futteraufnahme (FLACHOWSKY et al. 1999) aus, die mit zunehmender Alterung nur wenig zurückgeht und damit zu einer höheren Nutzungselastizität von Grünlandbeständen mit Weißklee führt (LEX, 1992). Die signifikant höheren RP-Gehalte bei geringerer N-Intensität ( $0 - 85 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) resultieren aus den bei geringer N-Intensitätsstufe der ungedüngten 3. und 4. Aufwüchse hohen RP-Gehalte ( $> 23 \%$ ) und aus den dann sehr hohen Weißklee EA von im Durchschnitt 43 % (VOLKERS et al., 2002). Allerdings weisen LEDGARD et al. (1990), LEX (1992), VAN EEKEREN (2000) und VAN VUUREN et al. (1994) auf die negativen Auswirkungen eines möglichen RP-Überschusses bei der Verfütterung von weißklee haltigem Futter an Wiederkäuer hin. Doch wiesen die Jungtiere bei der Beweidungen des Klee grasses in allen

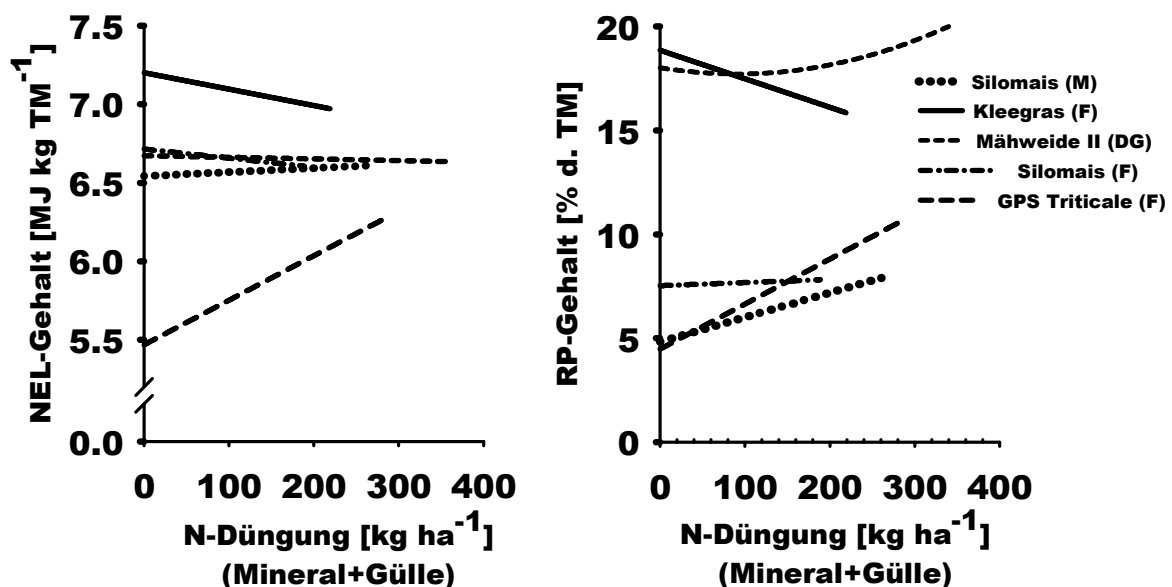


Abb.3: Energie- und RP-Gehalt des Silomais in Monokultur (M), der Kulturarten Silomais, Klee gras und Ganzpflanzensilage (GPS) der Triticale der Ackerfutterbau-Fruchtfolge (F) sowie der Mähweide II des Dauergrünlandversuches (DG) (TROTT, 2003) in Abhängigkeit der N-Düngung (Regressionsfunktionen siehe Tab. A6, A7).

Versuchsjahren keinerlei fütterungsbedingte Beeinträchtigungen auf. Ein weiterer Grund für das hohe Energieniveau des Kleeegrases besteht darin, dass jedes Jahr ein neu etablierter Bestand vorhanden gewesen ist. Hatte das Dauergrünland, besonders die Mähweiden hohe Anteile an Löwenzahn bei Reduzierung der N-Düngung bzw. Quecke bei hoher N-Düngungsintensität (TROTT, 2003), ist der Anteil unerwünschter Gräser und Kräuter in den Klee grasbeständen vernachlässigbar gering gewesen.

HERRMANN et al. (2001b) konnten für Getreide-Ganzpflanzensilage nachweisen, dass bei Anhebung der Schnitthöhe eine effektive Verbesserung der Verdaulichkeit als auch des RP-Gehaltes von Wintergerste möglich ist. Des Weiteren ist neben der Ertragsstruktur (Korn/Restpflanzen-Verhältnis) der optimale Erntezeitpunkt ein wesentliches Kriterium, um eine hohe Futterqualität zu erreichen. HERRMANN et al. (2001b) konnten für Wintergerste das Stadium der Teigreife als den optimalen Erntezeitpunkt bestimmen. Untersuchungen von VAN DEN POL-VAN DASSELAER et al. (2000) an Triticale GPS in Belgien und den Niederlanden zeigen, dass der optimale Erntezeitpunkt das Stadium der Teigreife (EC 87) mit TM-Gehalten von 40 % ist. Auch im Silomais kann durch Hochschnitt (Stoppellänge 45 bis 55 cm) die Futterqualität verbessert werden (KRUCZYNSKA et al., 2002; LEWIS et al., 2004).

Die obigen Ausführungen machen u.a. deutlich, wie wichtig der optimale Erntezeitpunkt zum Erreichen hoher Futterqualitäten ist. So wurde für die Praxis in den 80er Jahren die sogenannte „Reifeprüfung Grünland“ in Schleswig-Holstein, ein für Dauergrünlandbestände entwickeltes Modell (FOPROQ) zur Ertrags- und Futterqualitätsentwicklung mit Hilfe von Witterungsdaten, erstellt (GÜNTHER, 1990; KORNER et al., 1991). Nach Einführung dieser Vorhersage in die Praxis haben sich die Futterqualitäten der silierten Grünlandbestände in Schleswig-Holstein erheblich verbessert (ANONYMUS, 2001). Aber auch für Getreide-Ganzpflanzen wurde ein entsprechendes Modell (HERRMANN et al., 2000) sowie für den Silomais das Modell FOMAQ (KORNER et al., 1991) zur Schätzung des optimalen Erntetermins entwickelt. Eingebunden in die Schätzung der Futterqualität (Energie, Rohprotein) ist auch die Entwicklung von geeigneten Schätzgleichungen für die Futterqualitätsanalyse per NIRS. Besonderes Anliegen ist es, mit dem entwickelten Modell die Ertragsbildung als auch die Abreife-Entwicklung mit den entsprechenden Futterqualitäten abzubilden. Mit Hilfe der NIRS ist es kosten- und zeitsparend bei gleichzeitig guter Übereinstimmung zur Referenzmethode möglich, geeignete Kalibrationsgleichungen zu erstellen (Kapitel 2). Bei der Schätzung der NEL- und RP-Gehalte besonders für das vegetative Maismaterial der Monokultur mittels der Schätzgleichungen für siloreife Bestände traten 1997 zu hohe Schätzfehler der Kalibrationen für Proben aus dem Zuwachs bis zum Blütenbeginn (EC 61) auf, so dass es nötig war, getrennt für vegetatives und generatives Maismaterial Schätzgleichungen zu entwickeln. Mit jedem weiteren Jahr der Kalibrierung der Schätzgleichungen wurden wesentlich weniger Proben benötigt, um die spektrale Variation abzubilden.

Eine angemessene N-Verwertung durch das Tier ist nicht nur mit hohen Grundfutterqualitäten zu erreichen, sondern auch die Gestaltung der Grundfütterration ist ein entscheidendes Kriterium, um eine hohe N-Verwertung durch das Tier zu erreichen. Die Kombination des Grundfutters in Form einer nach Energie und nutzbarem Rohprotein sowie Vitaminen und Mineralstoffen ausbalancierten Ration, sowohl im Sommer mit Weidegang als auch im Winter, führt zu einer besseren N-Verwertung beim Wiederkäuer, und damit zu geringeren N-Ausscheidungen über Milch, Kot und Urin (BOCKMANN et al., 1996; SCHILS et al., 1998; VAN EEKEREN, 2000), besonders vor dem Hintergrund hoher RP-Gehalte in kleereichen Grünland- bzw. Ackergrasbeständen. Als besonders günstig erweist sich dann der Einsatz von proteinarmen aber stärkereichem Grundfutter in der Wiederkäuerration wie der Ganzpflanzensilage aus Mais oder einer Getreidefrucht (LOOSE et al., 1999).

#### 5.4 Praktische Implikationen der Versuchsergebnisse für die Milchvieh-/Futterbaubetriebe Schleswig-Holsteins

Mit den Optimierungen der Futterbaupflanzenproduktion im herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem bzw. der Einführung einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge können die Hoftorbilanzüberschüsse der Milchvieh-/Futterbaubetriebe von bisher ca. 170 kg N ha<sup>-1</sup> durch nachfolgende Maßnahmen deutlich reduziert werden:

- Im Vergleich der Energie-Erträge der Kulturarten zeigt sich bei gleicher N-Düngungshöhe die höhere Verwertung des gedüngten N durch den Silomais. Die Ergebnisse aus der Rinderspezialberatung belegen für die erhobenen Flächen mit Silomais in Monokulturanbau, dass die vorhandene N-Düngungsintensität auf den Geeststandorten unter den jetzigen Bedingungen nicht zu den Energieerträgen im Vergleich zu unseren Untersuchungen führen. Das weist darauf hin, dass der Silomais das potentiell zur Verfügung stehende N-Angebot noch nicht befriedigend ausnutzen kann. Der Silomais-Versuch hat gezeigt, dass die N-Ausnutzung besonders des Wirtschaftsdüngers bei langjähriger Ausbringung auf bis zu 70 % gesteigert wird, indem die Gülle direkt vor der Aussaat bodennah ausgebracht und sofort eingearbeitet wird. Die Arbeit von HERRMANN & TAUBE (2005) weist eindeutig für die Standorte mit unterschiedlichen Ertragspotentialen in Schleswig-Holstein eine „kritische RP-Konzentration“ von 6,5 % i. d. TM aus bei der optimale TM-Erträge bei einer N-Düngung von 100 bis 150 kg N ha<sup>-1</sup> erzielt werden.
- Übersteigt die N-Düngung den N-Bedarf des Maises, dann können im Herbst erhöhte N<sub>min</sub>-Werte auftreten. Der Anbau einer Untersaat trägt wirkungsvoll dazu bei, dass die restlich mineralisierten N-Mengen in Form pflanzlicher Biomasse gebunden und vor der winterlichen Auswaschung bewahrt werden, ohne dass die Leistungsfähigkeit des Silomais bei optimaler N-Düngung beeinträchtigt wird. Die Untersaat trägt neben der „catch crop“-Funktion auch zu einer möglicherweise besseren Befahrbarkeit der Böden im Herbst bei, erhöht den Gehalt an organischer Substanz und damit die nutzbare Feldkapazität und führt zu einer Verminderung der Bodenerosion.
- Der Untersaatanbau im Silomais wird in Zukunft eine zentrale Möglichkeit sein für Betriebe ohne Fruchtfolge, eine ausgeglichene Humusbilanz nachzuweisen und damit die EG-Verordnung 1782/2003, nach der die landwirtschaftlichen Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand erhalten werden sollen, zu erfüllen.
- Für die Erzielung optimaler Erträge von Silomais nach Kleeergrasumbruch ist keine zusätzliche N-Düngung in Form von Gülle oder Mineraldünger notwendig, da dem Silomais der FF ein wesentlich höheres N-Angebot an bodenbürtigem N als dem Mais in Monokulturanbau zur Verfügung steht. Dabei liegen die NEL- und RP-Gehalte unter reduzierter N-Düngungsintensität 0,2 MJ NEL kg<sup>-1</sup> TM bzw. 3 % in der TM über denen der Monokultur. Erfolgt eine Güllendüngung nach Kleeergrasumbruch zu Silomais, dann kann es im darauf folgenden Winter zu hohen Nitrat-Verlagerungen via Sickerwasser kommen. Der Untersaatanbau als auch die möglicherweise optimale, räumliche Verteilung der Maispflanzen stellen Möglichkeiten dar, um eine Reduzierung der NO<sub>3</sub>-Auswaschung im Silomais nach Kleeergrasumbruch zu bewirken.
- Gelingt es, den Weißklee in die vorherrschenden Nutzungssysteme des Grünlands oder eines Kleeergrasbestandes im Ackerfutterbau der Geest mittelfristig zu etablieren, dann erfolgt die Substitution von mineralischem N-Dünger durch legumen Stickstoff bei relativ geringen Einbußen im Energie-Ertrag, aber unter Einsparung von mineralischem N-Dünger. Die zweimalige Schnittnutzung mit einer angepassten frühjahrsbetonten N-

Düngung führt zur Erhöhung der Weißklee-Ertragsanteile aber gleichzeitig auch zu einer höheren Verwertung des gedüngten N, da dieser geerntet wird. Die anschließende Beweidung, zeitlich bis Anfang/Mitte September begrenzt, und der 5. Aufwuchs als 'catch crop' reduzieren die Nitrat-Verlagerungen in der folgenden Sickerwasserperiode. Darüber hinaus kann auf Beweidung des 5. Aufwuchses gerade wegen der geringen Futterqualität im Herbst (niedriger Energiegehalt/hoher Rohproteingehalt) auch aus ökonomischen Gründen verzichtet werden. Die Nutzung des 5. Aufwuchses als 'catch crop' in einer Futterbau-Fruchtfolge gibt einen Lösungsweg an, bei dem der akkumulierte N in die nächste Vegetationsperiode transferiert wird und dem Silomais mit einer hohen N-Verwertungseffizienz zur Verfügung steht. Daraus resultiert zwar eine längere Stallhaltungsperiode, aber mit der Möglichkeit, die Ration nach Energie- und Rohproteinabbaubarkeit im Pansen als auch im Darm zu synchronisieren und eine höhere Verwertung des pflanzenbürtigen N im Wiederkäuer zu erzielen. Die anfallende Gülle kann dann mit entsprechender Applikationstechnik gezielter und dem Bedarf der Pflanzen angepasst erfolgen.

- Der Weißklee trägt maßgeblich dazu bei, dass die Bestände hinsichtlich ihrer Futterqualität nutzungselastischer werden. Das Klee gras der FF erzielt höhere Futterqualitäten als das Dauergrünland und wird dem Anspruch der Versorgung hochleistender Kühe mit qualitativ hochwertigem Futter besser gerecht.
- Die Triticale schließt in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge die N-Flüsse zwischen den herkömmlichen Grundfutterproduktionssystemen Dauergrünland und Mais in Monokulturanbau. Dabei nimmt sie eine hinsichtlich der N- und NEL-Erträge intermediäre Stellung zwischen der Mähweide II und dem Mais in Monokultur ein. Die Futterqualität der Ganzpflanze kann leicht durch entsprechende Verengung des Korn/Restpflanzenverhältnis (Hochschnitt) verbessert werden. Der Anbau einer Getreidefrucht ermöglicht es zudem, in guten Futterbaujahren das Korn zu dreschen und zu verkaufen, damit kann der N-Hoftorbilanzüberschuss wirkungsvoll reduziert werden. Der Betriebsleiter kann dadurch sowohl aus futterbaulicher als auch ökonomischer Sicht flexibler reagieren.
- Bei der Erstellung der Hoftorbilanz als auch bei der Düngebedarfsermittlung sollten insbesondere für das Grünland geltende weitere N-Inputgrößen wie die tatsächlich fixierte N-Menge, der Exkrement-N, der Weiderest-N sowie die jährliche Deposition berücksichtigt werden, so dass eine dem Bedarf der Bestände angepasste N-Düngung erfolgt und ein Gleichgewicht zwischen N-Zufuhr und N-Abfuhr entsteht. Trotzdem können bei beweideten Weißklee dominierten Grünlandbeständen unausgeglichene N-Bilanzen entstehen. Diese können dann durch den Anbau von Silomais oder einer Getreidefrucht ausgeglichen werden.
- Im herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem auf sandigen Böden der Geest, bestehend aus Mähweide II (70 % Flächenanteil) und Mais in Monokultur (30 % Flächenanteil) führt auch die extensive N-Düngungsintensität zu N-Flächenbilanzsalden, die mit über dem EU-Trinkwassergrenzwert liegenden Nitrat-Auswaschungen ins Sickerwasser korreliert sind. Um eine weitere Reduzierung der Hoftorbilanzsalden zu erreichen, müsste der Anbau von Silomais noch weiter ausgedehnt werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Arbeitshypothesen der FF weitestgehend bestätigt haben. Die FF stellt ein Futterbausystem dar, mit dem die hohe Produktivität und Futterqualität auf den Milchvieh-/Futterbaubetrieben in Schleswig-Holstein bei gleichzeitiger Reduzierung der N-Bilanzsaldoüberschüsse erhalten werden kann. Der Silomais in Monokultur mit Untersaatanbau und die FF stellen zwei Anbausysteme dar, mit denen die

Futterbaubetriebe die legislativen Anforderungen der EU-Agrarreform erfüllen können, ohne Ertrags- und Futterqualitätseinschränkungen in Kauf zu nehmen.

### 5.5 Literaturverzeichnis für Einleitung und zusammenfassende Diskussion

- Aarts, H.F.M., Biewinga, E.E. & H. van Keulen, 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 40, 285-299.
- Aarts, H.F.M., Habekotte, B., Hilhorst, G.J., Koskamp, G.J., van der Schans, F.C. & C.K de Vries, 1999. Efficient resource management in dairy farming on sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47, 153-167.
- Anger, M. & W. Kühbauch, 2000. Model calculations to reduce nutrient surplus and N-losses in dairy grassland farms. *Grassland Science in Europe*, 5, 394-396.
- Anonymus, 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protecting of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (OJL375, 31.12.91, pl). *Europeans Communities*, Brüssel.
- Anonymus, 1996. Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. *Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 6*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Anonymus, 2001. Rinderreport: Ergebnisse der Rinderspezialberatung in Schleswig-Holstein. *Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein*. Nr.554.
- Anonymus, 2003a. Richtwerte für die Düngung. Hrsg.: *Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein*, Kiel.
- Anonymus, 2003b. Bodennutzung und Ernte in Schleswig-Holstein, 2002. *Statistische Berichte*, Statistisches Landesamt Schleswig-Holstein, ausgegeben am 05.06.2003
- Bobe, J., M. Wachendorf, M. Büchter & F. Taube, 2003. Vergleich der Nitratkonzentrationen im Grund- und Sickerwasser bei variiertem Düngungsintensität im Dauergrünland und in einer Maismonokultur – Erste Ergebnisse -. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15, 190-193.
- Bobe, Janina, Wachendorf, M., Büchter, M. & F. Taube, 2004. Nitrate leaching losses under a forage crop rotation. *Grassland Science in Europe*, 9, 346-348.
- Bockmann, H.C., Junge, W. & E. Kalm, 1996. Eine Methode zur Messung der Stickstoff-Einzeltierbilanzen unter praktischen Laufstallbedingungen. *Arch. Tierz., Dummerstorf*, 39, 361-368.
- Büchter, M., 2003. Nitratauswaschungen unter Grünland und Silomais in Monokultur auf sandigen Böden Norddeutschlands. *Dissertation*, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, CAU Kiel
- Dittert, K., T. Georges, H.-G. Bless, S. Lin & B. Sattelmacher, 1999. Stickstoffdynamik im Boden nach Gülledüngung unter besonderer Berücksichtigung der N-Pflanzenaufnahme. *Pflanzenbauwissenschaften*, 3, (2), 53-58.
- Eckert, H., G. Breitschuh & D.R. Sauerbeck, 1999. Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben - *Agribiological Research*, 52 (1), 57-76
- Flachowsky, G., Lebzien, P. & R. Daenicke, 1999. Zur Bedeutung von Leguminosen als Grundfutterkomponenten in Rationen von Hochleistungskühen. *VDLUFA Schriftenreihe* 52, 293-296.
- Günther, J., 1990. Grünlandmodell: Silieren und heuen nach Wetterdaten. *Top agrar*, 4, 36-38, 1990. *Landwirtschaftsverlag Münster*.
- Herrmann, A., Kornher, A. & F. Taube, 2000. Cereals grown for whole crop silage: Modelling of yield and quality. *29<sup>th</sup> Annual Crop Simulation Workshop*, Biological Systems Simulation Group, Temple, TX, 6-7.
- Herrmann, A. & F. Taube, 2005. Corn. Nitrogen Concentration at Maturity – An Indicator of Status in Forage Maize. *Agron. J.* 97, 201-210.



- Herrmann, A., Sach, W. & F. Taube, 2001b. Entwicklung von Ertrags- und Qualitätsparametern von Wintergersten-Sorten im Hinblick auf ihre Eignung als Getreide-Ganzpflanzensilage. *Pflanzenbauwiss.*, 5, 40-48.
- Holthusen, H. 2001. Landwirtschaft und Grundwasser. Hrsg.: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Dokumentation der Veranstaltung im LANU am 11. Dezember 2001.
- Hornung, H., 1992. Ertrag und Qualität durch richtige Düngung. *Neue Landwirtschaft/Feldwirtschaft* 3/33, 54-55.
- Høgh-Jensen, H. & J.K. Schjoerring, 2001. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 439-448.
- Hugger, H., 1992. Stickstoffdüngung zu Mais unter Berücksichtigung der Bodennachlieferung. *Mais*, 20, 14-16.
- Jarvis, S.C., Wilkens, R.J., & B.F. Pain, 1996. Opportunities for reducing the environmental impact of dairy farming managements: a system approach. *Grass and Forage Science*, 51, 21-31.
- Kirchgessner, M., Heinzl, W.L. & F.J. Schwarz, 1989. Futterwert von Gersten- und Weizen-Ganzpflanzensilagen für Milchkühe bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt. 1. Mitt.: Inhaltsstoffe, Verdaulichkeiten und Energie-Gehalte. *Das wirtschaftseigene Futter*, 35, 171-186.
- Kornher, A., Nymann, P. & F. Taube, 1991. Ein Computermodell zur Berechnung der Qualität und Qualitätsveränderung von gräserdominierten Grünlandaufwüchsen aus Witterungsdaten. *Das wirtschaftseigene Futter*, 37, 232-248.
- Kruczynska, H., Darul, K. & W. Nowak, 2002. Effect of mowing height on nutritive value of maize silage. *Journal of Applied Animal Research*, 22,2,213-218.
- Lantinga, E.A., Deenen, P.J.A.G. & H. van Keulen, 1999. Herbage and animal production responses to fertilizer nitrogen in perennial ryegrass swards. II. Rotational grazing and cutting. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 47, 243-262.
- Lantinga, E.A., Keuning, J.A., Groenwold, J. & P.J.A.G. Deenen, 1987. Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In Anonymus "Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer or Waste?" 103-117.
- Ledgard, S.F., Brier, G.J. & M.P. Upsdell, 1990. Effect of clover cultivar on production and nitrogen fixation in clover-grass swards under dairy cow grazing. *N. Z. J. Agric. Res.*, 33, 243-249.
- Ledgard, S.F., Penno, J.W. & M.S. Sprosen, 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 132, 215-225.
- Ledgard, S.F., 2001. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil*, 228, 43-59.
- Le Gall, A., Legarto, J., Caberet, M.-M. & A. Pflimlin, 2000. Impact of intensive dairy systems on nitrogen flows at the farm scale. *Grassland Science in Europe*, 5, 409-411.
- Lewis, L., Cox, W.J., & J.H. Cherney, 2004. Hybrid, Maturity and Cutting Height Interactions on Corn Forage Yield and Quality. *Agron. J.*, 96, 267-274.
- Lex, J. 1992. Beitrag des Weißklee (*Trifolium repens* L.) im Gemenge mit Gräsern zur Ertragsbildung des Pflanzenbestands und zum Futterwert der Erntemasse. Diss., Technische Universität München.
- Loges, R., Kaske, A. & F. Taube 2000. Yield, forage Quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes. *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International IFOM Scientific Conference, Basel*, 83.
- Loose, K., Lebzien, P. & G. Flachowsky, 1999. Einfluß verschiedener Stärkequellen auf die Stärkeanflutung am Dünndarm der Milchkuh. *VDLUFA Schriftenreihe*, 52, 329-332.

- Lütke Entrup, N. & J. Oehmichen, 2000. Integrierter Landbau – das Leitbild für eine standortgerechte und umweltverträgliche Landwirtschaft. In Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Maidl, F.-X., Sticksel E. & R. Valta, 1999. Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 1. Mitteilung: Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren. Pflanzenbauwissenschaften, 3 (1), 9-16.
- Neuendorff, J., 1996. Beitrag des Weißklee (*Trifolium repens* L.) zur Ertragsbildung von Grünlandnarben unter besonderer Berücksichtigung von Methoden zur Quantifizierung seiner Stickstoff-Fixierungsleistung. Dissertation, Gesamthochschule Kassel.
- Nevens, F. & D. Reheul, 2002. The nitrogen- and non-nitrogen-contribution effect of ploughed grass leys on the following arable forage crops: determination and optimum use. European Journal of Agronomy, 16, 57-74.
- Pahl, H., 1992. Zum Einfluss eines teilweisen Einsatzes von Maissilage durch Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) auf tierische Leistung und Wirtschaftlichkeit in der Bullenmast. Das wirtschaftseigene Futter, 38, 46-73.
- Peel, S., Lane, S.J., Chambers, B.J., Harrison, R., & S.C. Jarvis, 1999. Reducing nitrogen emissions from complete dairy farm systems. In: Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands. Eds.: Jarvis, S.C. and Pain, B.F. CAB International, Wallingford, 383-390.
- Rieckmann, C., Möbius, N. & Uwe v. Borstel, 2003. Auswirkungen veränderter Reihenweiten bei Silomais auf Ertrags- und Qualitätsparameter. 47. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 225-228.
- Rotz, C.A., Wachendorf, M., Herrmann, A., Kornher, A. & F. Taube, 2002. A modelling approach to management impacts on nitrogen fluxes in specialised dairy farms. Grassland Science in Europe, 7, 728-729.
- Schellberg, J., Rademacher, I. & W. Kühbauch, 2002. Der Einfluss von Futterqualität, Ertrag und Flächenausstattung auf den Nährstoffspielraum im Grünlandbetrieb. 46. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 240-243.
- Scheringer, J. & J. Isselstein, 2000. Zur Variabilität der Stickstoffeffizienz in Futterbaubetrieben in Niedersachsen. 44. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 2, 125-128.
- Scheringer, J. & J. Isselstein, 2002. Stickstoffflüsse in konventionellen und ökologischen Futterbaubetrieben Niedersachsens. 46. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 234-239.
- Schils, R., van Dijk, W., Hanekamp, W., Jagtenberg, C. & P. Snijders, 1998. The use of forage maize within a grass/clover-based dairy system. Grassland Science in Europe, 5, 728-729.
- Schroeder, J.J., 1998. Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soil. PhD Thesis Wageningen Agricultural University, 160-177.
- Sticksel, E, F.-X. Maidl & R. Valta, 1999. Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 2. Mitteilung: Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais. Pflanzenbauwissenschaften, 3 (1), 17-21.
- Storm, W.-D., 2001. Quantifizierung wirtschaftlicher Effekte von Maßnahmen zur Beeinflussung der Stickstoffflüsse im spezialisierten Milchvieh-Futterbaubetrieb. Diss., Institut für Agrarökonomie, Universität Kiel.
- Taube, F., Kornher, A. & M. Wachendorf, 1995. Leistungsfähigkeit weißkleebasierter Produktionssysteme auf dem Dauergrünland Norddeutschlands. Das wirtschaftseigene Futter, 41, 28-42.

- Taube, F. & E.M. Pötsch, 2001. On-farm nutrient balance assessment to improve nutrient management on organic dairy farms. In: Isselstein, J., Spatz, G. & M. Hofmann (Hrsg.) Proceedings of the International Occasional Symposium of the European Grassland Federation, 225-235.
- Taube, F., Stoy, A. & H. Ott, 1992. Silomais: Bestandesdichte und Säverfahren standortangepasst einsetzen. Bauernblatt für Schleswig-Holstein u. Hamburg, S.1928-1930.
- Taube, F., Wachendorf, M., Greef, J.M. & R. Wulfes, 1997. Perspektiven semi-intensiver Produktionssysteme in Milchvieh-/Futterbauregionen Norddeutschlands. – Berichte über Landwirtschaft. 75, 586-603.
- Trott, H.T. 2003. Mittelfristige Auswirkungen einer variierten Bewirtschaftungsform und N-Intensität auf Leistungsparameter und die Stickstoffbilanz von Dauergrünland. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 28.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Vellinga, Th.V. & P.J. Kiukman, 2002. The effect of ploughing of grasslands on nitrous oxide emissions. Grassland Science in Europe, 7, 742-743.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Martens L. & J. Boomaerts, 2000. Mealy ripe stage is optimal for the harvesting of Triticale as WCS. Praktijkonderzoek Rundwee, Schapen en Paarden, 13, 3, 44-46.
- Van Dijk, W., Hofmann, T.B., Nijssen, K., Everts, H., Wouters, A.P., Lamers, J.G., Alblas, J., & J. van Bezooijen, 1996. Effecten van mais-gras Vruchtwisseling. Verslag Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond No. 217.
- Van Eekeren, N., 2000. Balancing summer rations of dairy cows by means urea content in bulk tank milk. Grassland Science in Europe, 5, 555-557.
- Van Keulen, H. & W. Stol, 1991. Quantitative aspects of nitrogen nutrition in crops. Fertilizer Research, 27, 151-160.
- Van Vuuren, A.M., Steg, A., Van Straalen, W.M., & V.A. Hindle, 1994. Protein quality of white clover. Workshop Proceedings 15<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Wageningen, 59-62.
- Velthof, G.L. & O. Oenema, 2001. Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen. Alterra-rapport 399, Wageningen.
- Volkers, K.C., Wachendorf, M & F. Taube, 2002. Bestandeszusammensetzung und Futterqualität einjährig angebauten Kleegrases in einer Futterbau-Fruchtfolge. 46. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 106-109.
- Wachendorf, M, Collins, R.P., Connolly, J., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg E., Ghesquiere, A., Guckert, A., Guinchard, M.P., Helgadottir, A., Lüscher, A., Nolan, T., Nykänen-Kurpi, P., Nösberger, J., Parente, G., Puzio, S., Rhodes, I., Robin, C., Ryan, A., Stäheli, B., Stoeffel, S. & F. Taube, 2002 a. Overwintering of *Trifolium repens* L. and Succeeding Growth. Results from a Common Protocol carried out at Twelve European Sites. Annals of Botany, 88, 669-682.
- Wachendorf, M, Collins, R.P., Connolly, J., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg E., Ghesquiere, A., Guckert, A., Guinchard, M.P., Helgadottir, A., Lüscher, A., Nolan, T., Nykänen-Kurpi, P., Nösberger, J., Parente, G., Puzio, S., Rhodes, I., Robin, C., Ryan, A., Stäheli, B., Stoeffel, S. & F. Taube, 2002 b. Overwintering and Growing Season Dynamics of *Trifolium repens* L. in Mixture with *Lolium perenne* L.: A Model Approach to Plant-environment Interactions. Annals of Botany, 88, 683-702.

- Wachendorf, M., Rotz, C.A., Herrmann, A., Kornher, A. & F. Taube, 2003. Eine modellgestützte Analyse der Stickstoffflüsse in spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieben – Erste Ergebnisse, 47. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 271-274.
- Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H. & F. Taube, 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass and Forage Science*, 59, 56-68.
- Weißbach, F., 1993. Grünfutter und Grünfutterkonservate. In: *Futtermittelkunde*. Hrsg.: H. Jeroch, G. Flachowsky & F. Weißbach. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- Wellbrock, N., 2002. Veränderungen und ökosystemare Bewertung der atmosphärischen Deposition eines Buchenwaldes und Übertragung des Bewertungskonzeptes auf ausgewählte Waldökosysteme in Schleswig-Holstein. *EcoSys – Beiträge zur Ökosystemforschung*, 35.
- Wilhelmy, B., 1993. Untersuchungen zur Ertragsbildung und zur Veränderung ausgewählter Qualitätsparameter im Zuwachsverlauf von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von der botanischen Zusammensetzung (mit/ohne Weißklee), der Stickstoffdüngung und der Nutzungshäufigkeit. Dissertation, Lehrstuhl Grünland und Futterbau Kiel.
- Wulfes, R., Ott, H. & F. Taube, 2000. Effects of reduced nitrogen application rates on the herbage yield and quality of forage maize. *Grassland Science in Europe*, 5, 140-142.
- Wulfes, R., Thode, R. & H.Ott, 2001. Einfluß von Reihenabstand, Sortentyp und Bestandesdichte auf Leistungsmerkmale des Silomaises (*Zea mays* L.). *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 13, 194-195.

## 5.6 Anhang

Tab. A1: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) der NEL-Erträge ( $\text{GJ NEL ha}^{-1}$ ) der Kulturarten in Abhängigkeit der N-Düngung „N“ (Gülle + Mineral).

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	$R^2$	S.E.
Kleegras (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	45,3425	0,0628	/	44,2	6,35
Silomais (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	93,3796	0,0704	/	83,0	2,40
GPS Triticale (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	37,5321	0,2045	/	85,9	9,22
PS Silomais in Monokultur o. US $\hat{f} = y_0 + (\exp^{(a-b \cdot N)})$	95,1317	3,8737	0,0152		
Mähweide II $\hat{f} = y_0 + a \cdot N + b \cdot N^2$	48,0750	0,0505		89,0	2,38

Tab. A2: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) der TM-Erträge ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) der Kulturarten in Abhängigkeit der N-Düngung „N“ (Gülle + Mineral) in Quadrant I.

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	$R^2$	S.E.
Kleegras (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	58,6671	0,1276	/	80,5	5,48
Silomais (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	136,2327	0,2650	/	84,3	8,50
GPS Triticale (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot N))$	74,9368	106,3916	0,0047	95,3	7,94
PS Silomais in Monokultur o. US $\hat{f} = y_0 + (\exp^{(a-b \cdot N)})$	144,2	4,2620	0,0150	87,9	7,21
Mähweide II $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	71,5905	0,0789	/	89,6	3,64

Tab. A3: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) der N-Verwertung (dt TM  $\text{kg N}^{-1}$ ) der Kulturarten in Abhängigkeit des N-Ertrages „NY“ in Quadrant II.

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	$R^2$	S.E.
Kleegras (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-37,7442	0,5512	/	92,2	3,47
Silomais (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-97,7845	1,3935	/	87,5	7,58
GPS Triticale (FF) $f = y_0 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot \text{NY}))$	34,5789	126,3479	0,0094	90,6	11,26
PS Silomais in Monokultur o. US $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	45,2421	0,5823	/	93,1	6,38
Mähweide II $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	25,3954	0,2376	/	96,3	2,17

Tab. A4: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) des N-Flächenbilanzsaldos ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Kulturarten in Abhängigkeit der N-Düngung „N“ (Gülle + Mineral) in Quadrant III.

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	$R^2$	S.E.
Kleegras (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	-176,1362	0,7788	/	97,9	9,73
Kleegras (FF) § $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	26,0208	0,3864	/	71,93	21,07
Silomais (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	-168,3224	0,8181	/	99,6	4,15
GPS Triticale (FF) $f = y_0 + a \cdot (\exp(b \cdot \text{N}))$	-522,1943	493,93	0,0006	71,1	26,43
PS Silomais in Monokultur o. US $f = y_0 + a \cdot \text{N} + b \cdot \text{N}^2$	-39,9145	0,00844	0,0012	92,5	14,70
Mähweide II $f = y_0 + a \cdot \exp(b \cdot \text{N})$	25,2677	17,7504	0,0061	86,4	24,32

§ inkl. Deposition, N-Fixierung und Exkrement-N

Tab. A5: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) des Flächenbilanzsaldos ( $\text{kg N kg N}^{-1}$ ) der Kulturarten in Abhängigkeit des N-Ertrages „NY“ in Quadrant IV.

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	c	$R^2$	S.E.
Klee gras (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-148,8464	1,0900	/	/	35,0	32,02
Klee gras (FF) § $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-610,9291	2,6042		/	67,2	39,31
Silomais (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-840,47	4,0361	/	/	87,0	21,91
GPS Triticale (FF) $f = y_0 + a \cdot (\exp(b \cdot \text{NY}))$	-32,3765	0,3339	/	/	44,0	31,92
PS Silomais in Monokultur o. US $f = y_0 + a \cdot \text{NY} + b \cdot \text{NY}^2 + c \cdot \text{NY}^3$	-82,40	1,3673	-0,0125	0,0001	55,0	35,75
Mähweide II $f = y_0 + a \cdot \text{NY}$	-162,906	1,0105	/	/	61,0	37,66

§ inkl. Deposition, N-Fixierung und Exkrement-N

Tab. A6: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) der RP-Gehalte der Kulturarten in Abhängigkeit der N-Düngung „N“ (Gülle + Mineral).

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	b	$R^2$	S.E.
Klee gras (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	18,8515	-0,0137		58,8	1,00
Silomais (FF) $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	7,5308	0,0015		61,9	0,008
GPS Triticale (FF) $f = y_0 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot \text{N}))$	4,4839	0,0216		75,5	1,38
PS Silomais in Monokultur o. US $f = y_0 + a \cdot \text{N}$	4,8326	0,0118		72,9	0,53
Mähweide II $f = y_0 + a \cdot \text{N} + b \cdot \text{N}^2$	17,9941	-0,0058	0,0329	76,0	0,62

Tab. A7: Regressionsfunktion, Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Standardfehler (S.E.) der NEL- Gehalte der Kulturarten in Abhängigkeit der N-Düngung „N“ (Gülle + Mineral).

Kulturart und Gleichungstyp	$y_0$	a	$R^2$	S.E.
Klee gras (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	7,2008	-0,0010	60,7	0,07
Silomais (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	6,7143	-0,0006	43,1	0,05
GPS Triticale (FF) $\hat{f} = y_0 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot N))$	5,4883	0,0028	17,90	0,67
PS Silomais in Monokultur o. US $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	6,5939	0,0055	95,1	0,12
Mähweide II $\hat{f} = y_0 + a \cdot N$	6,6726	-0,0001	14,6	0,03



## 6. Zusammenfassung

Die Grundfutterproduktion der schleswig-holsteinischen Milchvieh-/Futterbaubetriebe ist durch einen hohen Spezialisierungsgrad und hohe Produktivität gekennzeichnet und sie konzentriert sich im Wesentlichen auf Dauergrünland in Form von Mähweiden und Weiden und auf Maisanbau in Monokultur. Erhöhte  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen werden unter Dauergrünland durch eine nichtangepasste N-Düngung und eine niedrige Verwertung des Futter-N durch die Wiederkäuer und im Mais in Monokulturanbau durch eine nicht vorhandene Pflanzendecke außerhalb der Vegetationsperiode hervorgerufen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, auf der einen Seite den Einfluss einer Untersaat, der mineralischen und Gülle N-Düngung im Silomais in Monokulturanbau und auf der anderen Seite eine Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras – Silomais – Triticale) in Abhängigkeit der mineralischen und Gülle N-Düngung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und N-Verwertung zu prüfen.

Die Experimente sind in das interdisziplinäre Forschungsvorhaben „**N-Projekt Karkendamm**“ eingebettet und analysieren die futterbaulichen N-Flüsse im Silomais in Monokulturanbau sowie in einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge, um daraus Konzepte für eine umweltverträgliche Grundfutterproduktion im Milchvieh-/Futterbaubetrieb zu entwickeln. Die Untersuchungen sind auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm der Christian-Albrechts-Universität Kiel durchgeführt worden.

### **Experiment I:**

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde geprüft, inwieweit eine variierte Gülle- und mineralische N-Düngung den Silomaisanbau in Monokultur mit und ohne Untersaat beeinflusst. Dazu wurde ein vierjähriger Feldversuch auf humos-sandigem Boden mit den Faktoren Gülle (0, 20 und  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), mineralischer N-Düngung (0, 50, 100,  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ) und Untersaat ( $\pm 6 \text{ kg DW ha}^{-1}$ ) angelegt. Die Aussaat der Untersaat erfolgt im 4-6 Blattstadium (EC 22-24) des Mais. Auf den Versuchsflächen wurde mehrjährig vor Versuchsbeginn Mais in Monokultur angebaut ( $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  Rindergülle).

Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Im Mittel aller Varianten akkumulierte die Untersaat im Herbst in der gesamten organischen Biomasse (inkl. Wurzeln)  $56 \text{ kg N ha}^{-1}$ .
- Mit steigender N-Düngung sank der Gesamt-OM-Ertrag der Untersaat signifikant ab, korrespondierend dazu stiegen die N-Gehalte der OM signifikant und die N-Erträge blieben unbeeinflusst.
- Der Silomais mit Untersaat führte im Vergleich zum herkömmlichen Maisanbau in Monokultur mittelfristig im optimalen Gesamt-N Düngungsbereich von 100 bis  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  zu nicht gesicherten Ertragseinbußen ( $< 5 \%$ ) im TM-, N- und NEL-Ertrag.
- Das Produktionssystem Silomais mit bzw. ohne Untersaatanbau führt zu gleich hohen N-Flächenbilanzsalden und zu einer auf hohem Niveau liegenden scheinbaren N-Ausnutzung aus Mineraldünger und Gülle. Dieser Umstand wird auch durch die Ergebnisse aus den Sickerwasseruntersuchungen (niedrige N-Austräge) und durch niedrige  $N_{\text{min}}$ -Werte im Herbst bestätigt.

**Experiment II:**

Mittels einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge (Klee gras - Silomais - Triticale) sollte die Leistungsfähigkeit und der N-Flächenbilanzsaldo der Kulturarten als auch der Fruchtfolge in Abhängigkeit der N-Düngung in Form von Gülle und Mineraldünger geprüft werden und mit dem herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem (Mähweide II/ Mais in Monokultur) hinsichtlich Produktivität und N-Saldo verglichen werden. Auf dem überjähig genutzten Klee gras erfolgten 2 Schnitte und anschließend 2 Beweidungen mit Färsen, der 5. Aufwuchs diente als 'catch crop'. Im folgenden Frühjahr wurde das Klee gras umgebrochen und Silomais angebaut. Nach der Silomaisernte wurde die Wintergetreidefrucht Triticale angebaut. Die Güllendüngung erfolgte in den Stufen 0 und 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Jede Kulturart erhielt spezifische mineralische N-Düngungsmengen (Klee gras: 0, 100, 150 kg N ha<sup>-1</sup>; Silomais: 0, 25, 100 kg N ha<sup>-1</sup>; Triticale: 0, 100, 200 kg N ha<sup>-1</sup>). Im Mittel der Fruchtfolge ergaben sich daraus drei pflanzenbauliche N-Intensitäten: extensiv (E: ø 78 kg N ha<sup>-1</sup>), reduziert (R: ø 153 kg N ha<sup>-1</sup>) und hoch (H: ø 228 kg N ha<sup>-1</sup>).

Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

*Klee gras*

- Die Kleeanteile nahmen bei sinkender N-Düngungsintensität linear zu, diese lagen im Mittel der Aufwüchse bei 43 % Ertragsanteilen. Während der Beweidungsperiode stiegen die Kleeanteile ohne N-Düngung auf 65 % an. Der Weißklee fixierte bei einer geschätzten Fixierungsleistung von 3,5 kg N pro % Weißkleeertragsanteil im Mittel der Versuchsjahre bei E-Intensität 164 kg, bei R-Intensität 129 kg und bei H-Intensität 86 kg N ha<sup>-1</sup>.
- Die Bestände erzielten mit zunehmender mineralischer N-Düngung linear ansteigende Netto N-Erträge (178 bis 224 kg N ha<sup>-1</sup>) und Netto NEL-Erträge (41 bis 58 GJ NEL ha<sup>-1</sup>) diese korrespondierten mit linear abnehmenden RP- bzw. NEL-Gehalten.
- Auf Grund der hohen N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und N-Rückführung über die Exkremete wurden in Abhängigkeit der Gesamt N-Düngung positive N-Salden zwischen 25 und 130 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt und die erzeugte Energieeinheit mit den höchsten N-Überschüssen (-0,02 bis 1,6 kg N GJ NEL<sup>-1</sup>) im Vergleich der Kulturarten der Fruchtfolge belastet.
- Vor Umbruchtermin enthielt das Klee gras im Mittel der Versuchsjahre eine N-Menge von 55 kg ha<sup>-1</sup> in der OM (oberirdische Biomasse + Wurzeln).

*Silomais*

- Die N-Erträge variierten in Abhängigkeit der N-Düngung zwischen 164 und 199 kg und die NEL-Erträge zwischen 91 und 106 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. Es bestätigte sich ein sehr hohes N-Aufnahmepotential nach Klee grasumbruch sowie eine hohe N-Verwertung. Der Silomais profitierte von einem kalkulatorischen N-Beitrag nach Klee grasumbruch von 106 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Saldo (ohne Berücksichtigung des Vorfrucht-N) nahm mit zunehmender mineralischer oder Gülle N-Düngung zu, dennoch erwies sich der Silomais als die Kulturart mit den geringsten N-Überschüssen, diese variierten zwischen -144 und 11 kg N ha<sup>-1</sup>.

*Triticale*

- Als abtragende Kulturart der Fruchtfolge benötigte sie höhere N-Intensitäten, um ähnlich hohe N-Erträge (Korn u. Stroh) wie Klee gras bzw. Silomais auf diesem Standort zu erreichen. Die NEL-Erträge lagen zwischen denen des Klee grasses und des Silomais und nahmen ebenfalls mit steigender mineralischer N-Düngung zu. Daraus resultieren N-Salden, die zwischen -72 und 95 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. -1,5 und 1,3 kg N GJ

NEL<sup>-1</sup> variierten und eine intermediäre Stellung zwischen Klee gras und Silomais einnahmen.

#### *Ackerfutterbau-/Fruchtfolge*

- Die N-Erträge der Fruchtfolge stiegen mit zunehmender mineralischer N-Düngung an. Im Mittel der Jahre wurden N-Erträge zwischen 144 und 209 kg ha<sup>-1</sup> ermittelt. Ein ausgeglichener N-Saldo wurde bei einem N-Input von 75 kg N ha<sup>-1</sup> erreicht und stieg mit steigender Gülledüngung an (-27 bis 102 kg N ha<sup>-1</sup>). Ohne Gülledüngung kam es zu wesentlich niedrigeren N-Überschüssen je erzeugter Energieeinheit.

#### *Vergleich zum herkömmlichen Grundfutterproduktionssystem*

- Das herkömmliche Grundfutterproduktionssystem ist der Ackerfutterbau-Fruchtfolge im N-Ertrag in Abhängigkeit der drei N-Düngungsintensitäten im Mittel um 16 % überlegen. Die NEL-Erträge der Fruchtfolge ergaben gleich hohe bzw. um 5 % höhere NEL-Erträge bei der E- und H-Intensitätsstufe.
- Beide Futterbau-Systeme übertrafen in Abhängigkeit der drei N-Intensitätsstufen die kritische N-Fracht von 18 kg N ha<sup>-1</sup>, oberhalb derer NO<sub>3</sub>-Konzentrationen im Sickerwasser > 50 mg l<sup>-1</sup> auftreten. Die Fruchtfolge erzielte aber bei E- und R-Intensität niedrigere N-Überschüsse.

#### **Experiment III:**

Ergänzt werden die Experimente I und II durch die Untersuchung zur Entwicklung geeigneter Kalibrationen mittels der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie an Silomaisproben im Zuwachsverlauf. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, robuste Kalibrationen für Rohprotein- und Energie-Gehalte von Silomais und dessen vegetative (Blatt, Stängel, Ganzpflanze ohne Kolben ) und generative (Kolben, Ganzpflanze mit Kolben) Fraktionen mittels NIRS zu entwickeln, wobei die Stickstoff-Versorgung und das phänologische Alter der Pflanzen einer weiten Variation unterzogen wurde. Das Pflanzenmaterial stammte aus dem Experiment I (1998-2000) und II (2000) und wurde in 14tägigen Intervallen im Zuwachsverlauf erhoben.

Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Die RP-Gehalte der vegetativen Proben bewegen sich in einem weiteren Messbereich als die generativen Proben, da in dieser Fraktion zusätzlich Blätter und Stängel vorhanden sind. Obwohl der Standardfehler der Schätzung für vegetative Proben 1999 und 2000 über 1 % liegt, ist die Bestimmtheit der Schätzung relativ hoch. Die RP-Gehalte der generativen Proben variieren in einem weitaus engeren Messbereich, so dass auch die Standardfehler der Schätzung geringer sind.
- Die NEL-Gehalte lassen sich mit einer befriedigenden Bestimmtheit schätzen. Der Standardfehler der Schätzung liegt für vegetatives und generatives Maismaterial auf relativ geringem Niveau (0,18-0,31).
- Über eine systematische Weiterentwicklung von Kalibrationsgleichungen ist es möglich, geeignete Schätzgleichungen mittels NIRS zu erhalten und somit die Entwicklung der Futterqualität des Silomais während des Zuwachses zeit- und kostensparend mit einer hinreichenden Genauigkeit im Vergleich zur Referenzmethode zu schätzen.

## 7. Summary

The forage production at the dairy farms in Schleswig-Holstein is marked by a high specialization and productivity and is mainly located on the Geest region. The predominant grassland management system on permanent grassland consist of one or two silage cuts and succeeding grazing. Increased  $\text{NO}_3$  concentrations were the results on the one hand of high mineral N fertilisation and low N utilisation by grazing ruminants and on the other hand of no plant growth during autumn/winter in maize for silage in monoculture.

The aim of the experiments was to proof the influence of an understorey, mineral N fertilisation and slurry application in maize for silage in monoculture and the influence of mineral N fertilisation and slurry application of an crop rotation on the performance and N-surplus. The experiments are parts of the interdisciplinary work “N-project Karkendamm” and analyse the effect of management strategies on the nitrogen fluxes in specialized dairy farms especially plant production and to evaluate suitable environmental sounded milk production systems. The approach is located on the research farm “Karkendamm” of the University of Kiel.

### **Experiment I:**

The field experiment with permanent maize for silage tested the effects of mineral nitrogen fertilizer, slurry application rate and the use of an understorey with perennial ryegrass. Over four years the factors nitrogen fertiliser (0, 50, 100, 150 kg N ha<sup>-1</sup>) slurry application rate (0, 20, 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and with or without understorey (+/- 6 kg perennial ryegrass) are established on the same place at the growth stage of EC 22-24 of maize. On the experimental field maize for silage grown up under typical conditions of production (40 m<sup>3</sup> slurry ha<sup>-1</sup>) for several years.

The results are:

- The understorey of perennial ryegrass accumulated in autumn on average 56 kg N ha<sup>-1</sup> in the whole organic biomass (incl. roots).
- With increasing nitrogen fertilization the whole organic biomass decreases significantly, but the corresponds nitrogen content increases significantly, accordingly the nitrogen yield of the understorey stay on the same level.
- Silage maize with understorey produced with a nitrogen fertilization of 100 to 150 kg N ha<sup>-1</sup> show only small reductions (< 5 %) in dry matter, nitrogen and energy yield.
- The maize production system with or without understorey produced similar nitrogen surpluses ha<sup>-1</sup> and a high nitrogen use efficiency for mineral fertilizer and slurry too. This circumstances were also built up by the data from the nitrate leaching losses (low  $\text{NO}_3$  concentration) and the small  $N_{\min}$  values of the soil.

### **Experiment II:**

A crop rotation (grass-clover ley – maize for silage – triticale) was tested as an alternative land use system especially their performance and the nitrogen budget to characterize the environmental sound in comparison to permanent grassland and maize for silage in monoculture. Each crop but also the whole crop rotation was examined about the influence of mineral nitrogen fertilizer and slurry application rate. The grass-clover ley was used as a mixed system (2 cuts and 2 grazing times with heifers; hay pasture II). The fifth cut remains undisturbed on the field (“catch crop”) and ploughed in before the sowing of maize. After maize harvest a cereals follows. The slurry application occurred in rates of 0 or 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The crops get specific mineral nitrogen fertilizer rates (grass-clover: 0, 100, 150 kg N ha<sup>-1</sup>; maize: 0, 25, 100 kg N ha<sup>-1</sup>; triticale: 0, 100, 200 kg N ha<sup>-1</sup>). On average three intensities of nitrogen supply (mineral + slurry) are established in the crop rotation: low (E: ø 78 kg N ha<sup>-1</sup>), reduced (R: ø 153 kg N ha<sup>-1</sup>) and high (H: ø 228 kg N ha<sup>-1</sup>).

The results are:

*Grass-clover ley:*

- The clover proportion increases high significantly with decreases mineral nitrogen fertilizer intensity and led on average at 43 %. During grazing the clover proportion increases to 65 % on average. White clover fixed at low 164 kg N, at reduced 129 kg N and at high N fertilizer intensity 86 kg N ha<sup>-1</sup> predicted 3,5 kg N per clover proportion.
- The short term ley produced with increasing N fertilisation increased net nitrogen yields (187 to 224 kg N ha<sup>-1</sup>) and with increased mineral nitrogen fertilisation significant increased net energy yields (41 to 58 GJ NEL ha<sup>-1</sup>), these corresponded with linear decreasing crude protein and net energy contents.
- Because of the high nitrogen fixation and the nitrogen return by the excreta positive nitrogen surpluses depending on the nitrogen supply were measured (25 to 130 kg N ha<sup>-1</sup>). The produced energy unit was loaded with the highest nitrogen surpluses (-0,02 to 1,6 kg N GJ NEL<sup>-1</sup>) in comparison to the other crops.
- The grass-clover ley accumulated before ploughing 55 kg N ha<sup>-1</sup> in the whole organic biomass (incl. roots).

*Maize for silage:*

- The nitrogen yield and the energy yield varied depend from the nitrogen supply between 164 and 199 kg N ha<sup>-1</sup> or rather between 91 and 106 GJ NEL ha<sup>-1</sup>. The results confirmed a higher fertilizer nitrogen uptake efficiency after a short term ley than in maize monoculture. The nitrogen contribution of the grass-clover ley was 106 kg N ha<sup>-1</sup>. The N-surplus (without consideration of the preceding crop value) increased with increasing mineral or slurry application rate, but maize produced comparing with the other crops the lowest N-surpluses (-144 to 11 kg N ha<sup>-1</sup>).

*Triticale:*

- The succeeding cereal needs higher mineral nitrogen intensities to reach equal nitrogen yields of grass-clover or maize. Energy yields are between grass-clover and maize and increased high significantly with increasing mineral nitrogen supply. The nitrogen surpluses on field scale varied between -72 and 95 kg N ha<sup>-1</sup>, the nitrogen surplus per produced energy unit varied between -1,5 and 1,3 kg N GJ NEL<sup>-1</sup>.

*Crop Rotation:*

- The nitrogen yield increased significant with increasing mineral nitrogen fertilisation. They varied between 144 and 209 kg N ha<sup>-1</sup>. The nitrogen budget at field scale varied between -27 and 102 kg N ha<sup>-1</sup> and depends high significantly on increasing slurry application rate. A well-balanced N-surplus was obtained at a nitrogen input of 75 kg N ha<sup>-1</sup>. The N-surpluses of energy yield were lowest without slurry fertilisation.

*Comparison to the current land use system:*

- The nitrogen yield of the current land use system (hay pasture II/ maize in monoculture) exceeded the crop rotation system with 16 % on average, the energy yields of the crop rotation resulted at E- and H-intensity in equal or 5 % higher yields.
- Each land use system exceeded the critical EU limit for drinking water at a nitrogen load of 18 kg N ha<sup>-1</sup>. The crop rotation obtained on the other hand at E- and R-Intensity lower nitrogen surpluses.

**Experiment III:**

Experiment I and II were completed with a research about the development of calibrations for silage maize with near-infrared reflectance spectroscopy. The objective of the research is to evaluate suitable calibrations for the content of crude protein and net energy lactation for maize for silage and his vegetative (leaves, stems and whole crop without cobs) and reproductive (cobs, whole crop with cobs) fractions with a wide range of nitrogen fertiliser, maturity and growth stage by NIRS. The samples were collected in intervals of 14 days during the vegetation period in experiment I (1998-2000) and experiment II (2000).

The results are:

- The crude protein content of vegetative samples varied over a wide range than the reproductive, because leaves and stems are contained. The standard error of prediction is above 1 % in 1999 and 2000, nevertheless the coefficient of determination appeared still high. The crude protein content of the reproductive samples varied in a narrow field of measurements, accordingly the standard error of prediction are smaller.
- The net energy of lactation could be predicted with a satisfactory determination. The standard error of prediction for vegetative and reproductive samples varied on low level (0,18-0,31).
- By means of a systematic development of calibrations sets it is possible receiving suitable prediction terms for NIRS. With NIRS the particularly course of the fodder quality during the vegetation period could predicted by a rapid and economic method with a sufficient accuracy in comparison to the reference method.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Im Besonderen bei Prof. Dr. Friedhelm Taube und Prof. Dr. Michael Wachendorf, die mich mit offenen Armen aufgenommen und mich in allen Bereichen helfend unterstützt haben und immer wieder Zuversicht ausgestrahlt haben.

Des weiteren möchte ich mich auch bei PD Dr. Antje Hermann, Dr. Ralf Loges, Dr. Iris Ruhe und Dr. Martin Gierus für die ständige Diskussionsbereitschaft und freundliche Unterstützung bedanken.

Ohne die engagierte und geduldige Mannschaft im Labor, das sind Frau Makoben, Frau Krumbholz und Gunda Schnack wäre ich nicht so schnell und ohne Probleme in den ganzen Bereich Probenahme, Probenaufbereitung und NIRS-Technik eingearbeitet gewesen.

Einen besonders herzlichen Dank möchte ich an alle meine Kollegen aus dem „Karkendamm-Team“ richten. Da sind die Kollegen der ersten Projektphase wie Manfred Büchter, Nina Jovanovic und Bernhard Ingwersen, die mir immer hilfreich zur Seite standen und einen sehr guten Übergang von der 1. zur 2. Projektphase ermöglichten, und ebenso die Kollegen der zweiten Projektphase wie Hagen Trott, Carola Lampe und Janina Bobe, denen ich besonders Danken möchte für ihre Hilfe, besonders während der Zeit nach der Geburt meiner zwei Kinder. Hervorzuheben ist auch die freundliche Arbeitsatmosphäre mit unserem Versuchstechniker Hinrich Stoltenberg. Er hat immer den nötigen Ausgleich und die manpower in die zu erledigen Dinge gebracht und ohne die vielen fleißigen studentischen Hilfskräfte hätte ich die umfangreichen Versuche nicht bewältigen können. Dann möchte ich mich auch bei allen Doktoranden des ökologischen Landbaus bedanken, dass wir so gut zusammengearbeitet haben und ebenso Frau Jaekel für ihre immer freundliche und herzliche Gesprächsbereitschaft danken.

An dieser Stelle möchte ich mich auch sehr bei Julia Baade, Janina Bobe und Carola Lampe für die tolle Zusammenarbeit, freundschaftliche Atmosphäre und ständige Motivation während der Zeit bis zur Abgabe der Arbeit und darüber hinaus bedanken.

Ohne meine Familie gäbe es diese Arbeit nicht. Vielen herzlichen Dank an meinen Mann Holger, unsere Kinder Insa und Mika, meine Eltern Hans und Anke und meine Schwestern Maike und Gesa, die mich von Anfang an unterstützt, motiviert, getröstet und immer wieder aufgebaut und an mich geglaubt haben. Die mich diesen langen Weg geduldig begleitet haben frei nach dem Motto: „Der Weg ist das Ziel“. Vielen Dank für das, was ihr mir gegeben habt und für das, was ihr geleistet habt!

Die Stiftung „Schleswig-Holsteinische Landschaft“ hat dankenswerter Weise diese Arbeit finanziert.

## ***Lebenslauf***

Name	Volkers
Vorname	Karen Christine
Geburtsort	Heide i. H.
Geburtsdatum	31. Dezember 1969
Familienstand	verheiratet mit Holger Niemann, 2 Kinder
Staatsangehörigkeit	deutsch

## ***Schulbildung***

1980-1989	Hermann-Tast-Gymnasium in Husum, Abitur
-----------	---

## ***Praktikum***

Juni 1989 - Juli 1990	Praktikum auf einem Ackerbaubetrieb mit Sauenhaltung und Schweinemast und anschließende Praktikantenprüfung
-----------------------	---

## ***Universität***

September 1990 - Juni 1995	Studium der Agrarwissenschaften, Richtung Tierproduktion an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Diplomarbeit im Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie
----------------------------	---

## ***Berufliche Tätigkeiten***

Juli 1995 - April 2000	Beraterin im Verein für Rinderspezialberatung Eckernförde e.V. , Schleswig-Holstein
------------------------	---

Mai 2000 – April 2003	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung –Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau- der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
-----------------------	--