

# **Strategien zur Verbesserung der N-Ausnutzung im ökologisch wirtschaftenden Futterbaubetrieb**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.)

der Fakultät für Agrarwissenschaften

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Eike Poddey

geboren in Tübingen

Göttingen, im Mai 2011

D 7

1. Referent: Prof. Dr. Johannes Isselstein

2. Referent: Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 2011

**Für Jörn und Kalle**

### Abstract (deutsch)

Auf einem sandigen Standort in Norddeutschland wurde vom Frühjahr 2003 bis Frühjahr 2006 ein ökologischer Fruchtfolgeversuch durchgeführt. Ziel des Versuches war es herauszufinden, ob das von Futterbaubetrieben in seinem Ertragspotential oft nicht ausgenutzte Dauergrünland durch eine höhere Nutzungsintensität (verstärkte Etablierung von Klee, Erhöhung der Nutzungsfrequenz) zu einer Reduzierung der N-Auswaschung und somit zur Steigerung der N-Ausnutzung im Ackerbau beitragen kann. Neben unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Dauergrünlandvarianten waren auf dem Versuchsfeld ackerbauliche Fruchtfolgen etabliert, die sich hinsichtlich der N-Versorgung unterschieden (Festmist, Ackerbohne, Klee gras). Es erfolgten Stickstoffanalysen des Erntegutes, des Boden-N<sub>min</sub> (Herbst und Frühjahr) und des winterlichen Sickerwassers (Saugkerzenanlage) mit „Macro-N“ und „EPOS 5060“.

Vom Dauergrünland konnte durch die Intensivierung ein zusätzlicher N-Ertrag von ca. 80 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N bis 130 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N bei einer Verringerung der N-Auswaschung von bis zu 4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> N erzielt werden. Dieser N-Mehrertrag stellte die konzeptionelle Grundlage für die Festmistdüngung dar. Die N-Auswaschungen der mit N durch Festmist und Klee gras versorgten Fruchtfolgen lagen auf einem ähnlichen Niveau (rund 54 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N), während die N-Versorgung durch die Ackerbohne zu einer N-Auswaschung von 61 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N führte. Die ackerbaulichen N-Auswaschungen hätten durch den praxisüblichen Zwischenfruchtanbau deutlich gemindert werden können. Wurde das extensive Grünland in die Fruchtfolgen mit Ackerbohne und Klee gras und das intensive Grünland in die festmistgedüngten Fruchtfolgen rechnerisch einbezogen, wurde der Vorteil der Grünlandintensivierung deutlich: Auf den N-Ertrag bezogen lag die ausgewaschene N-Menge der festmistgedüngten Fruchtfolgen bei nur 0,12 bis 0,19 kg N pro kg N-Ertrag im Gegensatz zu den Fruchtfolgen mit Klee gras und Ackerbohne mit 0,20 bis 0,40 kg N pro kg N-Ertrag. Eine Etablierung von angemessen hohen Kleeanteilen im Dauergrünland und eine vierschürige Schnittnutzung können demnach die N-Ausnutzung im ökologischen Pflanzenbau erhöhen (geringere N-Auswaschungen, höhere N-Erträge) und durch die Reduzierung der Ackerleguminosenfläche landwirtschaftliche Fläche für den Anbau von Silagemais bereitstellen.

### Abstract (English)

Organic forage and mixed farms often do not utilize their grassland to its full potential. In mixed farms this affects the arable farming as well. By intensifying grassland production (more clover, more cuts), N leaching might be reduced and N efficiency increased at the farm level. We conducted an experiment with organic crop rotations on a sandy soil in northwest Germany. The idea was to compare the N efficiency of two ways of supplying N to arable crops: nitrogen was supplied by arable legumes (red clover, field beans) or by farmyard manure (FYM). Within this concept, manure was assumed to be produced from permanent grassland of differing management intensity via feeding to housed cattle. Maize, triticale and spring barley were the N receiving plants in the rotations. Nitrogen was analyzed in manures, harvested biomass, soil (total N, soil mineral N) and as nitrate in leaching water during winter by applying the suction cup method.

With an intensified grassland production 80 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N to 130 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N more could be harvested while nitrate leaching was reduced by up to 4 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N. Nitrate leaching from crop rotations that received manure or had grass-clover ley amounted to 54 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> N, but N losses increased to 61 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> N in rotations with field beans. Generally, N leaching would have been smaller if cover crops had been cultivated as well as is common practice in organic farming. When, by calculation, the effects of extensive grassland and rotations with field beans or grass-clover ley were combined and compared with the combination of intensive grassland and rotations with farmyard manure, the advantages of intensifying grassland became apparent: related to N yields, N leaching losses of rotations with FYM were 0.12–0.19 kg N per kg N yield but 0.20–0.40 kg N per kg N yield for rotations with grass-clover leys or field beans. It seems that by increasing productivity in permanent grassland through higher clover contents and cutting four times, N efficiency in organic farming can be improved. This will lead to higher N yields, less N leaching and open the opportunity to grow more maize when the proportion of arable legumes can be reduced.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>4</b>
2.1	Standortbeschreibung .....	4
2.1.1	Boden .....	4
2.1.2	Klima .....	5
2.2	Versuchsaufbau .....	6
2.2.1	Versuchsdesign .....	6
2.2.2	Aussaat und Bewirtschaftung .....	9
2.3	Datenerhebung .....	10
2.3.1	Kleegras und Grünland .....	10
2.3.2	Getreide, Ackerbohnen und Mais .....	10
2.3.3	Festmist .....	11
2.3.4	Sickerwasser .....	12
2.3.5	Mineralischer Bodenstickstoff ( $N_{min}$ ) .....	14
2.4	Analytik .....	14
2.4.1	Grünland/Kleegras und Feldfrüchte .....	14
2.4.2	Festmist .....	14
2.4.3	Sickerwasser .....	15
2.4.4	Bodenchemische Kennzahlen .....	15
2.4.5	Mineralischer Bodenstickstoff .....	15
2.5	Auswertung .....	15
2.6	Berechnung der als Düngeäquivalent benötigten Grünlandfläche .....	17
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>19</b>
3.1	Pflanzenbauliche Aspekte des Fruchtfolgenversuches .....	19
3.1.1	Einfluss der Fruchtfolgen auf pflanzenbauliche Eigenschaften der Kulturen (2004 und 2005) .....	19
3.1.2	Bestandsentwicklung der Grünlandvarianten und des Kleegrases in den Jahren 2004 und 2005 .....	25
3.2	Pflanzenbauliche Aspekte des Nachbauversuchs .....	27
3.2.1	Einfluss der Fruchtfolgen und der direkten Vorfrucht auf pflanzenbauliche Eigenschaften des Sommertricales (2006) .....	27
3.3	Umweltaspekte des Fruchtfolgen- und Nachbauversuchs .....	31
3.3.1	Stickstoffkonzentrationsverläufe im Sickerwasser (2004–2007) .....	31
3.3.2	$N_{min}$ und Nitratauswaschung im Fruchtfolgeversuch (2004 und 2005) .....	36
3.3.3	Nitratauswaschung und Bodennährstoffgehalte, Nachbauversuch (2006) ...	39
3.4	N-Ausnutzung der Fruchtfolgen im Fruchtfolgeversuch .....	41
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>43</b>
4.1	N-Bereitstellung im ökologischen Ackerbau .....	44
4.2	Vergleich der pflanzenbaulichen Aspekte und der Umweltwirkung der Bereitstellung von N über Ackerleguminosen und Grünlandleguminosen ...	47
4.2.1	Erträge und N-Auswaschung der abtragenden Kulturen .....	47
4.2.2	Erträge und N-Auswaschung innerhalb der Kleegras- und Ackerbohnenfruchtfolge .....	48
4.2.3	Erträge- und N-Auswaschung innerhalb der Maisfruchtfolgen .....	50
4.2.4	Erträge und N-Auswaschung von Kleegras und Grünland .....	52
4.2.5	Nachbauversuch .....	55
4.3	Betrachtung des N-Transfers unter Einbeziehung der Betriebsebene .....	59
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>Wissenschaftlicher Lebenslauf .....</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>82</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bodenphysikalische Kennzahlen des Bodenprofils, nach Meyer (2000).....	4
Tab. 2: Bodenchemikalische Kennzahlen des Oberbodens (0-30 cm), nach Kosch (2003) ....	5
Tab. 3: Monatliche Mittelwerte der durchschnittlichen Tagestemperatur (°C) und monatliche Niederschlagssummen (mm m <sup>-2</sup> ) der Versuchsjahre 2003-2006, sowie die Jahresmittelwerte/-summen für den Zeitraum 2003-06 und das langjährige Mittel (1971-2000) .....	5
Tab. 4: Niederschlagssumme (mm) und mittlere Temperatur (°C) für drei Sickerwasserperioden und für drei meteorologische Winterhalbjahre.....	6
Tab. 5: Versuchsglieder (Hauptteilstücke) und deren Charakteristika .....	8
Tab. 6: Aufeinander folgende Feldfrüchte der drei Parzellen einer Fruchtfolge .....	8
Tab. 7: Mittlere Inhaltsstoffe des 120 Tage gelagerten Stapelmistes im Vergleich zu den Werten des vorangegangenen Versuches von Kosch (2003).....	11
Tab. 8: Mittels des Modells Simpel (Hörmann 1997) ermittelte Sickerwassermengen (mm m <sup>-2</sup> ) des Versuchsstandortes für die Hydrologischen Jahre 2004-2007 und die Sickerwasserperioden der Jahre 2004-2007 .....	12
Tab. 9: TM- und N-Ertrag sowie N-Konzentration der Versuchsglieder im Mittel der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern) sowie p-Werte (ANOVA) .....	20
Tab. 10: TM- und N-Ertrag sowie N-Konzentration von Wintertriticale und Sommergerste (Korn und Stroh) in den einzelnen Versuchsgliedern im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA) .....	20
Tab. 11: Effekte der Versuchsglieder und Fruchtarten auf den TM- und N-Ertrag sowie die N-Konzentration für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)), berechnet auf der Basis logarithmierter Werte.....	21
Tab. 12: TM-Erträge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern) .....	21
Tab. 13: N-Erträge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern) .....	22
Tab. 14: N-Konzentrationen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern) .....	23
Tab. 15: Effekte der Versuchsglieder und der Fruchtart auf den Stroh-TM- und -N-Ertrag, die Stroh-N-Konzentration, Ähren m <sup>-2</sup> , Körner Ähre <sup>-1</sup> und die Bestandshöhe von Wintertriticale und Sommergerste für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)) .....	23
Tab. 16: Stroh-TM- und -N-Ertrag sowie Stroh-N-Konzentration von Wintertriticale und Sommergerste als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 .....	24

Tab. 17: Ähren $m^{-2}$ , Körner $\ddot{A}hre^{-1}$ und Bestandshöhe von Wintertriticale und Sommergerste als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern).....	24
Tab. 18: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Kleeegrases und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittel im Jahr 2004 sowie Standardfehler .....	25
Tab. 19: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Kleeegrases und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittel im Jahr 2005 sowie Standardfehler .....	25
Tab. 20: TM- und N-Erträge sowie N-Konzentrationen des Sommertriticales (Korn und Stroh) in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern sowie p-Werte (ANOVA).....	27
Tab. 21: Effekte der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht auf TM- und N-Erträge sowie N-Konzentrationen des Sommertriticales (Korn und Stroh) (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)).....	27
Tab. 22: Korn-TM-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	28
Tab. 23: Korn-N-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	29
Tab. 24: Korn-N-Konzentrationen des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte.....	29
Tab. 25: Korn-N-Konzentration und Korn-Rohproteingehalt des Sommertriticales nach Umbruch der Grünfuttermvarianten.....	29
Tab. 26: Stroh-TM-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	30
Tab. 27: Stroh-N-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	30
Tab. 28: Stroh-N-Konzentrationen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte.....	30
Tab. 29: Anteil der Tage im Mittel der Sickerwasserperioden 04/05 und 05/06 mit Nitratkonzentrationen unter $\leq$ und $>$ 50 $mg\ l^{-1}$ Nitrat und das gewogene Mittel der Nitratkonzentration im Sickerwasser .....	33
Tab. 30: Herbst- $N_{min}$ -Menge, $NO_3$ -N-Auswaschung und $NO_3$ -N-Konzentration im Sickerwasser der Versuchsglieder im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA).....	36
Tab. 31: Herbst- $N_{min}$ -Mengen, $NO_3$ -N-Auswaschungen und $NO_3$ -N-Konzentrationen im Sickerwasser von Wintertriticale und Sommergerste in den einzelnen Versuchsgliedern im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA).....	37
Tab. 32: Effekte der Versuchsglieder und der Fruchtart auf Herbst- $N_{min}$ , $NO_3$ -N-Auswaschung und $NO_3$ -N-Konzentration für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)) .....	37
Tab. 33: Herbst- $N_{min}$ -Menge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 .....	38
Tab. 34: $NO_3$ -N-Auswaschung der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 .....	38

---

Tab. 35: Herbst-N <sub>min</sub> -Mengen, NO <sub>3</sub> -N-Auswaschungen, Boden-P-, -K- und -Mg-Gehalte sowie Boden-pH-Werte des Sommertriticales als geschätzte Mittelwerte sowie p-Werte (ANOVA).....	39
Tab. 36: Effekte der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht auf umwelt- und bodenbezogene Parameter des Sommertriticales (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)) .....	40
Tab. 37: Herbst-N <sub>min</sub> -Mengen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	40
Tab. 38: NO <sub>3</sub> -N-Auswaschungen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte .....	41
Tab. 39: N-Ertrag, NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung sowie NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung pro kg N-Ertrag der Fruchtfolgen .....	41
Tab. 40: Biologisch fixierter Stickstoff eines Klee gras-Bestandes abhängig vom Kleeanteil und Alter des Bestandes.....	44
Tab. 41: Wichtung der Stärken und Schwächen der Fruchtfolgen im Fruchtfolge- und Nachbauversuch hinsichtlich des TM- und N-Ertrags und der NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung. ....	46
Tab. 42: Vergleich der Ertragsfähigkeit verschiedener Ackerkulturen und Grünland auf sandigen Standorten: Standarddaten und Daten aus drei Versuchen des Standortes Bakenhus (Mittelwerte ohne Kontrollvariante) .....	51
Tab. 43: Mittlere NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung über alle Kulturen für die Sickerwasserperioden des Fruchtfolgeversuches (ohne Grünland) und des Nachbauversuchs (ohne Grünlandumbruch).....	57
Tab. 44: Herbst-N <sub>min</sub> -Menge, NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung und NO <sub>3</sub> -N-Konzentration im Sickerwasser der Versuchsglieder im Mittel des Anbaujahres 2003 sowie p-Werte (ANOVA) .....	75
Tab. 45: Effekte der Versuchsglieder auf Herbst-N <sub>min</sub> , NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung und NO <sub>3</sub> -N-Konzentration im Jahr 2003 (p-Werte auf Basis des $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)) .....	75
Tab. 46: Herbst-N <sub>min</sub> -Mengen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003 .....	75
Tab. 47: NO <sub>3</sub> -N-Auswaschungen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003 .....	76
Tab. 48: NO <sub>3</sub> -N-Konzentrationen im Sickerwasser der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003.....	76
Tab. 49: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Klee grasses und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 mit Standardfehler.....	77
Tab. 50: N-Konzentration der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 .....	79



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Versuchsdesign des Fruchtfolgeversuches, dargestellt über drei Jahre (2003-2005).	7
Abb. 2: Schematische Darstellung der Versuchsanlage und der Saugkerzenanlage .....	13
Abb. 3: Kleeanteile im jahreszeitlichen Verlauf der vierschürigen Grünfutterbestände KG und GL++ für die Jahre 2004 und 2005 .....	26
Abb. 4: Kleeanteile im jahreszeitlichen Verlauf der dreischürigen Grünfutterbestände GL0 und GL+ für die Jahre 2004 und 2005.....	26
Abb. 5: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartzen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2004-2005).....	31
Abb. 6: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartzen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2005-2006).....	32
Abb. 7: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartzen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2006-2007).....	32
Abb. 8: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationsverläufe im Sickerwasser ( $\text{mg l}^{-1}$ ) der Versuchsglieder im Fruchtfolgeversuch (2004-2006) und der Effekt der Versuchsglieder als „Vorfrucht“ zum Sommertriticale im Nachbauversuch (2006-2007).....	33
Abb. 9: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationsverläufe im Sickerwasser ( $\text{mg l}^{-1}$ ) der Grünfutterpartzen im Fruchtfolgeversuch (2004-2006) und der Effekt der Grünfutterpartzen als „Vorfrucht“ im Nachbauversuch (2006-2007) .....	34
Abb. 10: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationsverläufe im Sickerwasser ( $\text{mg l}^{-1}$ ) von aufeinander folgenden Kulturen als Teil der KG und AB Fruchtfolgen (Versuchsglieder) während des Fruchtfolgeversuches (2004-2006) und des Nachbauversuchs (2006/2007).....	35
Abb. 11: Zeitlicher Ablauf des Anbaus der Feldfrüchte in den verschiedenen Fruchtfolgen und der Sickerwasserperioden .....	76
Abb. 12: Mittlere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2004-2005).....	77
Abb. 13: Mittlere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2005-2006).....	78
Abb. 14: Mittlere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Auswaschung ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2006-2007).....	78
Abb. 15: Niederschläge ( $\text{l m}^{-2}$ ) und Sickerwasserraten ( $\text{l m}^{-2}$ ) für die Grünlandflächen des Fruchtfolgenversuches der Jahre 2003-2006 und den Sommertriticale des Nachbauversuchs der Jahre 2006-2007 .....	80

### Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
AB	Ackerbohnen
AbFL	Versuchsglied Ackerbohnenfruchtfolge
Ap	A-Horizont, gepflügt
B	Brache
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Bv	B-Horizont, verwittert
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
c.a.	circa
CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
Cl	Chlorid
cm	Zentimeter
C <sub>t</sub>	Gesamt-Kohlenstoff
Cv	C-Horizont, verwittert
dt	Dezitonne
DV	Direkte Vorfrucht
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Erbsengemenge
FA	Fruchtart
FF	Fruchtfolge
g	Gramm
GD	Gründüngung
Gew. %	Gewichtprozent
GL	Grünland
GL+	Grünland (3-schurig, 7 % Klee im Saatgut)
GL++	Grünland (4-schurig, 13 % Klee im Saatgut)
GL0	Grünland (3-schurig, 0 % Klee im Saatgut)
GPS	Ganzpflanzensilage
H <sub>2</sub> O	Wasser
ha	Hektar
kg	Kilogramm
K	Kalium
KG	Kleegras (4-schurig, 33 % Klee im Saatgut)
KgFL	Versuchsglied Kleegrasfruchtfolge
km	Kilometer
MA	Mais
MaF0	Maisfruchtfolge, 0 kg ha <sup>-1</sup> N
MaF100	Maisfruchtfolge, 100 kg ha <sup>-1</sup> N aus Festmist
MaF200	Maisfruchtfolge, 200 kg ha <sup>-1</sup> N aus Festmist

## Abkürzungszeichnis

---

Mg	Magnesium
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
mmol	Millimol
N	Stickstoff
N0	0 kg ha <sup>-1</sup> N
N100	100 kg ha <sup>-1</sup> N aus Festmist
N200	200 kg ha <sup>-1</sup> N aus Festmist
NEL	Netto-Energie-Laktation
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NL	N-Versorgung durch Leguminosen
N <sub>min</sub>	Mineralischer Stickstoff
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NS	Niederschlag
N <sub>t</sub>	Gesamt-Stickstoff
OOVV	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
P	Phosphor
pH	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität
RO	Roggen
SG	Sommergerste
Sl2	Schwach lehmiger Sand
Sl4	Stark lehmiger Sand
St2	Schwach toniger Sand
Su2	Schwach schluffiger Sand
ST	Sommertriticale
SW	Sickerwasser
t	Tonne
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
VG	Versuchsglied
v.Chr.	Vor Christi Geburt
WT	Wintertriticale
Vol. %	Volumenprozent
XP	Rohprotein

## 1 Einleitung

Im ökologischen Landbau ist die Bereitstellung von Stickstoff (N) durch Leguminosen innerhalb des Graslandes und vor allem innerhalb von Ackerfruchtfolgen von entscheidender Bedeutung für die Ertragssicherung (Berntsen et al. 2006). Allerdings ist die Freisetzung von N in quantitativer und zeitlicher Hinsicht nicht genau vorhersehbar und lässt sich nicht immer mit dem Bedarf der Folgekultur synchronisieren (Crews und Peoples 2005). In einer umfassenden Studie zur Eignung des ökologischen Landbaus für die Minimierung des Nitrataustrages in das Grundwasser stellen Wilbois et al. (2007) fest, dass aufgrund der ökologischen Wirtschaftsweise, verbunden mit einer verminderten N-Intensität auf Betriebsebene, N-Verluste als Nitratausträge generell geringer sind als in einer konventionellen Bewirtschaftung. Auf Feldebene und bei Betrachtung gleicher Intensitäten werden von manchen Autoren allerdings Verluste in vergleichbarer Höhe postuliert und einer individuellen Anbaugestaltung eine wichtige Rolle zugesprochen (Kirchmann und Bergström 2001, Crews und Peoples 2005, Kelm et al. 2007).

Erhöhte Stickstoffverluste vermindern die Effizienz des Einsatzes von N in Acker- und Futterbau, belasten die Umwelt und können über Nitrate im Trinkwasser zu gesundheitlichen Problemen führen (Addiscott et al. 1991, Addiscott 2005). Eine Verbesserung der Effizienz der Nährstoffausnutzung ist auch ökonomisch vorteilhaft, da Stickstoff in der ökologischen Landwirtschaft ein limitierender Nährstoff ist: je weniger gasförmige und flüssige Stickstoffverluste aus den betrieblichen Stoffflüssen auftreten, desto mehr N steht den landwirtschaftlichen Kulturen zum Ertragsaufbau zur Verfügung.

Das Produktionspotential des Dauergrünlands in ökologischen Betrieben wird häufig nicht ausgeschöpft (Wachendorf und Taube 2001, Scheringer und Isselstein 2001). Aufgrund einer geringen Schnittfrequenz und ungenügender Pflege (Nachsaat, gezielte Düngung) ergeben sich relativ geringe Kleeanteile in der Grünlandnarbe. Eine Bonitur auf 106 Betrieben in Deutschland ergab einen mittleren Kleeanteil von weniger als 5 % (Tichter et al. 2011). In Folge hoher Anteile minderwertiger Kräuter und Gräser und einer extensiven Schnittführung, gepaart mit Mängeln bei der Silierung, ist die Qualität von Silagen vom Dauergrünland oftmals nicht befriedigend. Abgesehen von eingeschlitzter Gülle ist die Ausbringung von Wirtschaftsdünger auf Grünlandbestände zudem mit hohen gasförmigen Ammoniakverlusten verbunden (Döhler et al. 2002).

Daraus ergeben sich folgende Überlegungen, die dem vorliegenden Versuch zugrunde liegen: Wird die Nutzung des Grünlands durch höhere Kleegehalte und häufigere Defoliation intensiviert, steht mehr und stickstoffhaltigeres Futter vom Grünland zur Verfügung. Die Anbaufläche von Klee gras und Körnerleguminosen in der Fruchtfolge kann entsprechend verringert werden. Der dadurch fehlende Stickstoff in der Fruchtfolge wird durch den erhöhten N-Transfer vom Grünland über den Wiederkäuer und den Wirtschaftsdünger sowie durch die Einsparung der Düngung des Grünlands ausgeglichen. Die frei werdende Ackerfläche kann betriebsindividuell genutzt werden.

Auf den Ackerflächen ist eine termingerechte Ausbringung der Wirtschaftsdünger mit gezielten Aufwandmengen möglich, die das Risiko des N-Austrags wesentlich reduzieren und nicht die Unkontrollierbarkeit der N-Freisetzung wie im Falle des Umbruchs mehrjähriger Klee grasbestände zur Folge haben (Döhler und Biskupek 1993, Döhler und Schultheiß 1994). Aufgrund der zu erwartenden niedrigen N-Auswaschungen unter Dauergrünland fällt die Nitratauswaschung im Betriebskonzept „Reduzierter Anbau von Leguminosen im Ackerbau und intensive Grünlandwirtschaft“ niedriger aus.

Ein verringerter Anbau von Futterleguminosen auf dem Acker ermöglicht u.a. auch eine Ausdehnung des Silagemaisanbaus. Silagemais stellt im Hinblick auf die Stickstoffverwertung von Wirtschaftsdüngern und aus der Sicht der Tierernährung wegen des geringen Protein- aber hohen Energiegehaltes eine gute Ergänzung zum Grünlandfutter dar und ermöglicht die Reduzierung des Kraffuttereinsatzes. Dadurch verbessert sich sowohl die Tierleistung als auch die N-Effizienz der Fütterung (Jarvis et al. 1996). Da der Nährstoffexport durch eine höhere Tierleistung erhöht wird, der Nährstoffimport dagegen auf dem gleichen Niveau bleibt, wird auch die Nährstoffbilanz des Betriebes positiv beeinflusst.

Die im Rahmen der Arbeit geprüfte Strategie verzichtet demnach auf den Anbau von Leguminosen im Ackerfutterbau und nutzt als Stickstoffquelle die Leguminosen des Grünlands. Der Nährstofftransfer erfolgt vom Grünland über die Wirtschaftsdünger zum Acker. Erreicht werden soll dies durch eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung (Leguminosen) und einen verstärkten Einsatz von Wirtschaftsdüngern (Stallmist) zu Ackerfrüchten; vergleichend werden Ackerleguminosen angebaut. Die Ackerleguminosen repräsentieren die Option des direkten N-Transfers des auf dem Acker fixierten Stickstoffs von der Leguminose zu den Ackerfrüchten, die Grünlandleguminosen hingegen die Option des indirekten N-Transfers des im Grünland fixierten Stickstoffs über den Wiederkäuer zu den Ackerfrüchten.

Dabei werden vornehmlich zwei Ziele verfolgt: (1) Es sollen Möglichkeiten zur Steigerung der N-Effizienz im ökologischen Acker- und Futterbau, zur Optimierung des Betriebserfolges und zur Ressourcenschonung geprüft werden, die (2) weiterhin zu einer verbesserten Eignung des ökologischen Landbaus zum Grundwasserschutz vornehmlich über Minderung der Nitratausträge mit dem Sickerwasser führen könnten.

Zur Prüfung dieser Strategie und ihrer zu Grunde liegenden Hypothesen wurde ein mehrjähriger Feldversuch angelegt, in dem durch den Einbau einer Saugkerzenanlage auch das oberflächennahe Sickerwasser mittels Saugkerzen beprobt werden konnte. Dadurch wird die Berechnung der N-Auswaschung im Winterhalbjahr möglich. Um die reinen Effekte einzelner Feldfrüchte betrachten zu können, wurden im vorliegenden Feldversuch keine Zwischenfrüchte angebaut.

Die dadurch fehlende Bodenbedeckung sowie Nährstoffkonservierung und effektive Minderung der N-Verluste (Møller Hansen und Djurhuus 1997, Shepherd und Lord 1996, Constantin et al. 2010) werden entsprechend berücksichtigt und diskutiert.

Die Arbeit beinhaltet Ergebnisse des Feldversuches aus den Jahren 2003 bis 2004/05 und eines sich anschließenden Nachbauversuchs 2006/07. Der genaue Aufbau der Versuche und ihr Ablauf wird unter „Material und Methoden“ vorgestellt. Der Ergebnisteil stellt vornehmlich in tabellarischer Form jeweils pflanzenbauliche Aspekte (Erträge, Ertragsaufbau) und Indikatoren für Auswirkungen auf die Umwelt (mineralischer Bodenstickstoff ( $N_{\min}$ ), N Auswaschung) der beiden Versuchsabschnitte vor. Im Diskussionsteil werden die verschiedenen Managementoptionen vor dem Hintergrund der ökologischen Wirtschaftsweise vergleichend beurteilt, besonders berücksichtigt werden dabei die Nährstofftransfers und auftretenden Verluste.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Standortbeschreibung

Das ca. 3 ha große Versuchsfeld liegt im Süden der weitgehend ebenen und wenig reliefierten Grundmoränenlandschaft ‚Wildeshauser Geest‘. Die Versuchseinrichtung wurde im Jahr 2000 auf den ackerbaulich genutzten Flächen eines ökologisch wirtschaftenden Betriebes (Naturland) angelegt und in den Jahren 2000 und 2001 für einen Feldversuch zur Stickstoffauswaschung unter verschiedenen Festmistarten genutzt (Kosch 2003). Die Versuchsfläche liegt 40 m über Normal Null mit den Koordinaten 52°55'14.04"N und 8°14'35.57"O. Auf dem im Wasserschutzgebiet gelegenen Betrieb ‚Biohof Bakenhus‘ befindet sich zudem eine Informationseinrichtung des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV). 130 ha der 190 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche sind als Weiden oder Mähgrünland bewirtschaftet. Die 60 ha der ackerbaulich genutzten Fläche werden mit Getreide und Ackerfutter bestellt. Somit liegt der Schwerpunkt des Betriebes im Bereich Futterbau/Tierhaltung. Der Betrieb hält Mutterkühe und Mastrinder der Rasse Aberdeen Angus auf der Weide und im Offenfrontlaufstall mit Stroheinstreu. Zusätzlich zu den durchschnittlich 200 Rindern werden auf dem Biohof Bakenhus ca. 100 Schweine auf Stroh mit Auslauf gemästet.

#### 2.1.1 Boden

Die Böden des Biohofs Bakenhus gehören zu den aeolischen Geschiebesanden der Nordwestdeutschen Tiefebene, deren Ursprung in der Elster-Eiszeit (475000-370000 v.Chr.) liegt. Typisch für diese Gegend sind humose Sandböden um die 25 Bodenpunkte. Meyer (2000) klassifizierte den Boden des Versuchsfeldes als Sandbraunerde mit Pseudogley-Erscheinungen. Der Boden weist 28 Bodenpunkte auf. In 70 cm Tiefe befindet sich eine Geschiebelehmdecke mit erhöhtem Tongehalt. Die wichtigsten bodenphysikalischen Eigenschaften des Bodenprofils sind in Tab. 1 dargestellt.

**Tab. 1: Bodenphysikalische Kennzahlen des Bodenprofils, nach Meyer (2000)**

Horizont	Tiefe cm	Bodenart	Korngrößenfraktionen in			pF 1,8-2,0 Vol% H <sub>2</sub> O
			Sand	Schluff	Ton	
Ap	0-28	Su2	82,9	17,1	-	36,3
Bv	28-55	Sl2	78,4	15,1	6,5	31,3
Bv/Cv	70-85	Sl4	64,3	19,1	16,6	19,7
Cv	100-170	St2	90,7	3,4	6,0	28,0
Cv	180	Sl4	68,6	17,5	13,8	-

Ap (A-Horizont, gepflügt), Bv (B-Horizont, verwittert), Cv (C-Horizont, verwittert), Sl2 (schwach lehmiger Sand), Sl4 (stark lehmiger Sand), St2 (schwach toniger Sand), Su2 (schwach schluffiger Sand)

Die Gehalte der bodenchemikalischen Kennzahlen wurden nach den Verfahren der VDLUFA (Hoffmann 1991, Kapitel 2.4.4) am luftgetrockneten Boden ermittelt und entsprechen im Mittel der drei Versuchsblöcke der Gehaltsstufe C.

In Tab. 2 sind die bodenchemikalischen Kennzahlen (Kosch 2003) dargestellt.

**Tab. 2: Bodenchemikalische Kennzahlen des Oberbodens (0-30 cm), nach Kosch (2003)**

C	N	C:N	P *	K *	Mg *	pH *
Gew.-%	Gew.-%		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	
1,24	0,103	12,0	104	135	-	5,1

\* Menge an extrahierbarem P, K und Mg; P, K: CAL-Auszug; Mg, pH: CaCl<sub>2</sub>-Auszug

### 2.1.2 Klima

Sämtliche Klimadaten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt. Die Temperatur- und Niederschlagsdaten stammen von der in 1 km Entfernung vom Versuchsstandort befindlichen Wetterstation Großenkneten/Ahlhorn. Einen Überblick über die durchschnittlichen Temperaturen und die Niederschlagsmengen für die Zeiträume des Fruchtfolgeversuches (2003-2005) sowie des Nachbauversuchs (2006) ermöglicht Tab. 3.

**Tab. 3: Monatliche Mittelwerte der durchschnittlichen Tagestemperatur (°C) und monatliche Niederschlagssummen (mm m<sup>-2</sup>) der Versuchsjahre 2003-2006, sowie die Jahresmittelwerte/-summen für den Zeitraum 2003-06 und das langjährige Mittel (1971-2000)**

Jahr Monat	2003		2004		2005		2006		2003-06		1971-2000	
	°C-Ø	mm- Σ	°C-Ø	mm- Σ	°C-Ø	mm- Σ	°C-Ø	mm- Σ	°C-Ø	mm- Σ	°C-Ø	mm- Σ
1	1,0	93	1,8	123	3,5	60	-0,6	21	1,4	74	1,5	64
2	-0,7	23	3,5	74	0,8	68	0,8	43	1,1	52	1,7	41
3	5,6	30	5,1	34	4,5	47	1,8	61	4,2	43	4,6	62
4	8,9	70	9,8	46	10,0	36	8,1	59	9,2	53	7,7	46
5	13,0	107	11,8	72	12,5	134	13,3	93	12,6	101	12,4	53
6	18,0	51	15,5	73	15,8	46	16,8	16	16,5	47	15,0	75
7	18,9	66	16,4	139	18,0	128	22,8	20	19,0	88	17,1	72
8	19,8	17	18,9	96	15,4	112	16,0	178	17,5	101	16,9	65
9	13,4	88	14,4	69	14,3	51	17,3	11	14,9	55	13,4	66
10	5,6	61	10,5	50	11,1	45	13,0	65	10,0	55	9,3	64
11	7,0	27	4,8	89	5,3	59	7,9	81	6,2	64	5,1	66
12	2,7	100	2,8	48	2,7	67	5,8	63	3,5	69	2,8	72
Ø, Σ	9,4	731	9,6	913	9,5	852	10,2	710	9,7	802	9,0	745

Sowohl die Temperaturen als auch die Niederschläge lagen im Versuchszeitraum teilweise über denen des langjährigen Mittels. Das Jahr 2004 war mit 913 mm m<sup>-2</sup> das niederschlagreichste Jahr im Gegensatz zur langjährigen Niederschlagssumme von 745 mm m<sup>-2</sup>. Das Jahr 2006 lag mit 10,2°C deutlich über dem langjährigen Jahrestemperaturmittel des Standortes von 9°C. Aufgrund längerer Trockenzeiten im Frühjahr und Sommer 2003 kam es zu Problemen beim Auflaufen der Feldfrüchte nach der Ansaat (Kapitel 2.3). Die klimatischen Bedingungen während der Sickerwasserperioden lassen sich Tab. 4 entnehmen.



**Tab. 4: Niederschlagssumme (mm) und mittlere Temperatur (°C) für drei Sickerwasserperioden und für drei meteorologische Winterhalbjahre**

	Sickerwasserperiode		
	4.10.04 - 23.5.05	8.11.05 - 27.4.06	1.11.06 - 16.4.07
°C	5,8	2,6	6,6
mm	497	290	426

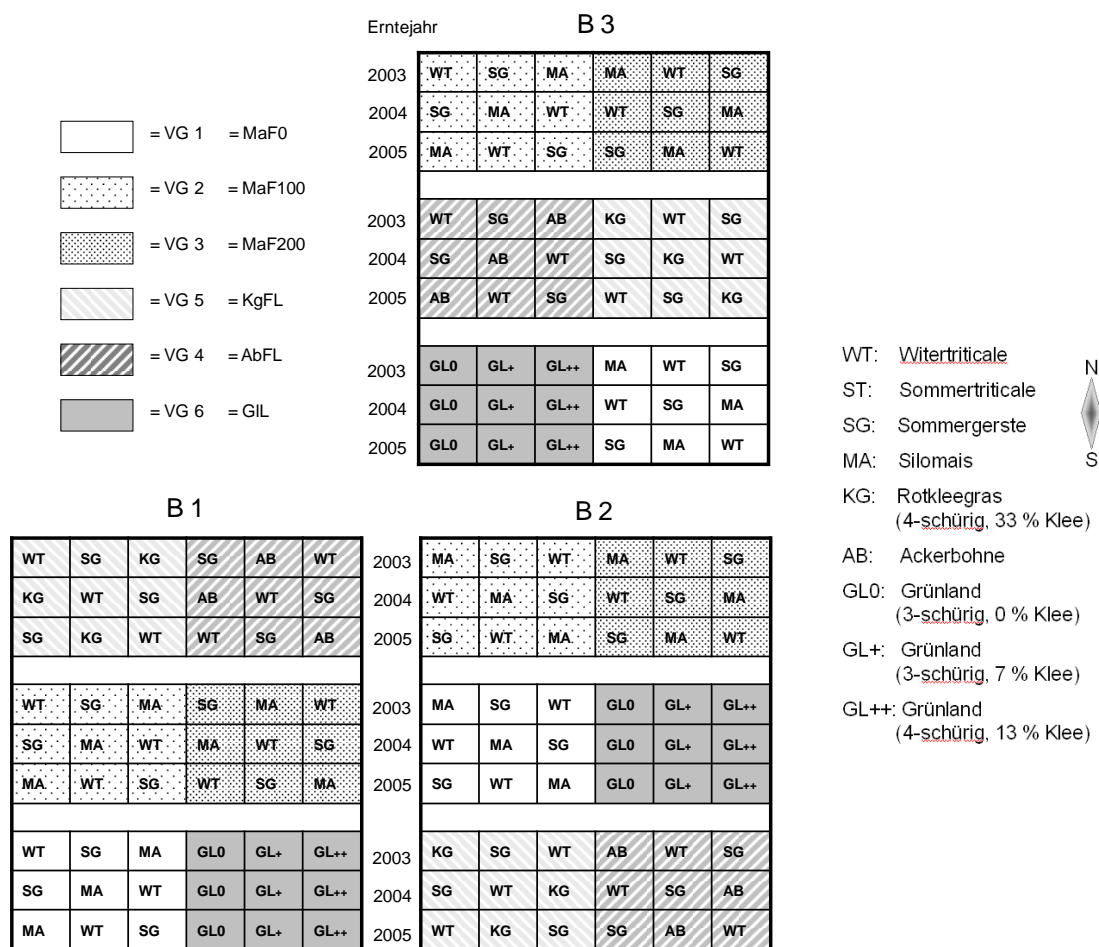
	Zeitraum		
	1.11.04 - 31.3.05	1.11.05 - 31.3.06	1.11.06 - 31.3.07
°C	3,3	2,0	6,1
mm	311	249	426

Das meteorologische Winterhalbjahr 2006/2007 ist im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Jahren als mild und niederschlagsreich einzustufen (die Temperaturen fallen an nur 5 Tagen knapp unter 0°C). Der Winter 2005/2006 fiel eher kalt und trocken aus (Tab. 4).

## 2.2 Versuchsaufbau

### 2.2.1 Versuchsdesign

Nach einem vorangegangenen Festmistversuch (1999-2001; Kosch 2003) war in der Vegetationsperiode 2002 das gesamte Feld mit Roggen bestellt. Der Fruchtfolgeversuch wurde dann im Frühjahr 2003 als Spaltanlage (split-plot design) angelegt: innerhalb der drei Wiederholungen (je 108 m x 127 m), bezeichnet als Blöcke: B1, B2 und B3, gab es sechs Hauptteilstücke, die Versuchsglieder (VG1 bis VG6), die wiederum in drei Parzellen (162 m<sup>2</sup>) unterteilt waren. Auf diesen drei Parzellen wurden die zum jeweiligen Versuchsglied gehörenden drei Kulturen in jedem Jahr parallel und im Rahmen des festgelegten Fruchtwechsels angebaut. Jeder Block bestand demnach aus 18 Parzellen, so dass auf dem gesamten Versuchsfeld 54 Parzellen angelegt waren. Die drei Parzellen eines Versuchsgliedes gehörten jeweils zu einer von fünf Fruchtfolgen oder repräsentierten Dauergrünland. Abb. 1 zeigt die drei Blöcke (Wiederholungen), die Versuchsglieder (Fruchtfolgen und Dauergrünland) sowie die in den Jahren 2003, 2004 und 2005 vorgesehenen Feldfrüchte jeder einzelnen Parzelle.



Erläuterungen siehe auch Tab. 5

**Abb. 1: Versuchsdesign des Fruchtfolgeversuches, dargestellt über drei Jahre (2003-2005)**

Die Versuchsglieder können als eine Kombination verschiedener Fruchtfolgen und sich unterscheidender Stickstoffquellen angesehen werden. Das Versuchsglied VG0 stellte die ungedüngte Kontrollvariante dar. Die Versuchsglieder VG2 und VG3 repräsentierten die Stickstoffversorgung der Ackerbaukulturen durch eine Festmistdüngung. Hier wird der Stickstoff des auf dem Grünland gewonnenen Futters, und damit zum großen Teil der fixierte Luftstickstoff der Grünlandleguminosen, über den Umweg des Verdauungstraktes der Wiederkäuer den Ackerfrüchten bereitgestellt. In den Versuchsgliedern VG4 und VG5 dagegen ist die Bereitstellung von Stickstoff über den Anbau von Ackerleguminosen direkt in die Fruchtfolge eingebaut. Die Grünlandparzellen des Versuchsgliedes VG6 unterschieden sich in ihren Kleeanteilen und Bewirtschaftungsintensitäten und repräsentieren damit Möglichkeiten der Grundfuttererzeugung für Wiederkäuer und der Mistproduktion als Basis für VG2 und VG3. Eine Übersicht der Versuchsglieder und ihrer Eigenschaften zeigt Tab. 5.

**Tab. 5: Versuchsglieder (Hauptteilstücke) und deren Charakteristika**

Versuchsglieder	Fruchtfolge (F), Grünland (GL)	N-Versorgung	Abkürzung	Angebaute Fruchtarten
VG1	Maisfruchtfolge	N0	MaF0	MA, WT, SG
VG2	Maisfruchtfolge	N100	MaF100	MA, WT, SG
VG3	Maisfruchtfolge	N200	MaF200	MA, WT, SG
VG4	Ackerbohnenfruchtfolge	NL	AbFL	AB, WT, SG
VG5	Kleegrasfruchtfolge	NL	KgFL	KG, SG, WT
VG6	Grünland	NL	GL	GL0, GL+, GL++

Erläuterungen: Gesamt-N-Zufuhr durch Festmist: N0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N), N100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N), N200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N); NL (N-Versorgung durch Leguminosen); MA (Mais), WT (Wintertriticale), SG (Sommergerste), AB (Ackerbohne) KG (Kleegras) (4-schürig, 33 % Klee), GL0 (3-schürig, 0 % Klee), GL+ (3-schürig, 7 % Klee), GL++ (4-schürig, 13 % Klee), die Kleeanteile entsprechen den Kleeanteilen in der Saatgutmischung

Im Fruchtfolgeversuch waren in jeder Fruchtfolge Wintertriticale (WT) und Sommergerste (SG) vertreten, die dritte Kultur variierte je nach Fruchtfolge. Entweder sie bestand aus Mais in den Fruchtfolgen MaF0, MaF100, MaF200, aus Kleegras in der Fruchtfolge KgFL oder aus Ackerbohnen in der Fruchtfolge AbFL. Die Mais-Fruchtfolgen (VG1, VG2 und VG3) wurden mit 0, 100 oder 200 kg ha<sup>-1</sup> N (Gesamt-N) aus Festmist gedüngt. In der AbFL wurde der Stickstoff von der Leguminose Ackerbohne bereitgestellt und in der KgFL vom Rotklee aus der Kleegrasmischung. Der Rotkleeanteil in der Saatgutmischung des Kleegrases betrug 33 %. Die Versuchsglieder beinhalteten alle Kulturen einer Fruchtfolge, so dass in jedem Jahr jede Kultur einer Fruchtfolge angebaut wurde. Die Startkultur jeder einzelnen Parzelle im Jahr 2003 war zufällig verteilt und bestimmte durch den Ablauf der Fruchtfolge die nachfolgenden Kulturen (Tab. 6).

**Tab. 6: Aufeinander folgende Feldfrüchte der drei Parzellen einer Fruchtfolge**

	2002	2003	2004	2005	2006
Maisfruchtfolgen	RO	MA	WT	SG	ST
	RO	ST	SG	MA	ST
	RO	SG	MA	WT	ST
Ackerbohnenfruchtfolge	RO	AB	WT	SG	ST
	RO	ST	SG	AB	ST
	RO	SG	AB	WT	ST
Kleegrasfruchtfolge	RO	KG	SG	WT	ST
	RO	SG	WT	KG	ST
	RO	ST	KG	SG	ST

Erläuterungen: RO: Roggen, WT: Wintertriticale, ST: Sommertriticale, SG: Sommergerste, MA: Silagemais, KG: Rotkleegras, AB: Ackerbohne

Die Grünlandvarianten verblieben über die Versuchszeit auf den Parzellen, in denen sie im Jahr 2003 eingesät wurden. In den drei Varianten wurde zur Steigerung der Anbauintensität der Weißkleegehalt und die Schnitthäufigkeit variiert. GL0 stellte ohne Klee in der Saatgutmischung und mit einem dreimaligen Schnitt die Kontrollvariante des Dauergrünlands dar. Im Unterschied dazu befanden sich in der Variante GL+ 7 % Klee in der Ansaatmischung und in der Variante GL++ 13 % Klee; GL+ wurde dreimal und GL++ viermal geschnitten.

Auf den Fruchtfolgeversuch folgte 2006 ein Nachbauversuch mit Sommertriticale, um Erkenntnisse über die Nachfruchtwirkung der Fruchtfolgen und direkten Vorfrüchte zu erhalten.

### 2.2.2 Aussaat und Bewirtschaftung

Die erste Bestellung der Parzellen für den Fruchtfolgeversuch fand im Frühjahr 2003 statt. Nach dem Pflügen des gesamten Versuchsfeldes erfolgte die Saatbettbereitung entsprechend der jeweiligen Fruchtarten. Im Jahr 2003 wurde anstelle von Wintertriticale (WT) Sommertriticale (ST) angebaut. Sommergerste, Ackerbohnen und Mais wurden in allen drei Versuchsjahren im Frühjahr gesät. Die Aussaat von Klee gras fand nur für das Erntejahr 2003 im Frühjahr statt, für die Jahre 2004 und 2005 im Herbst 2003 beziehungsweise 2004. Die Saatgutmischung für das Klee gras bestand aus Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum*) und Rotklee (33 %) in Anlehnung an die Standardmischung A1 plus und wurde mit  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  ausgesät. Die Saatgutmischung des im Frühjahr 2003 ebenfalls mit  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  angesäten Grünlands variierte im Kleeanteil je nach geplanter Intensität der Bewirtschaftung. Für GL++ betrug der Weißkleeanteil 13 %, für GL+ 7 % und für GL0 aus 0 % Weißklee. Der Gräseranteil war von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) dominiert, enthielt aber auch Wiesenrispe (*Poa pratensis*) und Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*) in Anlehnung an die Standardmischung G III o. Im Frühjahr 2003 gab es längere Zeiten ohne nennenswerten Niederschlag, so dass die Saaten zu einem erheblichen Teil schlecht oder gar nicht auf liefen (Kapitel 2.3). Da die Witterung auch das Auflaufen des Klees stark behindert hatte, wurde im Frühjahr 2004 Weißklee mit einer Schlitzdrille nachgesät. Die GL++-Parzellen wurden mit  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  Weißklee nachgesät, die GL+-Parzellen mit  $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . Die GL0-Variante wurde nicht nachgesät. In der Klee gras-Fruchtfolge (KgFL) war nach der Aussaat im Herbst 2004 die Saat nicht optimal aufgelaufen, woraufhin im Frühjahr 2005 entsprechend  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  Rotklee nachgesät wurden.

Die Festmistausbringung zu den Versuchsgliedern MaF100 und MaF200 erfolgte per Hand, längstens 2 Wochen vor der Aussaat mit anschließender flacher Einarbeitung (Grubber) am selben Tag. Die Mistmenge zum Wintertriticale wurde in zwei Gaben aufgeteilt. Die erste erfolgte kurz vor der Saat, die zweite im Frühjahr als Kopfdüngung gleichzeitig mit der Düngung der Sommergerste. Einen Tag vor der Ausbringung wurde der Festmist mit Hilfe eines Miststreuers homogenisiert. Die Menge des auszubringenden Mistes wurde anhand der mittleren N-Gehalte des entsprechenden Stapelmistes des vorangegangenen Versuches von Kosch (2003) bemessen und später anhand der eigenen Analysen validiert (Kapitel 2.3.3 und 3.1.2).

Nach der Ernte von Getreide, Ackerbohnen und Mais erfolgte keine Stoppelbearbeitung und es wurden keine Zwischenfrüchte angebaut. Dadurch sollte die direkte Betrachtung der Effekte einzelner Feldfrüchte gewährleistet werden. Durch den Verzicht auf Bodenbearbeitung wurde zudem die Mineralisation nicht zusätzlich angeregt. Das verbleibende Beikraut fungierte über Winter in einem gewissen Maße

als Zwischenfrucht. Das Stroh von Sommergerste, Wintertriticale und Ackerbohnen wurde gehäckselt und auf dem Feld belassen. Das Rotklee gras wurde einjährig angebaut, die Grünlandparzellen waren als Dauergrünland angelegt. Im Herbst 2005, nach der letzten Ernte im Rahmen des Fruchtfolgeversuches, wurden Klee gras und Wintertriticale eingesät, als ob die Fruchtfolge weiter geführt würde. Für den Nachbauversuch mit Sommertriticale im Jahr 2006 wurden im Frühjahr vor dem Pflügen alle Parzellen mit  $5 \text{ t ha}^{-1}$  Pferdemist gedüngt, was einer Stickstoffgabe von rund  $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  entsprach. Nach der Ernte im August 2006 wurde das Stroh auf der Fläche belassen. Im Herbst erfolgte dann eine Stoppelbearbeitung mit anschließender Aussaat eines Erbsengemenges.

Das Versuchsfeld wurde zu keiner Zeit bewässert.

## **2.3 Datenerhebung**

Die Datenerhebung bestand aus den Beprobungen der oberirdischen Pflanzenteile der Feldfrüchte, der Bestimmung ausgewählter pflanzenbaulicher Parameter, jeweils einer  $N_{\min}$ - Beprobung zum Sickerwasserperiodenbeginn und zum Sickerwasserperiodenende, der Beprobung des ausgebrachten Mistes sowie der Beprobung des Sickerwassers. Im ersten Versuchsjahr (2003) fiel die Ernte von Grünland, Klee gras und Ackerbohnen aufgrund der extrem trockenen Witterungsverhältnisse zum Auflaufen der Saat und über das Sommerhalbjahr aus (Kapitel 2.2.2). Getreide und Mais konnten beerntet werden. Aufgrund der lückenhaften Daten für 2003 wurde darauf verzichtet dieses Jahr in die statistischen Berechnungen einfließen zu lassen.

### **2.3.1 Klee gras und Grünland**

Zur Ernte der Grünfütterbestände wurde eine Kernfläche von  $13 \text{ m}^2$  in jeder Parzelle mit einem Balkenmäher beerntet. Die Schnitthöhe betrug  $5 \text{ cm}$ . Der Frischmasseertrag wurde durch Wiegen bestimmt. Durch Separierung repräsentativer Teilproben konnte für jede Parzelle der Kleeanteil festgestellt werden.

### **2.3.2 Getreide, Ackerbohnen und Mais**

Zur Ermittlung des Korn- und Strohertrages des Getreides wurde mit einem Parzellendrescher eine Kernbeerntung (2 Streifen à  $1,8 \times \text{ca. } 9,0 \text{ m}$ ) der Parzellen durchgeführt und das Erntematerial gewogen. Weiterhin wurden die Tausendkornmasse (TKM), die Ähren  $\text{m}^{-2}$  und die Körner  $\text{Ähre}^{-1}$  erfasst. Für die Ernte der Ackerbohnen wurden 4 Reihen à  $9 \text{ m}$  gemäht und der Korn- und Strohertrag durch Wägung bestimmt. In den Maisparzellen wurden 4 Pflanzenreihen mit einer Länge von  $9 \text{ m}$  per Hand geerntet, gewogen und als Ganzpflanzen gehäckselt, je Parzelle entsprach das einer Zahl von 80 Einzelpflanzen. Für Getreide, Ackerbohnen und Mais wurden nach der Ernte für jede Parzelle die Stoppelhöhen gemessen. Zur weiteren Bestimmung der Inhaltsstoffe wurden aus dem jeweils geernteten Material repräsentative Teilproben gezogen.

### 2.3.3 Festmist

Der Festmist stammte aus einem Tiefstreustall der Aberdeen Angus Mutterkuhherde des Biohofes Bakenhus. Es wurden 8 kg Stroh pro Großvieh und Tag eingestreut und in einem Intervall von 2 Monaten ausgemistet. Nach einer Lagerung von 120 Tagen als Stapelmist auf der befestigten Mistplatte wurde der Mist einen Tag vor der Ausbringung mit einem Miststreuer homogenisiert. Am Tag der Ausbringung erfolgte die Beprobung. Dazu wurden bei jedem Ausbringungstermin zwei Mischproben à ein bis zwei kg Frischmist entnommen. Die Mistproben wurden gekühlt und innerhalb eines Tages bei  $-20\text{ °C}$  bis zur Analyse eingefroren.

Im Folgenden werden die Analysen des im Fruchtfolgenversuch ausgebrachten Festmistes (Stapelmist) mit den Analysen des Stapelmistes des vorangegangenen Feldversuches (Kosch 2003) verglichen. Der Festmist stammte bei beiden Experimenten vom Biohof Bakenhus. Die eigenen Analysen des Festmistes ergaben einen mittleren N-Gehalt des Stapelmistes in der Trockenmasse von  $22,9\text{ g kg}^{-1}\text{ N}$  (Kosch 2003:  $27,4\text{ g kg}^{-1}\text{ N}$ ) (Tab. 7). Während Kosch (2003) die Mistproben im halbgefrorenen Zustand zerkleinert hat, um sie dann anschließend zu analysieren, wurden die eigenen Proben schonend getrocknet und dann auf 1 mm vermahlen. Dadurch wurde zwar eine deutlich bessere Durchmischung des heterogenen Probenmaterials erreicht, die gasförmigen Verluste waren aber deutlich höher und der Ammoniumgehalt entsprechend geringer. Bei der Berechnung der tatsächlich ausgebrachten N-Mengen wurde deswegen der Ammoniumgehalt der eigenen Analysen durch den Wert aus Kosch (2003) ersetzt.

**Tab. 7: Mittlere Inhaltsstoffe des 120 Tage gelagerten Stapelmistes im Vergleich zu den Werten des vorangegangenen Versuches von Kosch (2003)**

	Nt	NH <sub>4</sub> -N	Ct	Asche
	g kg <sup>-1</sup> TM <sup>-1</sup> N	g kg <sup>-1</sup> TM <sup>-1</sup> N	g kg <sup>-1</sup> TM <sup>-1</sup> C	g kg <sup>-1</sup> TM <sup>-1</sup>
Eigener Mittelwert	22,9	0,2	395	248
Mittelwert Kosch (2003)	27,4	3,0	330	285

Nt (Gesamtstickstoff), Ct (Gesamtkohlenstoff), TM (Trockenmasse), NH<sub>4</sub> (Ammonium)

Die Trocknung der Festmistproben vor der Analyse im Gegensatz zu den halbgefroren belassenen Mistproben im Versuch von Kosch (2003) (Kapitel 2.4.2) hatte entsprechende gasförmige Verluste zur Folge, so dass die Ammonium-Gehalte vor der Analyse deutlich gemindert wurden. Bei der Berechnung der tatsächlich ausgebrachten N-Mengen wurde deswegen der mittlere Ammonium-Gehalt der eigenen Analysen durch den Wert aus Kosch (2003) ersetzt. Im Mittel wurden demnach statt der geplanten  $100$ , beziehungsweise  $200\text{ kg ha}^{-1}\text{ N}$   $89$ , beziehungsweise  $177\text{ kg ha}^{-1}\text{ N}$  ausgebracht. Kosch (2003) ermittelte in seinem Versuch spezifische Emissionen für den Mist des Biohofs Bakenhus. Nach Abzug dieser NH<sub>3</sub>-Emissionen während der Ausbringung von  $5,3\%$  (Emissionen bei 12 Stunden bis zur Einarbeitung) bleiben netto  $83$ , beziehungsweise  $167\text{ kg ha}^{-1}\text{ N}$ , die tatsächlich in den Stickstoffpool des Bodens Einzug fanden. Von der Kopfdüngung des Wintertriticales im Frühjahr wurden für diese Berechnung Ammoniak-Verluste nach Kosch (2003) von  $8,7\%$  des ausgebrachten Stickstoffs subtrahiert.

### 2.3.4 Sickerwasser

Typischerweise findet unter den klimatischen Bedingungen des Versuchsstandortes der größte Anteil der N-Auswaschung in den Wintermonaten statt, wenn der Niederschlag hoch und die Evapotranspiration niedrig ausfallen. Die Sickerwassermenge wurde mit dem Wasserhaushaltsmodell „Simpel“ des Instituts für Wasserwirtschaft der Universität Kiel geschätzt (Hörmann, 1997). In diesem Modell werden Verdunstung und Abfluss nach Haude und Gugla berechnet. Das Modell wurde mit Hilfe von Standortdaten, aktuellen Wetterdaten und kulturspezifischen Daten an die Gegebenheiten des Versuchs angepasst. Dazu wurden folgende Standardwerte und standortbezogene Daten zu Boden, Pflanzenbeständen und Wetter benötigt:

- Tägliche Niederschläge in mm (standortbezogene Daten vom DWD, 1 km entfernte Wetterstation Großenkneten/Ahlhorn)
- Relative Luftfeuchte und Temperatur um 14.00 h (standortbezogene Daten vom DWD, 1 km entfernte Wetterstation Großenkneten/Ahlhorn)
- Zeitreihe der Blattflächenindices (persönliche Mitteilung Löpmeier 2010; Hough 1990; Aufhammer 1995; Geyger 1977; Münch 1993; Schrödter 1985)
- Daten zu Aussaat, Ernte, Schnittregime Grünfutterbestände (eigene Daten)
- Blattinterzeption bei max. LAI (persönliche Mitteilung Hörmann 2010)
- Haude-Koeffizient, abhängig von Kulturart und Monat (mit Hilfe von Hörmann (2010) ergänzte modellinterne Information)
- Ausgewählte bodenphysikalische Parameter (standortbezogene Daten von Meyer 2000 und eigene Annahmen auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Finnern et al. 2005))

Bei einigen wenigen Punkten mussten Annahmen getroffen werden, die sich auf Literaturwerte und persönliche Mitteilungen durch Herrn Löpmeier (2010) des DWD und Herrn Hörmann (2010) als Entwickler des Modells „Simpel“ stützten. Das Modell konnte gut an die versuchsspezifischen Gegebenheiten angepasst werden. Tab. 8 zeigt die Sickerwassermengen im Zeitraum von 2004 bis 2007 jeweils für die hydrologischen Jahre vom 1.4. bis 31.3. und die Sickerwassermengen der Sickerwasserperioden von 2004 bis 2007.

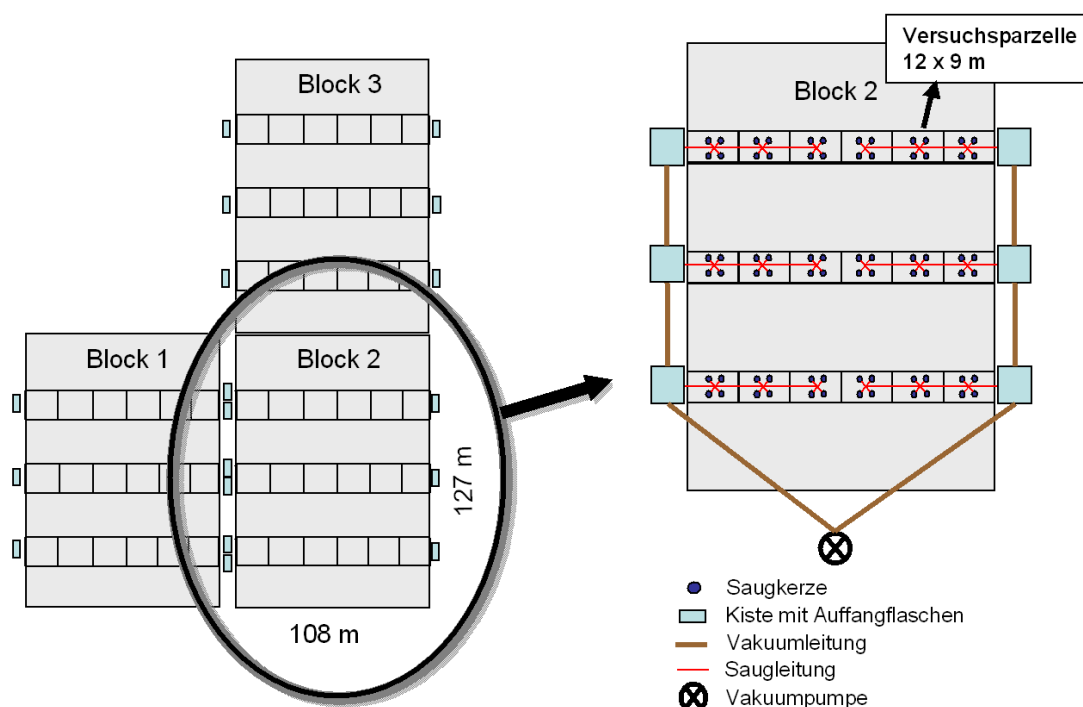
**Tab. 8: Mittels des Modells Simpel (Hörmann 1997) ermittelte Sickerwassermengen (mm m<sup>-2</sup>) des Versuchsstandortes für die Hydrologischen Jahre 2004-2007 und die Sickerwasserperioden der Jahre 2004-2007**

Hydrologisches Jahr	1.04.04 - 31.03.05	1.04.05 - 31.03.06	1.04.06 - 31.03.07	Mittelwert
Sickerwassermenge (mm m <sup>-2</sup> )	408	359	501	423
Sickerwasserperiode	4.10.04 - 23.5.05	8.11.05 – 27.4.06	1.11.06 – 16.4.07	Mittelwert
Sickerwassermenge (mm m <sup>-2</sup> )	324	210	363	299

Das hydrologische Jahr 05/06 wies die geringste Sickerwassermenge auf. Auch im Vergleich der Sickerwasserperioden war der Winter 05/06 der trockenste. Die meisten

Niederschläge fielen im hydrologischen Jahr 06/07 und der zugehörigen Sickerwasserperiode und führten zu entsprechend hohen Sickerwassermengen.

Die  $\text{NO}_3$ -Konzentrationen im Sickerwasser wurden mit Hilfe der Saugkerzen-Methode bestimmt. Hierzu wurde im Jahre 1999 auf dem Versuchsfeld eine stationäre, kontinuierlich betriebene Saugkerzenanlage eingebaut (Abb. 2). Jede Parzelle enthielt vier keramische Tensiometerzellen (P 80), die in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Bodenoberfläche in 70 cm Bodentiefe eingebracht wurden (DVWK 1990). Zur Gewinnung einer Sickerwasserprobe des gering gespannten, beweglichen Bodenwassers wurde während der winterlichen Sickerwasserperiode ein kontinuierliches Vakuum von etwa 0,4 bar angelegt. Die gewonnene Bodenlösung wurde am Feldrand in braunen Laborflaschen, die in relativ frostsicheren verschließbaren Kisten installiert waren, aufgefangen.



**Abb. 2: Schematische Darstellung der Versuchsanlage und der Saugkerzenanlage**

Im Zeitraum vom Sickerwasserbeginn an bis zum Ende der Sickerwasserperiode wurde das Sickerwasser aus den Auffangflaschen alle zwei Wochen beprobt und im Labor auf die  $\text{NO}_3\text{-N}$  Konzentration untersucht. Aufgrund von Erfahrungswerten (Kosch 2003) wurde die Sickerwasseranlage im Herbst in Betrieb genommen. Sobald innerhalb von zwei Wochen eine ausreichende Anzahl der Auffangflaschen Sickerwasser gesammelt hatten, wurde das erste Mal beprobt. Der Beginn der Sickerung wurde anhand des Sickerungsbeginns, den der DWD für diese Gegend bestimmte, sowie des Sickerungsbeginns, den das Wasserhaushaltsprogramm „Simpel“ (Hörmann 1997) anzeigte, auf Plausibilität überprüft. Während der Frostperioden konnte kein Sickerwasser entnommen werden. Der Ausfall eines großen Teils der Auffangflaschen bestimmte dann im Frühjahr das Ende der Sickerwasserperiode. Um die Nitratauswaschung zu quantifizieren, wurde für jeden Proben-



nahmetermin die Summe der mittels des Wasserhaushaltsprogramms „Simpel“ modellierten Sickerwassermengen der vorangegangenen Tage bis zum letzten Probennahmetermin gebildet. Die Nitrat-N-Fracht wurde anschließend aus dem Produkt von Sickerwassermenge und der Nitrat-N-Konzentration errechnet, da angenommen wurde, dass die Nitratkonzentration einer Probe den mittleren Gehalt an Nitrat im Sickerwasser über den Zeitraum bis zur letzten Probennahme darstellt.

### 2.3.5 Mineralischer Bodenstickstoff ( $N_{\min}$ )

Begleitend zur Sickerwasserbeprobung wurde zu Beginn und Ende der Sickerwasserperiode der mineralische Bodenstickstoffgehalt mittels der  $N_{\min}$ -Methode bestimmt ( $N_{\min}$ , 0-90 cm). Mit Hilfe eines Pürkhauer Bohrstocks wurden Bodenproben in drei Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) gewonnen. Je Parzelle wurden drei Einstiche zu einer Mischprobe vermengt. Nach der Probennahme wurden die Bodenproben bis zur Analyse tiefgefroren.

## 2.4 Analytik

### 2.4.1 Grünland/Klee gras und Feldfrüchte

Nach der Probennahme wurden alle Pflanzenproben schnellstmöglich bei 60 °C im Trockenschrank getrocknet. Im getrockneten und vermahlenden Material (<1 mm) wurde der Gesamt-N-Gehalt (Nt) und der Trockensubstanzgehalt (105 °C) direkt bestimmt. Der Stickstoffgehalt des Erntegutes wurde mit einem automatischen Stickstoffanalysator der Firma Heraeus (Macro-N) mit der verbesserten Methode nach Dumas quantifiziert. Im Falle von Getreide und Ackerbohnen wurden Korn und Stroh getrennt analysiert. Für die Maisproben wurde die gesamte Pflanze gehäckselt. Bei Klee gras und Grünland wurden Proben des Grünschnittes für die Stickstoffanalyse verwendet.

### 2.4.2 Festmist

Vor der Analyse wurden die bei -20 °C gelagerten Festmistproben im Trockenschrank bei 35°C ohne Umluft mehrere Tage getrocknet und anschließend in der Retsch-Mühle auf weniger als 1 mm zerkleinert. Proben gleichen Datums wurden zu einer Mischprobe vereinigt (Aliquote) und die Gehalte von Trockenmasse (TM), Asche, Gesamtkohlenstoff (Ct), Gesamtstickstoff (Nt) und Ammonium ( $NH_4$ ) an der vorgetrockneten Probe bestimmt. Der Trockenmassegehalt wurde bei 105°C bestimmt. Die Aschegehalte wurden im Muffelofen bei 550 °C bestimmt. Am LECO SC-444 Schwefel- und Kohlenstoffanalysator wurden die Kohlenstoffgehalte bestimmt. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes erfolgte mit dem automatischen Stickstoffanalysator Macro-N der Firma Heraeus. Die Ammoniumbestimmung erfolgte photometrisch nach Extraktion mit 12,5 mmol  $CaCl_2$ -Lösung mit dem automatischen Filterphotometer EPOS-Analyzer 5060 der Firma Eppendorf. Im vorangegangenen Versuch von Kosch (2003) wurden die Proben vor der Analyse nicht getrocknet, sondern im halbgefrorenen Zustand zerkleinert und anschließend mit dem automatischen Stickstoffanalysator Macro-N der Firma Heraeus bestimmt.

### 2.4.3 Sickerwasser

Die Sickerwasserproben wurden unmittelbar nach der Gewinnung durch N-freie Faltenfilter filtriert und am folgenden Tag analysiert. Die Bestimmung der Konzentrationen von  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ , und  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  im Sickerwasser erfolgte photometrisch am „EPOS 5060“ auf Basis der Indophenolblaureaktion (modifizierte Berthelot-Reaktion) bzw. einer modifizierten Griess-Reaktion bzw. einer Reduktion mit Hydrazin gefolgt von einer modifizierten Griess-Reaktion.

### 2.4.4 Bodenchemische Kennzahlen

Nach den Verbandsmethoden der VDLUFA (VDLUFA 1995) wurden die bodenchemikalischen Kennzahlen am luftgetrockneten Boden quantifiziert. Die Gehalte an Phosphor und Kalium wurden nach dem Bodenaufschluss über die CAL-Methode bestimmt. Für den Phosphor wurden die Gehalte mittels des „EPOS-Analyzer“ photometrisch analysiert. Die Gehalte an Kalium wurden mit dem Atom-Absorptions-Spektrometer (Varian SpectrAA 300) gemessen. Der pH-Wert der Bodenproben wurde in einer 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  Lösung gemessen.

### 2.4.5 Mineralischer Bodenstickstoff

Die mineralischen Bodenstickstoffgehalte ( $\text{N}_{\text{min}}$ ) wurden nach der  $\text{N}_{\text{min}}$ -Methode ermittelt. Hierzu wurde der Boden eine Stunde mit einer Extraktionslösung aus 12,5 mmol  $\text{CaCl}_2$  im Überkopfschüttler geschüttelt. Anschließend wurde sie in stickstofffreiem Filterpapier filtriert. Das gewonnene Filtrat wurde abschließend mit dem Filterphotometer „EPOS-Analyzer 5060“ der Firma Eppendorf auf den  $\text{NO}_3\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  Gehalt hin gemessen.

## 2.5 Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Genstat 6.1 (Payne 2002). Der Fruchtfolgeversuch war als Spaltanlage (split-plot) angelegt. In diesem Design waren die Fruchtfolgen (Versuchsglieder) als Großteilstücke auf einzelne Blöcke verteilt und die jeweils gleichzeitig angebauten Früchte der Versuchsglieder auf die Kleinteilstücke innerhalb der Großteilstücke. Das statistische Modell ist insofern nicht orthogonal, als dass nicht in allen Versuchsgliedern die gleichen Kulturen zu insgesamt gleichen Anteilen angebaut wurden (unbalanciertes Design). Es gab jeweils 15 Parzellen mit Wintertriticale und Sommergerste als direkte Vorfrucht, 9 Parzellen mit Mais und jeweils 3 Parzellen mit Klee gras, Ackerbohnen und Gras mit verschiedenen Kleeanteilen, welche in die Berechnung der dargestellten Mittelwerte eingingen. Für die statistische Auswertung (ANOVA, Mixed Models) fand eine Prüfung der Originaldatensätze und der Residuen auf ihre Normalverteilung hin statt. Für den Fall zu starker Abweichungen wurde das Modell zur Absicherung der Ergebnisse mit logarithmierten Werten berechnet.

Die Durchführung der statistischen Auswertung erfolgte auf zwei Ebenen. Zunächst wurde der Einfluss der Versuchsglieder (Fruchtfolge) mit einer einfachen Varianzanalyse (ANOVA) auf der Ebene der Großteilstücke geprüft, wobei über die drei

Kulturen eines Versuchsgliedes gemittelt wurde. Dies erschien gerechtfertigt, da hier zunächst der durchschnittliche Effekt des Versuchsgliedes von Interesse war. Der Vergleich der Mittelwerte (predicted means) der einzelnen Versuchsglieder wurde auf den Grenzdifferenzen (l.s.d.: least significant differences) basierend angestellt. Die Grenzdifferenzen ergeben sich aus den Standardfehlern der Mittelwertdifferenzen, multipliziert mit dem t-Wert für die Freiheitsgrade des Standardfehlers. Als predicted means werden in Genstat Mittelwerte von Behandlungen bezeichnet, die über Modelle (ANOVA, REML) berechnet werden und entsprechende Adjustierungen berücksichtigen.

Um in einem zweiten Schritt den Einfluss der Kultur, trotz des auf dieser Ebene nicht balancierten Ansatzes, zu berücksichtigen, wurden „Linear Mixed Models“ (REML, restricted maximum likelihood) gerechnet. Ein Unterschied der REML Analyse zur ANOVA besteht darin, dass die Untersuchung der Nullhypothese („Es gibt keinen Effekt“) nicht mit dem F-Test sondern mit dem WALD-Test durchgeführt wird. Anders als die F-Statistik, die einer genauen F-Verteilung folgt, richtet sich die Wald-Statistik nach der Chi-Quadrat ( $\chi^2$ ) Verteilung, allerdings nur asymptotisch. Die Validität des Wald-Tests hängt dabei auch von der Stichprobengröße ab. Die Ergebnisse der Mixed Models stellen in diesem Feldversuch eine Erweiterung des ANOVA Ansatzes dar. Bei der ANOVA Berechnung wird angenommen, dass sich die Effekte der Vorfrüchte über die Jahre akkumulieren und angleichen und somit gemittelt werden können. Dagegen wird bei dem Mixed Models Ansatz davon ausgegangen, dass auch die direkte Frucht einen Effekt auf die untersuchten Parameter hat. Die Ergebnisse der ANOVA werden durch den erweiterten Ansatz in der Regel bestätigt und höchstens leicht modifiziert. Ein direkter Mittelwertvergleich ist über den Mixed Models Ansatz nur eingeschränkt möglich. In den Tabellen wird der Standardfehler der Mittelwertdifferenzen (s.e.d., standard error of differences of the mean) angegeben. Bedingt durch die nicht balancierte Datenlage werden in den Tabellen für die Wechselwirkungen der Fruchtfolgen und der einzelnen Früchte zusammenfassend für die Standardfehler der Mittelwertdifferenzen neben dem Durchschnitt auch ein Maximum- und Minimumwert angegeben. Eine annähernde Grenzdifferenz kann für einen weitergehenden Vergleich mit etwa  $2 \cdot \text{s.e.d.}$  angenommen werden (Andrist-Rangel et al. 2007).

## 2.6 Berechnung der als Düngeäquivalent benötigten Grünlandfläche

Für den Vergleich der Fruchtfolgen im Fruchtfolgeversuch hinsichtlich ihrer Effizienz in der N-Ausnutzung wurde das Grünland als N-Lieferant der Maisfruchtfolgen in die Ergebnisse (N-Ertrag und N-Auswaschung) der Fruchtfolgen integriert (Kapitel 3.4). Diese Integration basiert auf dem Konzept (Kapitel 1 und 4), dass eine Intensivierung des Grünlands zu einem N-Mehrertrag führt und somit zu einer erhöhten Wirtschaftsdünger-N-Menge, die den Ersatz von Ackerleguminosen und den Anbau von Mais im Ackerbau erlaubt. Auf dieser konzeptionellen Grundlage wurden in die Fruchtfolgen mit Ackerleguminosen (AbFL und KgFL) das extensive Grünland (GL0) und in die Maisfruchtfolgen (MaF100 und MaF200) die intensiven Grünlandvarianten (GL+ und GL++) rechnerisch einbezogen. Die zur Düngung der aufeinanderfolgenden Kulturen Mais, Sommergerste und Wintertriticale einer Maisfruchtfolgen-Parzelle benötigte Stickstoffmenge (100 bzw. 200 kg ha<sup>-1</sup> N) wurde indirekt durch den N-Ertrag einer entsprechend großen Grünlandfläche gedeckt. Mit der Berechnung dieser Grünlandfläche konnte ein gewichtetes Mittel der N-Erträge bzw. der N-Auswaschungen der Kulturen einer Fruchtfolge und der entsprechenden Grünlandvariante gebildet werden. Im Folgenden ist beispielhaft die Integration der Grünlandvariante GL+ in den N-Ertrag der Maisfruchtfolge MaF100 dargestellt. Im ersten Schritt wurde dazu die Stickstoffmenge ( $N_{\text{Ausbringung, GL+}}$ ) berechnet, die vom N-Ertrag des Grünlands nach Fütterung des Aufwuchses und Lagerung des Wirtschaftsdüngers übrig blieb und somit zur Düngung der Maisfruchtfolgen zur Verfügung stand:

$$N_{\text{Ausbringung, GL+}} = N_{\text{Ertrag, GL+}} * c$$

mit

$N_{\text{Ausbringung, GL+}}$	vom Grünland (GL+) zur Ausbringung bereitgestellte Stickstoffmenge (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$N_{\text{Ertrag, GL+}}$	N-Ertrag der Grünlandvariante GL+ (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$c$	Koeffizient ( $c=0,66$ , berechnet nach Dämmgen et al. 2002, Haenel et al. 2012)

Der Koeffizient  $c$  stellt dabei den Anteil des N-Ertrags des Grünlands dar, der von der mittleren N-Aufnahme der durchschnittlichen Milchkuh (660 kg Lebendmasse, 7240 kg a<sup>-1</sup> Milchleistung, 4,13 % Fett, 3,41 % Eiweiß) des deutschen Emissionsinventars im Jahr 2010 der Submission 2012 (Dämmgen et al. 2002, Haenel et al. 2012) nach N-Ausscheidung und Abzug der N-Verluste aus Stall- und Lager zur Düngung (Ausbringung) übrig bleibt.  $N_{\text{Ausbringung, GL+}}$  wurde dann als Grundlage für den zweiten Schritt herangezogen: Die Berechnung der für die Düngung der Maisfruchtfolgen benötigten Grünlandfläche ( $ha_{\text{GL+100}}$ ):

$$ha_{\text{GL+100}} = \frac{N_{\text{Düngung, MaF100}}}{N_{\text{Ausbringung, GL+}}}$$

mit

$ha_{\text{GL+100}}$	Grünlandfläche (GL+) zur Bereitstellung von 100 kg Dünger-N (ha)
$N_{\text{Düngung, MaF100}}$	N-Düngemenge der Maisfruchtfolge MaF100 (100 kg a <sup>-1</sup> N)
$N_{\text{Ausbringung, GL+}}$	vom Grünland (GL+) zur Ausbringung bereitgestellte Stickstoffmenge (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)

Der mittlere N-Ertrag der Maisfruchtfolge MaF100 inklusive der Grünlandvariante GL+ wurde dann im dritten Schritt folgendermaßen berechnet:

$$N_{Ertrag, MaF100} = \left( \frac{N_{Ertrag, MA} * ha_{MA} + N_{Ertrag, GL+} * ha_{GL+100}}{ha_{MA} + ha_{GL+100}} + \frac{N_{Ertrag, WT} * ha_{WT} + N_{Ertrag, GL+} * ha_{GL+100}}{ha_{WT} + ha_{GL+100}} + \frac{N_{Ertrag, SG} * ha_{SG} + N_{Ertrag, GL+} * ha_{GL+100}}{ha_{SG} + ha_{GL+100}} \right) / 3$$

mit

$N_{Ertrag, MaF100}$	mittlerer N-Ertrag der Maisfruchtfolge MaF100 (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$N_{Ertrag, MA}$	N-Ertrag des Mais aus MaF100 (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$ha_{MA}$	Maisfläche aus MaF100 (ha)
$N_{Ertrag, GL+}$	N-Ertrag der Grünlandvariante GL+ (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$ha_{GL+100}$	Grünlandfläche (GL+) zur Bereitstellung von 100 kg Dünger-N (ha)
$N_{Ertrag, WT}$	N-Ertrag des Wintertriticale aus MaF100 (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$ha_{WT}$	Wintertriticalefläche aus MaF100 (ha)
$N_{Ertrag, SG}$	N-Ertrag der Sommergerste aus MaF100 (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> N)
$ha_{SG}$	Sommergerstefläche aus MaF100 (ha)

Analog dazu wurden die übrigen N-Erträge und die N-Auswaschungen der Fruchtfolgen berechnet.

### 3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden Ergebnisse aus dem Fruchtfolgeversuch (2003-2005) und Ergebnisse des Nachbauversuchs (2006) dargestellt. Die Werte beziehen sich durchgehend auf die Trockenmasse bei 105°C. Die Kornerträge verstehen sich inklusive Fremdbesatz (etwa 8% im Fruchtfolgeversuch und 5% im Nachbauversuch), um bei den N Erträgen die gesamte Abfuhr vom Feld darstellen zu können. Die aufgrund der Witterung lückenhaften Ergebnisse aus dem Jahr 2003 (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.3) sind im Anhang (Kapitel 1) dargestellt. Sie wurden nicht in die statistische Auswertung einbezogen, da die entscheidenden Ertragsdaten zu den Kulturen Mais, Ackerbohnen, Klee gras und Grünland aufgrund der extremen Trockenheit zur Zeit des Auflaufens vollständig fehlten. Im Anhang finden sich trotzdem die  $N_{\min}$ -Mengen und N-Auswaschungen der Versuchsglieder (Tab. 44). Um robustere Werte für den Vergleich der Fruchtfolgen zu erhalten, wurden die Ergebnisse aus den Jahren 2004 und 2005 gemittelt. Dieses Vorgehen ist gerechtfertigt, da eine statistische Voruntersuchung ergab, dass die Effekte in den Jahren gleichgerichtet waren. Die Ergebnisse der Einzeljahre sind im Anhang zu finden (Kapitel 1). Die folgende Darstellung der Ergebnisse erfolgt in zwei Teilen: im ersten pflanzenbaulichen Teil werden TM-Erträge und Merkmale der N-Erträge des Fruchtfolgen- und Nachbauversuchs ausgewertet und die Grünfütterflächen genau betrachtet; im zweiten Teil werden die Umweltauswirkungen der Versuchsglieder und einzelner Kulturen als Auswaschungspotential (Herbst- $N_{\min}$ ) und N-Auswaschung dargestellt. Im Anhang (Abb. 11) findet sich eine ausführliche Darstellung der zeitlichen Abläufe des Anbaus der Feldfrüchte in den verschiedenen Fruchtfolgen und der Sickerwasserperioden.

#### 3.1 Pflanzenbauliche Aspekte des Fruchtfolgeversuches

In diesem Kapitel werden im Wesentlichen die TM-Erträge, N-Erträge und N-Konzentrationen der Versuchsglieder und der Kulturen innerhalb der Versuchsglieder dargestellt. Das Klee gras und die Grünlandvarianten werden in Kapitel 3.1.2 betrachtet, um auf die Kleeanteile und deren Effekte auf TM-Erträge, N-Erträge und N-Konzentrationen der Bestände einzugehen.

##### 3.1.1 Einfluss der Fruchtfolgen auf pflanzenbauliche Eigenschaften der Kulturen (2004 und 2005)

Im ersten Abschnitt der Ergebnisdarstellung des Fruchtfolgeversuches wird der Einfluss der sechs Versuchsglieder auf pflanzenbauliche Parameter im Mittel der Jahre 2004 und 2005 dargestellt. Der Mittelwert eines Versuchsgliedes versteht sich als Mittel aller drei Kulturen dieses Versuchsgliedes. Für die Kulturen Mais, Klee gras und Grünland ging die geerntete oberirdische Biomasse der gesamten Pflanze in die Berechnung ein, von Getreide und Ackerbohne nur das Korn beziehungsweise die Bohnen. Sommergerste und Wintertriticale sind in allen Versuchsgliedern vorhanden. Die dritte Kultur eines Versuchsgliedes ist je nach Versuchsglied Mais, Ackerbohne oder Klee gras. Die Ertrags- und Stickstoffdaten der Versuchsglieder (VG) sind in Tab. 9 dargestellt.

**Tab. 9: TM- und N-Ertrag sowie N-Konzentration der Versuchsglieder im Mittel der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern) sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglied (VG)	TM-Ertrag	N-Ertrag	N-Konzentration
	Korn/Pflanze <sup>2</sup> t ha <sup>-1</sup>	Korn/Pflanze <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup>	Korn/Pflanze <sup>2</sup> g kg <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,001	p<0,001	p<0,001
MaF0	2,48 (0,69)	34,9 (3,39)	14,9 (2,69)
MaF100	3,07 (0,92)	43,4 (3,62)	15,0 (2,70)
MaF200	2,95 (0,88)	43,6 (3,62)	15,6 (2,74)
AbFL	1,87 (0,45)	51,8 (3,49)	23,2 (3,04)
KgFL	3,05 (0,89)	59,7 (3,77)	18,0 (2,88)
GL	6,92 (1,81)	184,4 (5,02)	19,5 (2,91)
I.s.d. <sup>1</sup>	(0,32)	(0,39)	(0,08)

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05);

<sup>2</sup> Erntegut: Korn (Getreide (mit Fremdbesatz) und Ackerbohne), gesamte Pflanze (Mais, Klee gras, Grünland)

Erläuterung: Die Mittelwertvergleiche basieren auf den transformierten Werten;

MaF0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), KgFL (N-Zufuhr mit Rotklee), AbFL (N-Zufuhr mit Ackerbohnen), GL (Dauergrünland), TM (Trockenmasse), N (Stickstoff)

Der TM-Ertrag, der N-Ertrag und die N-Konzentration (Tab. 9) wurden signifikant von den Versuchsgliedern beeinflusst. Die AbFL Fruchtfolge verzeichnete die geringsten Erträge, hatte aber auch als einziges Versuchsglied keine Kultur, die als Ganzpflanze in die Berechnung einging. Bedingt durch den höchsten N-Gehalt in der Trockenmasse von 23,2 g kg<sup>-1</sup> N bewegte sich der N-Ertrag mit 51,8 kg ha<sup>-1</sup> N trotzdem zwischen den N-Erträgen der Versuchsglieder MaF200 und KgFL. Grünland hingegen als rein als Ganzpflanze beerntetes Versuchsglied realisierte mit 6,92 t ha<sup>-1</sup> TM einen vergleichsweise sehr hohen Trockenmasseertrag. Zusammen mit einem hohen N-Gehalt von 19,5 g kg<sup>-1</sup> N ergab dies für das Grünland mit 184,4 kg ha<sup>-1</sup> N einen mehr als dreimal so hohen N-Ertrag gegenüber dem Mittel der übrigen Versuchsglieder. Die Versuchsglieder MaF100, MaF200 und KgFL unterscheiden sich im TM-Ertrags nicht signifikant voneinander, bringen aber 0,5–0,6 t ha<sup>-1</sup> höhere Erträge als MaF0. Die im Vergleich hohen N-Konzentrationen des Versuchsgliedes KgFL bewirkten den nach Grünland höchsten N-Ertrag mit 59,7 kg ha<sup>-1</sup> N.

Den Einfluss des Versuchsgliedes auf die TM- und N-Erträge bei Getreide zeigt Tab. 10.

**Tab. 10: TM- und N-Ertrag sowie N-Konzentration von Wintertriticale und Sommergerste (Korn und Stroh) in den einzelnen Versuchsgliedern im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglied (VG)	TM-Ertrag	N-Ertrag	N-Konzentration	TM Ertrag	N-Ertrag	N-Konzentration
	Korn t ha <sup>-1</sup>	Korn kg ha <sup>-1</sup>	Korn g kg <sup>-1</sup>	Stroh t ha <sup>-1</sup>	Stroh kg ha <sup>-1</sup>	Stroh g kg <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,067	p<0,066	p<0,447	p<0,409	p<0,856	p<0,698
MaF0	1,49	24,3	16,1	1,26	13,3	10,3
MaF100	1,84	29,5	16,0	1,31	13,3	10,3
MaF200	1,78	29,2	16,5	1,42	14,3	10,0
AbFL	1,43	23,2	16,1	1,21	12,7	10,7
KgFL	1,70	28,1	16,5	1,29	12,7	10,2
I.s.d. <sup>1</sup>	0,32	5,1				

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05)

Die Düngung mit Mist in MaF100 und MaF200 bewirkte beim Getreide sowohl die höchsten Korn-TM-Erträge mit rund  $1,8 \text{ t ha}^{-1}$  TM als auch die höchsten Korn-N-Erträge mit rund  $29 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Der TM-Ertrag lag demnach ca.  $0,3 \text{ t ha}^{-1}$  höher als der des Getreides in der ungedüngten Kontrolle aus MaF0. Klee gras und die Mistvariante MaF200 erzielten tendenziell die höchsten Korn-N-Konzentrationen. Auffällig war der mit  $1,42 \text{ t ha}^{-1}$  TM höchste Stroh-TM-Ertrag des Getreides im Versuchsglied MaF200 und der mit  $10,7 \text{ g kg}^{-1}$  N höchste N-Gehalt des Getreides im Versuchsglied AbFL.

Im Weiteren werden die einzelnen Kulturen innerhalb der Versuchsglieder im Mittel der Jahre 2004 und 2005 dargestellt. Der  $\chi^2$ -Test für die Wald-Statistik (REML) weist einen größeren Einfluss des Versuchsgliedes und der Fruchtart auf Merkmale des N-Ertrags als auf den TM-Ertrag aus (Tab. 11).

**Tab. 11: Effekte der Versuchsglieder und Fruchtarten auf den TM- und N-Ertrag sowie die N-Konzentration für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML)), berechnet auf der Basis logarithmierter Werte**

	TM-Ertrag Korn/ Pflanze	N-Ertrag Korn/ Pflanze	N-Konzentration Korn/ Pflanze
	p-Wert		
Versuchsglied (VG)	0,011	0,002	<0,001
Fruchtart (FA)	0,002	<0,001	<0,001
VG x FA	0,128	0,042	<0,001

Die Kulturen zeigen deutliche Unterschiede in den Erträgen (Tab. 12).

**Tab. 12: TM-Erträge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern)**

Versuchsglied (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT <sup>1</sup>	SG <sup>1</sup>	MA <sup>2</sup>	AB <sup>1</sup>	KG <sup>2</sup>	GL0 <sup>2</sup>	GL+ <sup>2</sup>	GL++ <sup>2</sup>
	t ha <sup>-1</sup>							
MaF0	1,57 (0,39)	1,40 (0,22)	4,48 (1,46)					
MaF100	1,75 (0,52)	1,92 (0,64)	5,54 (1,60)					
MaF200	1,61 (0,45)	1,96 (0,63)	5,28 (1,57)					
AbFL	1,35 (0,24)	1,52 (0,33)		2,86 (0,92)				
KgFL	1,27 (0,20)	2,12 (0,74)			5,77 (1,73)			
GL						5,34 (1,56)	7,13 (1,86)	8,29 (2,00)
s.e.d.:	Auf Ebene des VG		auf Ebene der FA					
Mittel	(0,40)	(0,39)	(0,24)					
Maximum	(0,43)	(0,40)	(0,24)					
Minimum	(0,24)	(0,39)	(0,24)					
a.v.d	(0,16)							

<sup>1</sup> Korn beziehungsweise Bohne; <sup>2</sup> Ganzpflanze

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen) basieren auf den transformierten Werten, 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Erläuterungen: WT (Wintertriticale); SG (Sommergerste); MA (Silagemais); KG (Klee gras); GL0, GL+, GL++ (Dauergrünland mit unterschiedlichen Kleeanteilen, siehe Kapitel 3.1.2)

Vergleicht man die ackerbaulichen Grundfutterpflanzen, wurde mit  $5,8 \text{ t ha}^{-1}$  TM Klee gras (KG) ein nur tendenziell höherer Trockenmasseertrag erzielt als mit Mais (MA) (MaF100 und MaF200) mit rund  $5,4 \text{ t ha}^{-1}$  TM. KG wurde jedoch um 1,3 (GL+)



beziehungsweise  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  TM (GL++) von den kleereichen Grünlandvarianten übertroffen. Die Sommergerste (SG) konnte den dargebotenen Stickstoff hinsichtlich der TM-Ertragsbildung besser nutzen als der Wintertriticale (WT). Mit  $2,1 \text{ t ha}^{-1}$  TM lagen ihre TM-Erträge aus KgFL und die Erträge aus MaF100 und MaF200 mit rund  $1,9 \text{ t ha}^{-1}$  TM auf einem ähnlichen Niveau. WT hingegen erzielte die höchsten Erträge mit rund  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$  TM in den Versuchsgliedern MaF100 und MaF200. Auffälligerweise unterschieden sich die Düngungsintensitäten MaF100 und MaF200 kaum mit einer Tendenz zu höheren TM-Erträgen im Versuchsglied MaF100.

Die N-Erträge reagierten nur zum Teil nach einem ähnlichen Muster wie die TM-Erträge (Tab. 13).

**Tab. 13: N-Erträge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern)**

Versuchsglied (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT <sup>1</sup>	SG <sup>1</sup>	MA <sup>2</sup>	AB <sup>1</sup>	KG <sup>2</sup>	GL0 <sup>2</sup>	GL+ <sup>2</sup>	GL++ <sup>2</sup>
kg ha <sup>-1</sup>								
MaF0	27,4 (3,21)	21,2 (2,95)	56,2 (3,99)					
MaF100	28,9 (3,33)	30,3 (3,36)	71,1 (4,16)					
MaF200	28,3 (3,30)	30,4 (3,39)	72,1 (4,18)					
AbFL	22,5 (3,04)	23,8 (3,07)		117,7 (4,66)				
KgFL	21,3 (3,00)	35,3 (3,53)			122,4 (4,77)			
GL						115,3 (4,61)	193,4 (5,13)	244,6 (5,31)
s.e.d.:	Auf Ebene des VG			auf Ebene der FA				
Mittel	(0,44)	(0,45)		(0,23)				
Maximum	(0,49)	(0,46)		(0,23)				
Minimum	(0,23)	(0,45)		(0,23)				
a.v.d	(0,20)							

<sup>1</sup> Korn beziehungsweise Bohne; <sup>2</sup> Ganzpflanze

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen) basieren auf den transformierten Werten, 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Im Vergleich der ackerbaulichen Grundfutterpflanzen erzielte KG aufgrund seiner höheren N-Konzentration von  $21,0 \text{ g kg}^{-1}$  N mit  $122,4 \text{ kg ha}^{-1}$  N einen deutlich höheren N-Ertrag als MA mit  $71,6 \text{ kg ha}^{-1}$  N (im Mittel von MaF100 und MaF200) aufgrund seiner N-Konzentration von  $13,4 \text{ g kg}^{-1}$  N (Tab. 13 und Tab. 14). N-Konzentrationen von  $17,7 \text{ g kg}^{-1}$  N (GL+) und  $27,8 \text{ g kg}^{-1}$  N (GL++) im Zusammenspiel mit hohen TM-Erträgen (Tab. 12) bewirkten, dass die N-Erträge der Grünlandvarianten GL+ und GL++ mit  $193,4 \text{ kg ha}^{-1}$  N und  $244,6 \text{ kg ha}^{-1}$  N mit Abstand am höchsten ausfielen. Die Steigerung der Bewirtschaftungsintensität von GL0 zu GL++ führte zu einer Steigerung des TM-Ertrags und einer Erhöhung der N-Konzentration und somit zu mehr als einer Verdoppelung des N-Ertrags von  $115,3$  bis  $244,6 \text{ kg ha}^{-1}$  N.

Die Ackerbohne (AB) fällt durch die höchste N-Konzentration aller Kulturen mit  $42,3 \text{ kg ha}^{-1}$  N auf, die den N-Ertrag mit  $117,7 \text{ kg ha}^{-1}$  N auf ein ähnliches Niveau mit den Grundfutterpflanzen KG ( $122,4 \text{ kg ha}^{-1}$  N) und GL0 ( $115,3 \text{ kg ha}^{-1}$  N) hebt. Die tendenziell höhere N-Konzentration des WT im Vergleich zur SG glich die Überlegenheit von SG bezüglich des TM-Ertrags aus. Dies führte dazu, dass sich die N-Erträge nur noch wenig unterschieden. Lediglich im Versuchsglied KgFL erzielte SG mit  $35,3 \text{ kg ha}^{-1}$  N einen vergleichsweise hohen N-Ertrag; dies war weniger bedingt

durch eine hohe N-Konzentration als aufgrund eines hohen TM-Ertrags (Tab. 12). Die Tendenz der Kulturen WT, SG und MA zu höheren TM-Erträgen im Versuchsglied MaF100 im Vergleich zu MaF200 steht einer gegensätzlichen Tendenz bezüglich der N-Konzentrationen gegenüber, so dass sich die N-Erträge zwischen MaF100 und MaF200 kaum unterscheiden.

**Tab. 14: N-Konzentrationen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern)**

Versuchsglied (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT <sup>1</sup>	SG <sup>1</sup>	MA <sup>2</sup>	AB <sup>1</sup>	KG <sup>2</sup>	GL0 <sup>2</sup>	GL+ <sup>2</sup>	GL++ <sup>2</sup>
	g kg <sup>-1</sup>							
MaF0	16,8 (2,82)	15,4 (2,74)	12,6 (2,53)					
MaF100	16,8 (2,82)	15,2 (2,72)	12,9 (2,56)					
MaF200	17,2 (2,84)	15,8 (2,76)	13,8 (2,62)					
AbFL	16,6 (2,81)	15,6 (2,74)		42,3 (3,74)				
KgFL	16,6 (2,81)	16,4 (2,79)			21,01 (3,04)			
GL						13,1 (2,56)	17,7 (2,87)	27,8 (3,31)
s.e.d.:	auf Ebene des VG			auf Ebene der FA				
Mittel	(0,06)		(0,06)			(0,04)		
Maximum	(0,07)		(0,07)			(0,04)		
Minimum	(0,04)		(0,06)			(0,04)		
a.v.d	(0,00)							

<sup>1</sup> Korn beziehungsweise Bohne; <sup>2</sup> Ganzpflanze

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen) basieren auf den transformierten Werten, 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Die Versuchsglieder hatten auf den Stroh-TM-Ertrag, die Merkmale des Stroh-N-Ertrags sowie Ähren m<sup>-2</sup> und Körner Ähre<sup>-1</sup> von WT und SG keinen signifikanten Effekt (Tab. 15). Nur in der Bestandshöhe traten Unterschiede auf. Dagegen waren die Unterschiede zwischen WT und SG mit Ausnahme des Stroh-TM-Ertrags in allen Merkmalen hoch signifikant.

**Tab. 15: Effekte der Versuchsglieder und der Fruchtart auf den Stroh-TM- und -N-Ertrag, die Stroh-N-Konzentration, Ähren m<sup>-2</sup>, Körner Ähre<sup>-1</sup> und die Bestandshöhe von Wintertriticale und Sommergerste für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML))**

	TM Ertrag Stroh	N-Ertrag Stroh	N-Konzentration Stroh	Ähren m <sup>-2</sup>	Körner pro Ähre <sup>1</sup>	Bestandes- höhe
	p-Wert					
Versuchsglied (VG)	0,429	0,864	0,704	0,551	0,461	0,045
Fruchtart (FA)	0,203	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
VG x FA	0,875	0,158	0,005	0,106	0,977	0,031

<sup>1</sup> berechnet auf der Basis logarithmierter Werte

SG realisierte in allen Versuchsgliedern höhere Stroh-TM- und Stroh-N-Erträge sowie eine höhere Stroh-N-Konzentration. Eine Ausnahme bildete nur das Versuchsglied MaF100, in dem WT mit 1,9 t ha<sup>-1</sup> TM einen besseren Stroh-TM-Ertrag erzielte als SG mit 1,4 t ha<sup>-1</sup> TM. Es fällt auf, dass SG im Versuchsglied KgFL niedrigere Ergebnisse aufwies als in den Versuchsgliedern MaF100 und MaF200. Dies steht im Gegensatz zu dem hohen Korn-TM-Ertrag, dem hohen Korn-N-Ertrag und der hohen N-Konzentration von SG im Versuchsglied KgFL (Tab. 12, Tab. 13, Tab. 14).

**Tab. 16: Stroh-TM- und -N-Ertrag sowie Stroh-N-Konzentration von Wintertriticale und Sommergerste als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005**

Versuchsglied (VG)	TM-Ertrag Stroh		N-Ertrag Stroh		N-Konzentration Stroh		
	WT	SG	WT	SG	WT	SG	
	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	
MaF0	1,09	1,44	8,7	17,9	8,2	12,4	
MaF100	1,90	1,44	9,1	17,6	8,0	12,6	
MaF200	1,31	1,53	9,8	18,8	7,9	12,1	
AbFL	1,09	1,32	9,0	16,4	8,7	12,7	
KgFL	1,24	1,35	10,9	14,5	9,5	10,9	
s.e.d.:		auf Ebene des VG	auf Ebene der FA	auf Ebene des VG	auf Ebene der FA	auf Ebene des VG	auf Ebene der FA
Mittel	0,20	0,23	0,16	2,2	2,2	2,1	0,7
Maximum	0,23	0,23	0,16	2,4	2,2	2,1	0,7
Minimum	0,16	0,23	0,16	2,1	2,2	2,1	0,7
a.v.d	0,04			4,9			4,7

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Ackerbohnen wiesen einen wesentlich höheren Stroh-TM-Ertrag mit 2,6 t ha<sup>-1</sup> TM als Getreide auf. Auch die Stroh-N-Konzentration mit 18 g kg<sup>-1</sup> N und somit auch der Stroh-N-Ertrag mit 47 kg ha<sup>-1</sup> N lagen deutlich höher. Die Mistdüngung förderte beim Wintertriticale wie auch bei der Sommergerste das Längenwachstum des Strohs. Nur die Bestandshöhe der Sommergerste im Versuchsglied KgFL befindet sich auf demselben Niveau wie die aus den mit Mist gedüngten Versuchsgliedern.

**Tab. 17: Ähren m<sup>-2</sup>, Körner Ähre<sup>-1</sup> und Bestandshöhe von Wintertriticale und Sommergerste als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (logarithmierte Werte in Klammern)**

Versuchsglied (VG)	Ähren pro m <sup>2</sup>		Körner pro Ähre		Bestandshöhe in cm		
	WT	SG	WT	SG	WT	SG	
MaF0	262	321	28 (3,3)	17 (2,8)	84,3	48,7	
MaF100	225	408	30 (3,4)	18 (2,9)	86,9	53,3	
MaF200	265	446	30 (3,4)	19 (3,0)	86,0	55,7	
AbFL	272	356	30 (3,4)	18 (2,9)	82,3	49,8	
KgFL	215	482	34 (3,5)	19 (3,0)	81,5	53,7	
s.e.d.:		auf Ebene des VG	auf Ebene der FA	auf Ebene des VG	auf Ebene der FA	auf Ebene des VG	auf Ebene der FA
Mittel	61		(0,1)	(0,1)	(0,1)	2,3	1,9
Maximum			(0,1)	(0,1)	(0,1)	2,4	1,9
Minimum			(0,1)	(0,1)	(0,1)	1,9	1,9
a.v.d						5,4	

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

### 3.1.2 Bestandsentwicklung der Grünlandvarianten und des Kleegrases in den Jahren 2004 und 2005

In diesem Kapitel werden die Grünfutterbestände hinsichtlich der Effekte des Schnittregimes und des Kleeanteils näher betrachtet. Die Varianten GL0 und GL+ wurden drei Mal im Jahr geschnitten, KG und GL++ vier mal. Die folgenden Tabellen (Tab. 18 und Tab. 19) bieten einen Überblick über den TM-Ertrag, den N-Ertrag, den Ertragsanteil des Klees, der N-Konzentration des gesamten Bestandes und der N-Konzentration des Klees in den Jahren 2004 und 2005:

**Tab. 18: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Kleegrases und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittel im Jahr 2004 sowie Standardfehler**

Fruchtart	TM-Ertrag	N-Ertrag	Kleeanteil	N-Konzentration Bestand	N-Konzentration Klee
(FA)	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
KG	6,53 ±0,99	139,7 ±29,4	247,6 ±50,9	22,5 ±1,57	35,2 ±0,45
GL0	3,58 ±0,81	79,4 ±23,7	96,4 ±44,1	22,1 ±0,44	41,3 ±3,42
GL+	4,57 ±1,05	118,3 ±35,2	210,4 ±32,8	25,1 ±1,84	42,6 ±1,34
GL++	4,80 ±0,80	113,0 ±18,1	125,6 ±23,7	24,5 ±0,25	45,2 ±1,19

Erläuterung: KG (4-schürig), GL0 und GL+ (3-schürig), GL++ (4-schürig)

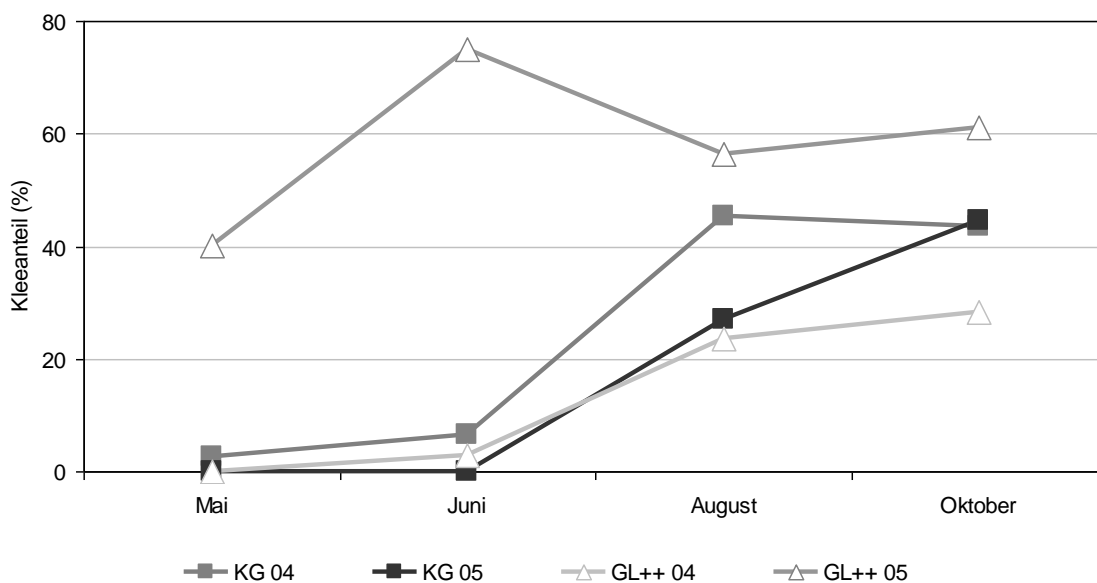
**Tab. 19: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Kleegrases und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittel im Jahr 2005 sowie Standardfehler**

Fruchtart	TM-Ertrag	N-Ertrag	Kleeanteil	N-Konzentration Bestand	N-Konzentration Klee
(FA)	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
KG	5,02 ±0,39	105,8 ±6,2	141,3 ±11,3	23,2 ±0,47	43,1 ±0,74
GL0	7,11 ±1,66	151,3 ±42,7	381,9 ±31,0	21,4 ±0,95	35,3 ±1,79
GL+	9,70 ±0,95	268,5 ±32,2	539,4 ±42,1	27,8 ±0,32	34,3 ±0,62
GL++	11,78 ±0,72	376,1 ±23,5	558,3 ±23,0	32,4 ±0,18	38,8 ±1,07

Erläuterung: KG (4-schürig), GL0 und GL+ (3-schürig), GL++ (4-schürig)

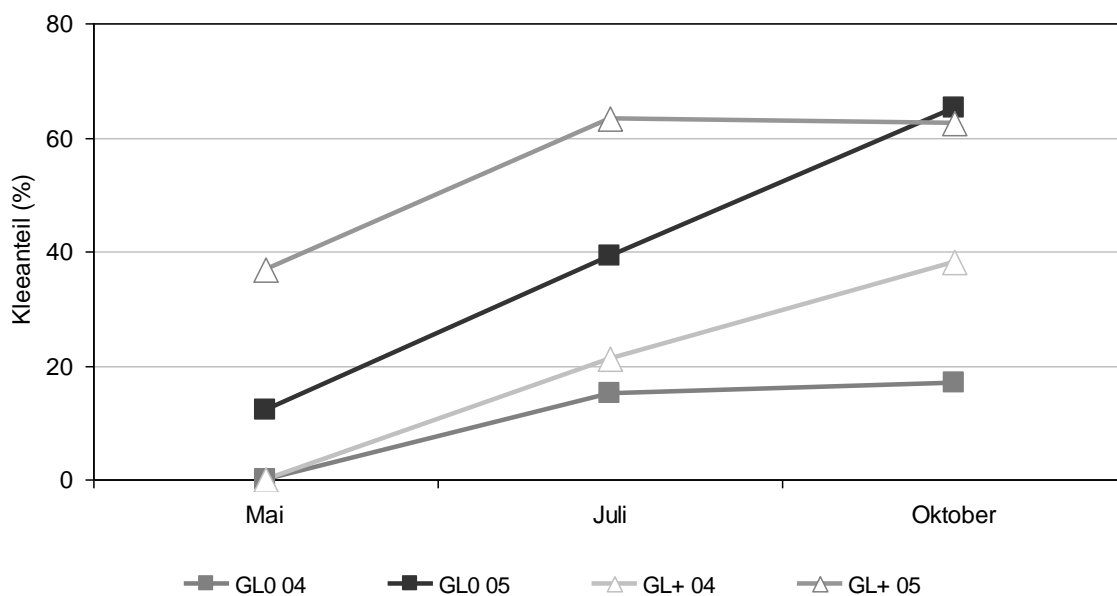
Die Ergebnisse fielen in den beiden Jahren sehr unterschiedlich aus. Während KG im Jahr 2004 mit 6,5 t ha<sup>-1</sup> TM und 140 kg ha<sup>-1</sup> N den höchsten TM- und N-Ertrag erzielte und mit 25 % den höchsten Kleeanteil aufwies, waren sowohl die Erträge mit 5,0 t ha<sup>-1</sup> TM und 106 kg ha<sup>-1</sup> N als auch der Kleeanteil mit 14 % im Jahr 2005 deutlich niedriger als die anderen Varianten. Die Grünlandvarianten hatten sich im Jahr 2005 etabliert und produzierten deutlich höhere TM- und N-Erträge von 7,1 t ha<sup>-1</sup> TM bis 11,8 t ha<sup>-1</sup> TM beziehungsweise 151 kg ha<sup>-1</sup> N bis 376 kg ha<sup>-1</sup> N mit sehr hohen Kleeanteilen von 40 bis über 50 % des TM-Ertrags. In beiden Jahren verhalten die höheren Kleeanteile den Grünlandvarianten GL+ und GL++ gegenüber GL0 zu höheren Erträgen. Im Jahr 2005 machte sich bei ähnlichen Kleeanteilen von 54 % (GL+) beziehungsweise 56 % (GL++) der zusätzliche vierte Schnitt in einer TM- und N-Ertragssteigerung der Grünlandvariante GL++ mit 11,8 t ha<sup>-1</sup> TM und 376 kg ha<sup>-1</sup> N gegenüber GL+ mit 9,7 t ha<sup>-1</sup> TM und 269 kg ha<sup>-1</sup> N bemerkbar. Die Ergebnisse im Mittel der Jahre 2004 und 2005 finden sich im Anhang (Tab. 49).

Die Entwicklung der Kleeanteile in den Grünfutterbeständen zeigte einen deutlich jahreszeitlichen Verlauf (Abb. 3 und Abb. 4):



**Abb. 3:** Kleeanteile im jahreszeitlichen Verlauf der vierschürigen Grünfutterbestände KG und GL++ für die Jahre 2004 und 2005

Alle Grünlandbestände setzten im zweiten Frühjahr (2005) zum ersten Schnitt mit höheren Kleeanteilen ein, während das einjährige Klee gras in beiden Jahren mit niedrigen Kleeanteilen startete.



**Abb. 4:** Kleeanteile im jahreszeitlichen Verlauf der dreischürigen Grünfutterbestände GL0 und GL+ für die Jahre 2004 und 2005

### 3.2 Pflanzenbauliche Aspekte des Nachbauversuchs

#### 3.2.1 Einfluss der Fruchtfolgen und der direkten Vorfrucht auf pflanzenbauliche Eigenschaften des Sommertriticales (2006)

Im Anschluss an den Fruchtfolgeversuch wurde im Frühjahr 2006 auf allen Parzellen einheitlich Sommertriticale (ST) angebaut. Dazu wurden auch die Grünland- und Ackergrasbestände umgebrochen. Im ersten Abschnitt wird der Einfluss der Versuchsglieder auf den Korn- und Stroh-TM-Ertrag sowie die Merkmale des Korn- und Stroh-N-Ertrags des ST dargestellt. Im zweiten Abschnitt wird der Einfluss der zuletzt angebaute Vorfrucht berücksichtigt.

Die Versuchsglieder hatten mit Ausnahme der Stroh-N-Konzentration einen signifikanten Effekt auf die TM-Erträge und die Merkmale des N-Ertrags des ST (Tab. 20).

**Tab. 20: TM- und N-Erträge sowie N-Konzentrationen des Sommertriticales (Korn und Stroh) in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglied (VG)	TM-Ertrag Korn t ha <sup>-1</sup>	N-Ertrag Korn kg ha <sup>-1</sup>	N-Konzentration Korn g kg <sup>-1</sup>	TM-Ertrag Stroh t ha <sup>-1</sup>	N-Ertrag Stroh kg ha <sup>-1</sup>	N-Konzentration Stroh g kg <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,008	p<0,001	p<0,001	p<0,051	p<0,011	p<0,078
MaF0	1,92	31,3	17,0	1,51	7,9	5,0
MaF100	2,46	41,5	17,0	1,57	8,7	5,5
MaF200	2,25	39,4	18,0	1,64	9,4	5,7
AbFL	1,71	28,8	17,0	1,40	8,0	5,6
KgFL	2,29	40,5	17,4	1,15	5,2	4,5
GL	2,91	64,6	22,1	1,89	11,1	6,0
I.s.d. <sup>1</sup>	0,54	8,0	1,2	0,43	2,6	1,0

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05)

Erläuterung: MaF0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), KgFL (N-Zufuhr mit Rotklee), AbFL (N-Zufuhr mit Ackerbohnen), GL (Dauergrünland), TM (Trockenmasse), N (Stickstoff)

Der Grünlandumbruch resultierte in den höchsten Erträgen und N-Konzentrationen, die Versuchsglieder AbFL und MaF0 in den niedrigsten. Die mit Mist gedüngten Versuchsglieder MaF100 und MaF200 erzielten mittlere Erträge und N-Gehalte, unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Der Effekt der Versuchsglieder auf die TM-Erträge und die Merkmale des N-Ertrags wurde durch die Wald-Statistik (REML) im Ansatz der Mixed Models bestätigt. Die direkte Vorfrucht übte mit Ausnahme des Stroh-TM-Ertrags ebenfalls einen signifikanten Einfluss aus (Tab. 21).

**Tab. 21: Effekte der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht auf TM- und N-Erträge sowie N-Konzentrationen des Sommertriticales (Korn und Stroh) (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML))**

	Korn-ertrag	N-Ertrag Korn	N-Gehalt Korn	Stroh-ertrag	N-Ertrag Stroh	N-Gehalt Stroh
	p-Wert					
Versuchsglied (VG)	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,049
Direkte Vorfrucht (DV)	<0,001	<0,001	<0,001	0,596	0,018	<0,001
VG x DV	0,021	0,357	0,815	0,971	0,728	0,378

Der Umbruch des dreijährigen Grünlands und des einjährigen Kleeegrases führte zu den höchsten Korn-TM-Erträgen des ST mit 2,9 bis 3,1 t ha<sup>-1</sup> TM (Tab. 22). Die Unterschiede in den Kornerträgen der ST nach den verschiedenen Grünfuttermitteln fielen gering aus und ließen sich nicht statistisch absichern. Tendenziell bewirkte GL++ den höchsten Korn-TM-Ertrag. Im Vergleich der ackerbaulichen direkten Vorfrüchte bewirkten WT aus dem Versuchsglied MaF100 und KG beide mit 2,9 t ha<sup>-1</sup> TM die höchsten Korn-TM-Erträge. Danach zeigten sich WT mit 2,7 t ha<sup>-1</sup> TM und MA mit 2,5 t ha<sup>-1</sup> TM im Mittel von MaF100 und MaF200 als günstige direkte Vorfrüchte. AB als direkte Vorfrucht und AbFL als Versuchsglied bewirkten nur geringe Korn-TM-Erträge. Der Korn-TM-Ertrag reagierte im Versuchsglied MaF200 tendenziell mit einer Minderung von rund 0,1 bis 0,3 t ha<sup>-1</sup> TM gegenüber MaF100.

**Tab. 22: Korn-TM-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	t ha <sup>-1</sup>							
MaF0	2,20	1,64	1,92					
MaF100	2,89	2,00	2,48					
MaF200	2,55	1,75	2,44					
AbFL	1,81	1,60		1,72				
KgFL	2,14	1,86			2,87			
GL						2,85	2,76	3,13
s.e.d.:								
Durchschn.	0,27	für VA x DV						
Max.	0,28	für DV						
Min.	0,17	für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.)

Erläuterung: WT (Wintertriticale); SG (Sommergerste); MA (Silagemais); KG (Klee gras); GL0, GL+, GL++ (Dauergrünland mit unterschiedlichen Kleeanteilen, siehe Kapitel 3.1.2)

Der Umbruch der Grünfuttermitteln KG und GL hatte den signifikant höchsten Einfluss auf den Korn-N-Ertrag und Korn-N-Konzentration des ST (Tab. 23 und Tab. 24). Anders als beim Korn-TM-Ertrag zeigte sich hier ein signifikant überlegener Vorfruchteffekt der klee reichen Grünlandvarianten GL+ und GL++, die im Jahr 2005 einen Kleeanteil von 54 % beziehungsweise 56 % aufwiesen. Schon der niedrigere Kleeanteil von 38 % der GL0-Parzellen erzielte nicht mehr denselben Effekt und lag auf einem Niveau mit dem Vorfruchtwert des KG mit 14 % Kleeanteil. Die höhere Abfuhr der Biomasse in der vier Mal geschnittenen GL++-Variante erniedrigte den N-Gehalt im Korn gegenüber GL+. AB als weitere stickstoffliefernde Kultur wies auffälligerweise einen ähnlich schlechten Vorfruchteffekt wie SG auf. WT und MA als direkte Vorfrüchte erzeugten mittlere N-Erträge und N-Gehalte des ST.

**Tab. 23: Korn-N-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	35,3	27,9	30,7					
MaF100	47,6	34,7	42,3					
MaF200	44,6	30,8	42,7					
AbFL	30,6	26,9		29,1				
KgFL	34,8	30,3			56,5			
GL						56,5	67,9	69,5
s.e.d.:								
Durchschn.	4,8	für VG x DV						
Max.	4,9	für DV						
Min.	4,1	für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.)

**Tab. 24: Korn-N-Konzentrationen des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	g kg <sup>-1</sup>							
MaF0	16,0	17,6	16,0					
MaF100	16,5	17,4	17,1					
MaF200	17,5	17,6	17,4					
AbFL	17,0	17,2		16,8				
KgFL	16,3	16,3			19,7			
GL						19,8	24,5	22,2
s.e.d.:								
Durchschn.	0,9	für VG x DV						
Max.	-	für DV						
Min.	-	für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.)

Nachfolgend sind die der N-Konzentration entsprechenden Rohproteingehalte (N-Gehalt\*6,25 (FAO 2003)) des Sommertriticales nach Klee gras- und Grünlandumbruch dargestellt (Tab. 25).

**Tab. 25: Korn-N-Konzentration und Korn-Rohproteingehalt des Sommertriticales nach Umbruch der Grünfuttermvarianten**

	N-Konzentration in %	Rohproteingehalt in %
KG	1,97	12,3
GL0	1,98	12,3
GL+	2,45	15,3
GL++	2,22	13,9

Erläuterung: KG (4-schürig), GL0 und GL+ (3-schürig), GL++ (4-schürig)

Wie auch die Korn-TM-Erträge fielen die Stroh-TM-Erträge in den Versuchsgliedern MaF100, MaF200 und GL am höchsten aus (Tab. 26). Diese Tendenz fand sich bezüglich der Stroh-N-Konzentrationen und somit auch der Stroh-N-Erträge wieder, wenn auch weniger ausgeprägt.



**Tab. 26: Stroh-TM-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	$t\ ha^{-1}$							
MaF0	1,49	1,71	1,34					
MaF100	1,59	1,61	1,51					
MaF200	1,55	1,84	1,54					
AbFL	1,30	1,35		1,53				
KgFL	1,15	1,09			1,20			
GL						1,71	1,87	2,09
s.e.d.:								
Durchschn.	0,30	für VG x DV						
Max.	0,30	für DV						
Min.	0,29	für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.)

**Tab. 27: Stroh-N-Erträge des Sommertriticales in Abhängigkeit von den Versuchsgliedern und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	$kg\ ha^{-1}$							
MaF0	6,8	11,2	5,6					
MaF100	7,6	11,7	6,8					
MaF200	8,4	12,4	7,2					
AbFL	7,2	9,1		7,7				
KgFL	5,6	4,6			5,3			
GL						9,1	11,8	12,4
s.e.d.:								
Durchschn.		für VG x DV						
Max.		für DV						
Min.		für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.)

**Tab. 28: Stroh-N-Konzentrationen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	TR	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	$g\ kg^{-1}$							
MaF0	0,48	0,61	0,42					
MaF100	0,48	0,73	0,45					
MaF200	0,55	0,69	0,47					
AbFL	0,53	0,64		0,51				
KgFL	0,48	0,43			0,43			
GL						0,54	0,65	0,59
s.e.d.:								
Durchschn.		für VG x DV						
Max.		für DV						
Min.		für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.)

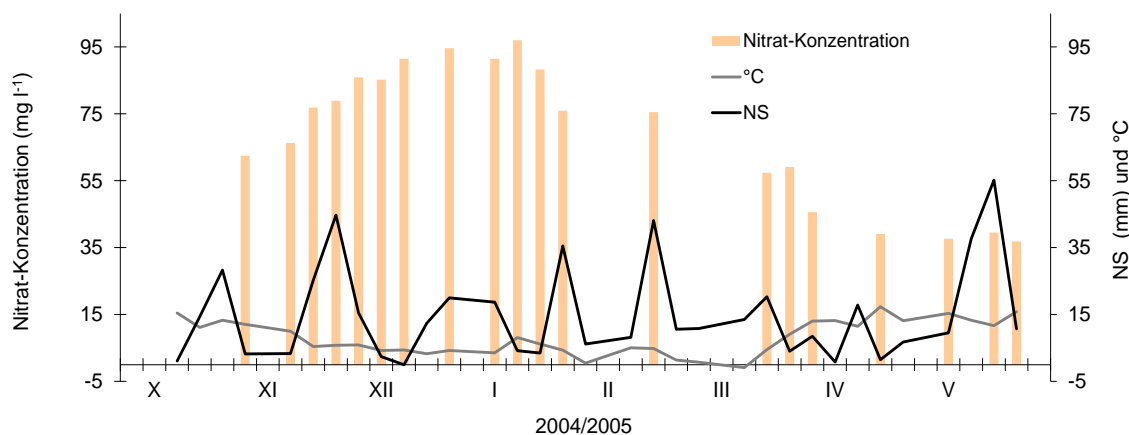
### 3.3 Umweltaspekte des Fruchtfolgen- und Nachbauversuchs

In diesem Kapitel werden die  $N_{\min}$ -Mengen und die berechneten N-Auswaschungen des Fruchtfolgenversuches und des anschließenden Nachbauversuchs mit Sommertriticale dargestellt. Die N-Konzentrationsverläufe im Sickerwasser werden für beide Versuche (2004 bis 2006) gemeinsam beschrieben (Kapitel 3.3.1).

#### 3.3.1 Stickstoffkonzentrationsverläufe im Sickerwasser (2004–2007)

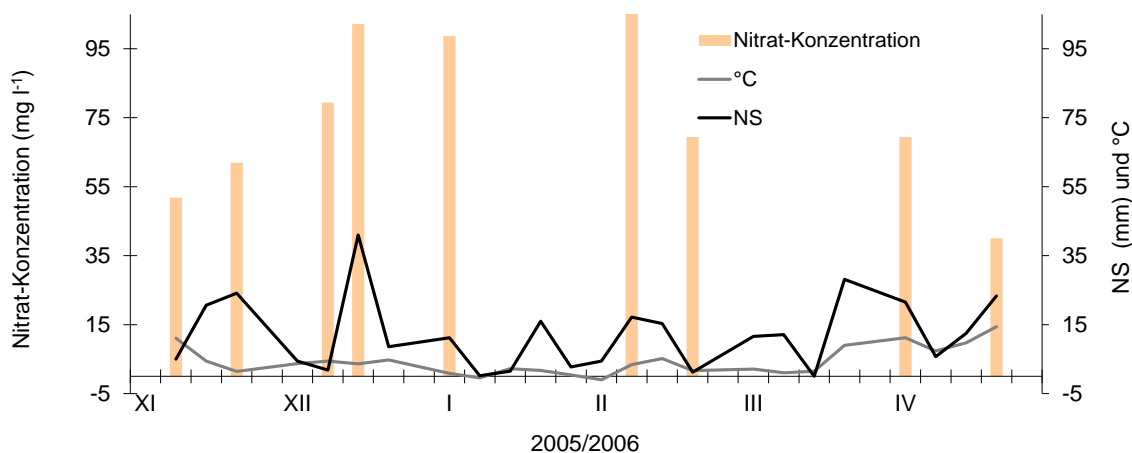
Die Stickstoffauswaschung war neben pflanzenbaulichen Einflüssen stark von Niederschlag und Temperatur abhängig. Hohe Niederschläge führten zu einer hohen Nitratfracht. Nach Frostperioden, erkennbar anhand ausbleibender Probenahmen und der Temperaturkurve, folgten ebenfalls hohe Nitratfrachten. Im Anhang befinden sich entsprechende Darstellungen der über alle Versuchsglieder gemittelten N-Auswaschungen zu den einzelnen Probenahmeterminen sowie Niederschlag und Temperatur (Abb. 12, Abb. 13, Abb. 14).

Die Nitratkonzentrationen (Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7) hingegen wurden von anderen Parametern stärker beeinflusst. Zu Beginn der Sickerwasserperioden stiegen die Konzentrationen stark an, um zum Ende der Sickerwasserperiode deutlich abzufallen.



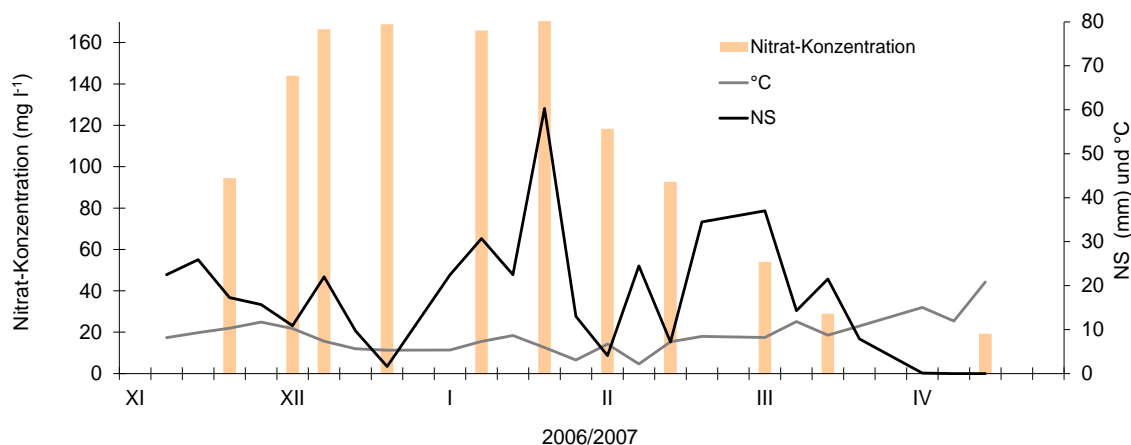
Erläuterungen: °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

**Abb. 5: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartzellen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2004-2005)**



Erläuterungen: °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

**Abb. 6: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartellen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2005-2006)**



Erläuterungen: °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

**Abb. 7: Mittlere Nitratkonzentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) aller Versuchspartellen zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) und Niederschlag ( $\text{mm m}^{-2}$ ) (Sickerwasserperiode 2006-2007)**

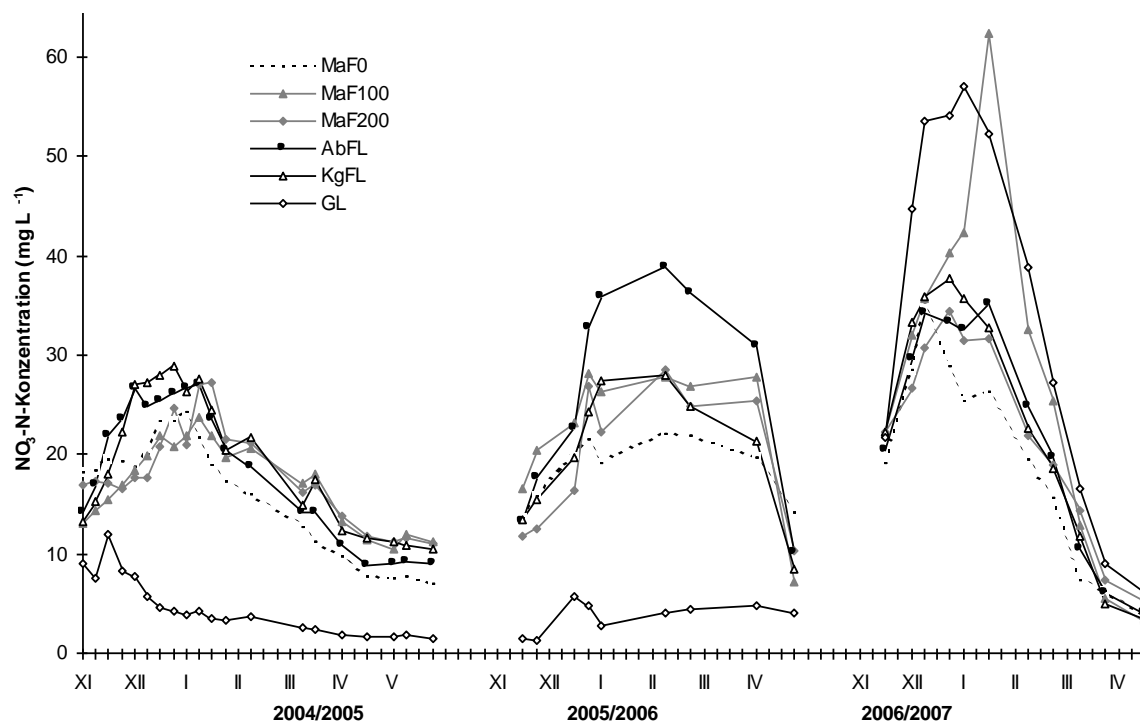
Die Nitratkonzentration im Sickerwasser hängt hauptsächlich von der mineralisch im Boden vorliegenden Stickstoffmenge und der Mineralisationsrate des im Boden vorliegenden organisch gebundenen Stickstoffs ab. Der Vorgang der Mineralisation kann auch im Winter bei hoher Bodenfeuchte und Temperaturschwankungen um den Gefrierpunkt ein großes Ausmaß annehmen (Jarvis et al. 1996). Die Nitratkonzentrationen überschritten in den Sickerwasserperioden nach den Versuchsjahren 2004 und 2005 den größten Teil der Zeit und bei weitem die vorgegebenen Werte von  $50 \text{ mg l}^{-1}$  Nitrat der Trinkwasserverordnung (2001) (Tab. 29). Die einzige Ausnahme stellte das Grünland dar, das über die gesamte Zeit im Mittel  $18 \text{ mg l}^{-1}$  Nitrat im Sickerwasser aufwies und in keinem Fall Sickerwasserkonzentrationen von  $50 \text{ mg l}^{-1}$  Nitrat nennenswert überschritt. Aufgrund des milden und nassen Winters 2006/2007 (siehe Kapitel 2.1.2) nach dem

Nachbauversuch wies das Sickerwasser besonders hohe Nitratkonzentrationen auf, die mehrere Wochen über 160 mg l<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub> lagen.

**Tab. 29: Anteil der Tage im Mittel der Sickerwasserperioden 04/05 und 05/06 mit Nitratkonzentrationen unter ≤ und > 50 mg l<sup>-1</sup> Nitrat und das gewogene Mittel der Nitratkonzentration im Sickerwasser**

Versuchsglied (VG)	Anteil der Tage		gewogenes Mittel
	≤ 50 mg l <sup>-1</sup> Nitrat in %	> 50 mg l <sup>-1</sup> Nitrat in %	mg l <sup>-1</sup> Nitrat
MaF0	15	85	76
MaF100	13	87	88
MaF200	13	87	86
AbFL	20	80	100
KgFL	14	86	87
GL	100	0	18

Im Weiteren werden verschiedene N-Konzentrationsverläufe des Sickerwassers für die Zeit von 2004 bis 2007 dargestellt. Die erste Abbildung zeigt die über die drei Kulturen des jeweiligen Versuchsgliedes gemittelten N-Konzentrationen im Verlauf der Sickerwasserperioden von 2004 bis 2006. Bei der Sickerwasserperiode 2006/2007 handelt es sich um die Nitratkonzentrationen nach dem Anbau des Sommertriticales mit den verschiedenen vorangegangenen Versuchsgliedern (Abb. 8).

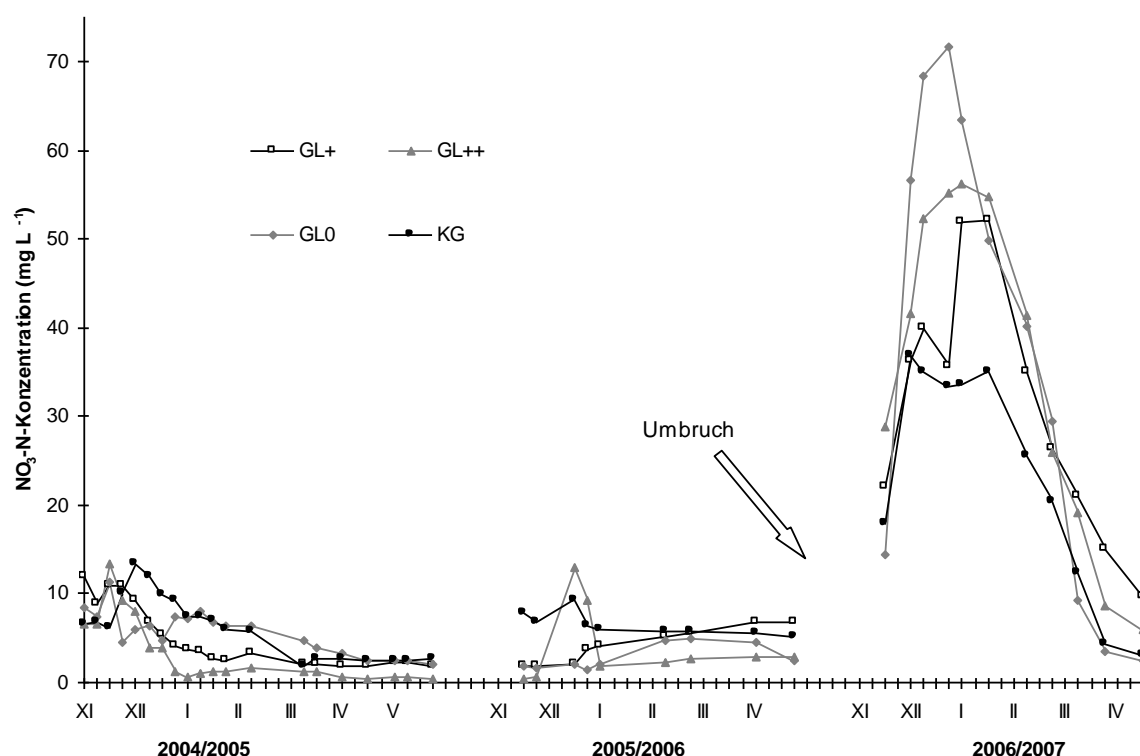


**Abb. 8: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationsverläufe im Sickerwasser (mg l<sup>-1</sup>) der Versuchsglieder im Fruchtfolgeversuch (2004-2006) und der Effekt der Versuchsglieder als „Vorfrucht“ zum Sommertriticale im Nachbauversuch (2006-2007)**

Die N-Konzentrationen erreichten jeweils ungefähr zum Wechsel des Jahres ihren Höhepunkt (Abb. 8). In dieser Zeit unterschieden sich die Nitratkonzentrationen der Versuchsglieder am stärksten. Von 2004 bis 2007 war von Sickerwasserperiode zu Sickerwasserperiode eine Steigerung der N-Konzentrationen festzustellen. Die

Kontrolle MaF0 wies innerhalb der Ackerkulturen mit wenigen Ausnahmen die niedrigsten N-Konzentrationen auf, während sich die mit Mist gedüngten Versuchsglieder auf einem mittleren Niveau befanden. Nur MaF100 stellte im Winter 2006/2007 eine Ausnahme dar: Die hohen N-Konzentrationen bewegten sich auf einem Niveau mit den N-Konzentrationen nach den KG- und GL-Umbrüchen im Nachbauversuch (Abb. 9). Die Versuchsglieder AbFL und KgFL befanden sich meistens im oberen Niveau der N-Konzentrationen. Besonders im Winter 2005/2006 fielen die hohen N-Konzentrationen des Versuchsgliedes AbFL auf.

Generell befanden sich die Grünfutter-Parzellen vor dem Umbruch auf einem deutlich niedrigeren N-Konzentrationsniveau als die Ackerbau-Fruchtfolgen. Die Konzentrationsverläufe unter Grünland und Klee gras wiesen auch nicht den für die ackerbaulichen Kulturen typischen Peak zum Jahreswechsel auf (Abb. 9).

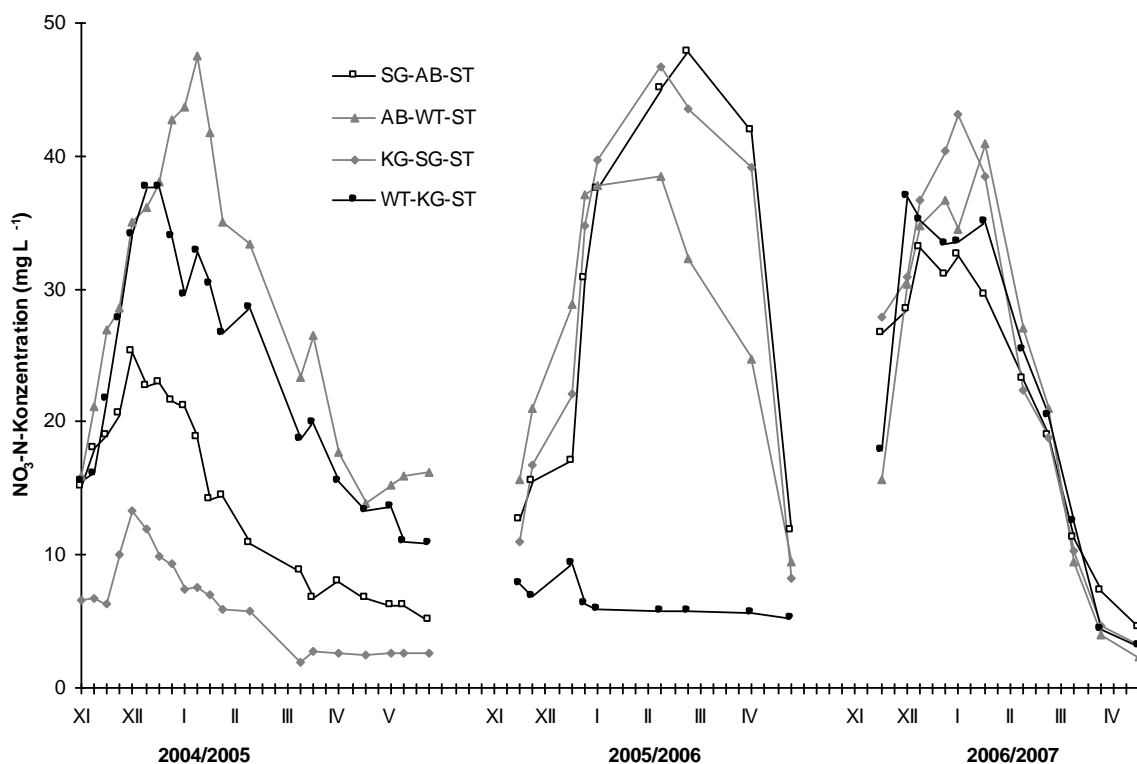


**Abb. 9:**  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationsverläufe im Sickerwasser ( $\text{mg l}^{-1}$ ) der Grünfutterparzellen im Fruchtfolgeversuch (2004-2006) und der Effekt der Grünfutterparzellen als „Vorfrucht“ im Nachbauversuch (2006-2007)

Die Grünfutterbestände zeigten in der Sickerwasserperiode 2004/2005 die höchsten N-Konzentrationen im Herbst. GL++ fiel erst durch eine sehr hohe, dann durch eine sehr niedrige N-Konzentration auf. Ein gleichartiges Phänomen herbstlich hoher N-Konzentrationen war im trockenen Winter 2005/2006 nicht zu erkennen. Die Verläufe der N-Konzentrationen erwiesen sich in dieser Sickerwasserperiode als ungerichtet. GL++ wies kurzfristig hohe N-Konzentrationen auf, die sogar das relativ hohe Niveau von KG überstiegen. Die KG-Parzellen wiesen auch wie in der ersten Sickerwasserperiode vergleichsweise hohe N-Konzentrationen auf. Nach dem Umbruch der Klee gras- und Grünlandbestände zum Sommertriticale 2006 stiegen die N-Konzentrationen im Winter 2006/2007 sprunghaft an. Sie lagen damit mit Ausnahme

der KG-Parzellen deutlich über dem Niveau, das die übrigen Versuchsglieder nach Sommertriticale aufwiesen (siehe Abb. 8). Eine besonders ausgeprägte Konzentrationsspitze zeigten die ehemaligen GL0-Parzellen.

In Abb. 10 sind Konzentrationsverläufe von Varianten gezeigt, in denen in den Jahren 2004 und 2005 die Kulturen KG und AB angebaut worden waren.



**Abb. 10: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationsverläufe im Sickerwasser (mg l<sup>-1</sup>) von aufeinander folgenden Kulturen als Teil der KG und AB Fruchtfolgen (Versuchsglieder) während des Fruchtfolgeversuchs (2004-2006) und des Nachbauversuchs (2006/2007)**

Jede Kurve repräsentiert eine bestimmte Fruchtfolge für die Anbaujahre 2004-2006. In dieser Darstellung lassen sich die Auswirkungen des Anbaus von AB und KG auf die N-Konzentrationen im Sickerwasser erkennen. Die Kultur Ackerbohne bewirkt direkt nach dem Anbau hohe N-Konzentrationen, während das KG, das im Frühjahr umgebrochen wurde, erst nach den beiden Folgefrüchten hohe Auswaschungen verursacht. Diese liegen dann tendenziell über denen, die AB nach den beiden Folgefrüchten bewirkt.

### 3.3.2 $N_{\min}$ und Nitratauswaschung im Fruchtfolgeversuch (2004 und 2005)

Die Versuchsglieder hatten einen signifikanten Effekt auf die Herbst- $N_{\min}$ -Mengen und die Stickstoffauswaschung. Das Versuchsglied AbFL hinterließ die höchste residuale Stickstoffmenge im Boden und verursachte die höchsten N-Auswaschungen. Die mit Mist gedüngten Versuchsglieder MaF100 und MaF200 sowie KgFL wiesen etwas niedrigere  $N_{\min}$ -Mengen und eine geringere N-Auswaschung auf. Nur die Grünlandvarianten hatten eine deutlich geringere Herbst- $N_{\min}$ -Menge und eine deutlich geminderte N-Auswaschung.

**Tab. 30: Herbst- $N_{\min}$ -Menge,  $NO_3$ -N-Auswaschung und  $NO_3$ -N-Konzentration im Sickerwasser der Versuchsglieder im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglieder (VG)	Herbst- $N_{\min}$ kg ha <sup>-1</sup>	$NO_3$ -N-Auswaschung kg ha <sup>-1</sup>	$NO_3$ -N-Konzentration mg l <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,001	p<0,001	p<0,001
MaF0	40,6	47,1	16,9
MaF100	48,2	53,9	19,3
MaF200	47,8	52,6	18,0
AbFL	54,4	61,4	21,8
KgFL	49,1	54,0	19,5
GL	20,7	10,9	4,1
I.s.d. <sup>1</sup>	10,1	11,6	3,4

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05); Herbst- $N_{\min}$  (mineralischer Boden-N (0-90 cm,  $NO_3$ -N +  $NH_4$ -N))

Erläuterung: MaF0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), KgFL (N-Zufuhr mit Rotklee), AbFL (N-Zufuhr mit Ackerbohnen), GL (Dauergrünland), TM (Trockenmasse), N (Stickstoff)

Die Höhe der N-Auswaschung verlief, abgesehen von den Grünlandparzellen, proportional zu den herbstlichen  $N_{\min}$ -Mengen. Die ausgewaschene Stickstoffmenge lag im Durchschnitt der Ackerflächen um 12 % höher als der  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens. Unter den Grünlandflächen war die N-Auswaschung nur halb so hoch wie die herbstliche  $N_{\min}$ -Menge im Boden.

Bei der isolierten Betrachtung der Getreidebestände fällt auf, dass das Versuchsglied nur einen signifikanten Effekt auf die N-Auswaschung und die N-Konzentration ausübte. Die höchste N-Auswaschung mit 73 kg ha<sup>-1</sup> N wies das Getreide im Versuchsglied KgFL auf. Die N-Auswaschungen im Versuchsglied AbFL fielen mit 51 kg ha<sup>-1</sup> N deutlich niedriger aus. Mit durchschnittlich 46 kg ha<sup>-1</sup> N lagen die N-Auswaschungen der Versuchsglieder MaF100 und MaF200 auf dem Niveau des ungedüngten Versuchsgliedes MaF0.

**Tab. 31: Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen, NO<sub>3</sub>-N-Auswaschungen und NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationen im Sickerwasser von Wintertriticale und Sommergerste in den einzelnen Versuchsgliedern im Mittel der Jahre 2004 und 2005 sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglieder (VG)	Herbst-N <sub>min</sub> kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N-Konzentration mg l <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,144	p<0,054	p<0,036
MaF0	44,2	44,4	16,2
MaF100	50,8	46,1	16,9
MaF200	47,6	45,0	16,5
AbFL	51,1	51,4	18,7
KgFL	63,9	73,2	25,9
I.s.d. <sup>1</sup>	0,3	20,6	6,3

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05)

Aus der Mixed Models Analyse lässt sich schließen, dass nicht nur das Versuchsglied sondern auch die Kultur einen hochsignifikanten Effekt auf Herbst-N<sub>min</sub>, N-Auswaschung und N-Konzentration hatte.

**Tab. 32: Effekte der Versuchsglieder und der Fruchtart auf Herbst-N<sub>min</sub>, NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung und NO<sub>3</sub>-N-Konzentration für die Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML))**

	Herbst-N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung	NO <sub>3</sub> -N-Konzentration
	p-Wert		
Versuchsglied (VG)	<0,001	<0,001	<0,001
Fruchtart (FA)	<0,001	<0,001	<0,001
VG x FA	0,830	0,638	0,642

Auch bei der Betrachtung der einzelnen Kulturen (Tab. 33 und Tab. 34) fällt auf, dass teilweise mehr Stickstoff ausgewaschen wurde als residualer Stickstoff im Herbst im Boden vorlag. Die Relationen der Varianten hinsichtlich der Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen spiegelten sich im Wesentlichen in den N-Auswaschungen wider. Die höchsten Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen wurden nach dem Anbau von AB sowie nach WT und SG aus dem Versuchsglied KgFL festgestellt. Mit Ausnahme von WT aus KgFL, unter der rund 10 kg ha<sup>-1</sup> N weniger ausgewaschen wurden als unter SG im selben Versuchsglied, trifft dies auch auf die N-Auswaschung zu. WT und SG wiesen im Versuchsglied AbFL geringere Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen und N-Auswaschungen als im Versuchsglied KgFL auf. Die Kulturen aus den Versuchsgliedern MaF100 und MaF200 bewegten sich hinsichtlich Herbst-N<sub>min</sub> und N-Auswaschung auf einem ähnlich niedrigeren Niveau wie die Kulturen aus MaF0. Allerdings fallen die vergleichsweise hohen N-Auswaschungen nach MA auf. Eine deutliche Minderung der Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen und N-Auswaschungen wurde durch KG und die Grünlandvarianten erzielt. Die niedrigste N-Auswaschung wurde unter GL++ gemessen. Auffällig sind die relativ hohen Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen unter GL+ im Gegensatz zu den ansonsten sehr niedrigen unter KG, GL0 und GL++. Die höhere Herbst-N<sub>min</sub>-Menge hatte jedoch keinen entsprechenden Effekt auf die N-Auswaschung. Die Darstellung der N-Konzentrationen ist im Anhang zu finden (Tab. 50).



**Tab. 33: Herbst-N<sub>min</sub>-Menge der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005**

Versuchsglieder (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	46,3	42,1	33,4					
MaF100	45,9	55,7	43,0					
MaF200	48,0	47,2	48,4					
AbFL	51,1	51,0		61,1				
KgFL	64,8	62,9			19,5			
GL						17,0	27,8	17,3
s.e.d.:	auf Ebene des VG			auf Ebene der FA				
Mittel	11,0		11,1		9,0			
Maximum	11,4		11,1		9,0			
Minimum	9,0		11,1		9,0			
a.v.d	122,7							

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Erläuterung: WT (Wintertriticale); SG (Sommergerste); MA (Silagemais); KG (Klee gras); GL0, GL+, GL++ (Dauergrünland mit unterschiedlichen Kleeanteilen, siehe Kapitel 3.1.2)

**Tab. 34: NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005**

Versuchsglieder (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	41,6	46,5	53,2					
MaF100	43,2	49,6	69,1					
MaF200	41,5	49,2	67,5					
AbFL	50,1	53,1		81,0				
KgFL	63,4	83,3			15,3			
GL						12,3	12,3	8,3
s.e.d.:	auf Ebene des VG			auf Ebene der FA				
Mittel	11,1		10,9		9,6			
Maximum	12,0		12,0		9,9			
Minimum	9,6		10,6		9,6			
a.v.d	124,4		119,1		91,1			

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

### 3.3.3 Nitratauswaschung und Bodennährstoffgehalte, Nachbauversuch (2006)

Die  $N_{\min}$ -Mengen im Herbst 2006 nach der Ernte des Sommertriticales waren signifikant beeinflusst durch die vorangegangene unterschiedliche Bewirtschaftung der einzelnen Versuchsglieder (Tab. 35).

**Tab. 35: Herbst- $N_{\min}$ -Mengen,  $NO_3$ -N-Auswaschungen, Boden-P-, -K- und -Mg-Gehalte sowie Boden-pH-Werte des Sommertriticales als geschätzte Mittelwerte sowie p-Werte (ANOVA)**

	<b>Herbst-<math>N_{\min}</math></b>	<b><math>NO_3</math>-N-Auswaschung</b>	<b>P-Gehalt</b>	<b>K-Gehalt</b>	<b>Mg-Gehalt</b>	<b>pH-Wert</b>
Versuchsglied (VG)	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	
	p<0,001	p<0,008	p<0,111	p<0,001	p<0,063	p<0,091
MaF0	55,9	66,8	60,1	44,8	26,2	4,8
MaF100	64,2	104,3	62,2	101,9	35,8	5,1
MaF200	57,9	77,7	65,3	113,8	34,2	4,9
AbFL	58,4	79,4	56,7	50,8	26,0	4,8
KgFL	61,4	80,5	58,2	47,0	29,1	4,9
GL	94,7	119,9	56,6	38,4	28,7	4,8
I.s.d. <sup>1</sup>	14,6	25,3	7,0	21,9	7,4	0,2

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05); Herbst- $N_{\min}$  (mineralischer Boden-N (0-90 cm,  $NO_3$ -N +  $NH_4$ -N))

Erläuterung: MaF0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), KgFL (N-Zufuhr mit Rotklee), AbFL (N-Zufuhr mit Ackerbohnen), GL (Dauergrünland), TM (Trockenmasse), N (Stickstoff), pflanzenverfügbares P und K nach CAL Extraktion; Mg nach Extraktion mit  $CaCl_2$

Die ausgewaschene N-Menge übertraf im Nachbauversuch die Herbst- $N_{\min}$ -Menge deutlich. Im Mittel lag die ausgewaschene N-Menge um 30 % höher. Der Grünlandumbruch bewirkte nach dem Anbau des Sommertriticales 2006 die höchsten Herbst- $N_{\min}$ -Mengen und die höchsten N-Auswaschungen. Die Unterschiede zwischen den anderen Versuchsgliedern waren, mit Ausnahme der vergleichsweise hohen N-Auswaschung nach MaF100, vergleichsweise gering und statistisch nicht signifikant. Unter den Bodenparametern wurde nur der K-Gehalt signifikant vom Versuchsglied beeinflusst. In den mit Mist gedüngten Versuchsgliedern lagen die Gehalte der Makronährstoffe signifikant höher als im Boden der übrigen Versuchsglieder. Die pH-Werte hingegen lagen für alle Versuchsglieder auf einem sehr ähnlichen Niveau.

Die Wald-Statistik (REML) bestätigt den signifikanten Effekt der Versuchsglieder auf Herbst- $N_{\min}$  und N-Auswaschung nach Sommertriticale und ebenfalls auf die Gehalte an pflanzenverfügbaren P, K und Mg und die Höhe des pH Wertes. Ein Einfluss der direkten Vorfrucht ist statistisch jedoch nicht zu sichern (Tab. 36). Auf eine Darstellung der Bodennährstoffgehalte und der pH-Werte in Zusammenhang mit den direkten Vorfrüchten wird aus diesem Grund verzichtet.

**Tab. 36: Effekte der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht auf umwelt- und bodenbezogene Parameter des Sommertriticales (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML))**

	Herbst- N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N- Auswaschung	P- Gehalt	K- Gehalt	Mg- Gehalt	pH-Wert
	p-Wert					
Versuchsglied (VG)	<0,001	<0,001	0,034	<0,001	0,009	0,022
Direkte Vorfrucht (DV)	0,067	<0,753	0,757	0,408	0,371	0,291
VG x DV	0,838	0,669	0,263	0,615	0,139	0,27

Erläuterung: Pflanzenverfügbares P und K nach CAL Extraktion; Mg nach Extraktion mit CaCl<sub>2</sub>

Im Hinblick auf die Herbst-N<sub>min</sub>-Menge besteht in der Tendenz ein Effekt des Versuchsgliedes (p= 0,067); die Ergebnisse sind in Tab. 37 und Tab. 38 gezeigt.

**Tab. 37: Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	58,76	52,62	56,17					
MaF100	70,15	62,29	60,08					
MaF200	58,81	49,86	64,98					
AbFL	56,11	58,57		60,53				
KgFL	51,04	55,42			77,66			
GL						83,14	93,64	107,4
s.e.d.:								
Durchschn.	11,21	für VG x DV						
Max.	11,22	für DV						
Min.	11,15	für VG						

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

Erläuterung: WT (Wintertriticale); SG (Sommergerste); MA (Silagemais); KG (Klee gras); GL0, GL+, GL++ (Dauergrünland mit unterschiedlichen Kleeanteilen, siehe Kapitel 3.1.2)

Der Grünlandumbruch verursachte die höchsten Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen, die entsprechend der vormaligen Bewirtschaftungsintensität anstiegen: GL0 83 kg ha<sup>-1</sup> N, GL+ 94 kg ha<sup>-1</sup> N, GL++ 107 kg ha<sup>-1</sup> N. Nach dem Klee grasumbruch fiel die Herbst-N<sub>min</sub>-Menge mit 78 kg ha<sup>-1</sup> N etwas niedriger aus. Die direkten Vorfrüchte AB, MA (MaF100 und MaF200), WT (MaF200) sowie SG (MaF100) bewirkten mittlere Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen. Nur WT in der MaF100 hatte als direkte Vorfrucht eine vergleichsweise hohe Herbst-N<sub>min</sub>-Menge zur Folge. Alle übrigen direkten Vorfrüchte lagen mit denen aus dem Versuchsglied MaF0 auf einem ähnlichen Niveau.

Auch hinsichtlich der N-Auswaschung verursachte der Grünlandumbruch die höchsten Werte, allerdings nicht proportional zur Bewirtschaftungsintensität (Tab. 38). Der Klee grasumbruch hingegen lag auf einem ähnlichen Niveau mit den ackerbaulichen direkten Vorfrüchten. Die hohen N-Auswaschungen der Kulturen des Versuchsgliedes MaF100 fallen auf: WT aus MaF100 führte sogar zu einer N-Auswaschung vergleichbar mit GL+.

**Tab. 38: NO<sub>3</sub>-N-Auswaschungen des Sommertriticales in Abhängigkeit der Versuchsglieder und der direkten Vorfrucht als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte**

Versuchsglied (VG)	Direkte Vorfrucht (DV)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	63,4	72,0	64,9					
MaF100	114,6	100,7	97,5					
MaF200	90,7	77,2	65,1					
AbFL	81,9	78,8		77,5				
KgFL	74,1	86,1			81,5			
GL						123,2	112,8	123,8
s.e.d.:	auf Ebene des VG			auf Ebene der DV				
average	15,6		13,6		15,9			
maximum	15,9		13,6		15,9			
minimum	13,63		13,63		15,90			
a.v.d.	244,9							

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d. entspricht etwa der Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

### 3.4 N-Ausnutzung der Fruchtfolgen im Fruchtfolgeversuch

In diesem Kapitel wird der N-Ertrag der verschiedenen Fruchtfolgen im Fruchtfolgeversuch in Beziehung zur N-Auswaschung gesetzt. Dieses Vorgehen ermöglicht einen Überblick darüber, mit welcher N-Auswaschung die Bildung des N-Ertrags in den Fruchtfolgen verbunden war. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Fruchtfolgen zu herzustellen, wurde das Grünland als indirekter N-Lieferant der Maisfruchtfolgen in die Fruchtfolgen integriert (siehe Kapitel 2.5). Die N-Erträge und die N-Auswaschungen der angepassten Fruchtfolgen sowie die kg N-Auswaschung pro kg N-Ertrag können Tab. 39 entnommen werden.

**Tab. 39: N-Ertrag, NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung sowie NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung pro kg N-Ertrag der Fruchtfolgen**

Versuchsglied (VG) inkl. Grünland (GL)	N-Ertrag	N-Auswaschung	N-Auswaschung pro kg N-Ertrag
		kg ha <sup>-1</sup>	
<b>Variante 1:</b> berechnet mit der für die Bereitstellung <b>100 kg a<sup>-1</sup> Dünger-N</b> für MaF100 notwendigen Grünlandfläche			
<b>a:</b> Integration von GL0 in AbFL und KgFL sowie <b>GL+</b> in MaF100 (jeweils 1,9 ha Grünland)			
MaF100 + GL+	142	26	0,19
AbFL + GL0	95	29	0,31
KgFL + GL0	96	26	0,27
<b>b:</b> Integration von GL0 in AbFL und KgFL sowie <b>GL++</b> in MaF100 (jeweils 1,2 ha Grünland)			
MaF100 + GL++	152	29	0,19
AbFL + GL0	87	35	0,40
KgFL + GL0	90	31	0,35
<b>Variante 2:</b> berechnet mit der für die Bereitstellung <b>200 kg a<sup>-1</sup> Dünger-N</b> für MaF200 notwendigen Grünlandfläche			
<b>a:</b> Integration von GL0 in AbFL und KgFL sowie <b>GL+</b> in MaF200 (jeweils 3,9 ha Grünland)			
MaF200 + GL+	163	21	0,13
AbFL + GL0	103	22	0,22
KgFL + GL0	104	21	0,20
<b>b:</b> Integration von GL0 in AbFL und KgFL sowie <b>GL++</b> in MaF200 (jeweils 2,3 ha Grünland)			
MaF200 + GL++	185	22	0,12
AbFL + GL0	97	27	0,28
KgFL + GL0	99	25	0,25

Erläuterung: Einzelheiten der Berechnung siehe Kapitel 2.6

Die in Tab. 39 dargestellte N-Auswaschung pro Einheit (kg) N-Ertrag ermöglicht einen einfachen Vergleich der verschiedenen Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer N-Effizienz. Die hohen N-Erträge und geringen N-Auswaschungen des Grünlands, das als Dauergrünland in die Berechnungen einging, übten einen starken Einfluss auf die Ergebnisse der Fruchtfolgen aus. Die höhere Bewirtschaftungsintensität des Grünlands GL++ bzw. GL+ bewirkte eine Steigerung der für den Pflanzenbau bereitgestellten N-Düngermenge gegenüber der Grünlandvariante GL0 um  $85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  bzw.  $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  (siehe  $N_{\text{Ausbringung}}$ , Kapitel 2.6) und eine Verringerung der N-Auswaschung um  $4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  bzw.  $0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ . Entsprechend fiel die Grünlandfläche kleiner bzw. größer aus, die in die Fruchtfolgen einberechnet wurde. Da sich die Grünlandfläche zur Bereitstellung von  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  in der Fruchtfolge MaF200 verdoppelte, wiesen die Fruchtfolgen der Variante 2 (Tab. 39) die höchsten N-Erträge und niedrigsten N-Auswaschungen auf. Innerhalb der Untervarianten a und b der Varianten ähnelten sich die Relationen zwischen den Fruchtfolgen jedoch: In den Maisfruchtfolgen inklusive der intensiven Grünlandvarianten GL+ bzw. GL++ wurde weniger Stickstoff pro kg N-Ertrag ausgewaschen ( $0,12 - 0,19 \text{ kg}$ ) als in den Klee gras- bzw. Ackerbohnenfruchtfolgen inklusive der Grünlandvariante GL0 ( $0,20 - 0,40 \text{ kg}$ ). Besonders stark fiel diese Differenz der Maisfruchtfolgen (MaF100 und MaF200) von den Fruchtfolgen KgFL und AbFL in den Untervarianten b aus: Durch die Integration der intensiven Grünlandvariante GL++ konnte ein großer Vorteil im Sinne der N-Effizienz erzielt werden. Auffallend war außerdem, dass der Vorteil der Maisfruchtfolgen unter der Voraussetzung einer hohen Düngungsintensität (Variante 2) geringer ausgeprägt und die N-Effizienz der geringeren Düngungseffizienz somit als höher einzustufen war. Die Fruchtfolge AbFL wies in jeder Untervariante die höchsten N-Verluste pro kg N-Ertrag auf, während in der Fruchtfolge KgFL, in der das Klee gras jährlich umgebrochen wurde, der vorhandene Stickstoff effizienter in N-Ertrag umgesetzt werden konnte, wenn auch nicht so effizient wie in den Maisfruchtfolgen.

## 4 Diskussion

Stickstoff ist im ökologischen Landbau aufgrund des Verbotes von stickstoffhaltigen Mineraldüngern und den Restriktionen beim Futtermittelzukauf und der Düngungsintensität ein limitierender Faktor. Um jedoch ökonomisch relevante pflanzenbauliche Erträge und tierische Leistungen erzielen zu können, müssen Pflanzen sowie Tiere ausreichend mit Stickstoff versorgt sein. Aus diesem Grunde ist es notwendig den betrieblichen Stickstoffexport durch den Verkauf landwirtschaftlicher Produkte sowie die Stickstoffverluste beispielsweise durch Auswaschung und Emission zu ersetzen und Stickstoff in den betrieblichen Stoffströmen vor Verlusten zu bewahren. Zum Ausgleich des Stickstoffexports und der Stickstoffverluste werden im ökologischen Landbau Leguminosen angebaut, deren fixierter Stickstoff von nichtlegumen ackerbaulichen Kulturen beziehungsweise nichtlegumen Gräsern und Kräutern im Grünland zur Ertragsbildung genutzt wird. Zudem leisten Leguminosen als stickstoffreiche Futtermittel selber oder durch die Versorgung von nichtlegumen Futterpflanzen mit Stickstoff einen entscheidenden Beitrag zur Eiweißversorgung der Nutztiere. Deren Ausscheidungen wiederum tragen durch das Zurückführen des Stickstoffs über den Wirtschaftsdünger zu einer besseren N-Ausnutzung im landwirtschaftlichen Betrieb bei (Loges et al. 2006). Die Bewahrung des Stickstoffs vor Verlusten kann durch eine gezielte Steuerung der Fruchtfolgengestaltung, der Grundfuttergewinnung, der Fütterung und des Wirtschaftsdüngermanagements positiv beeinflusst werden. Durch die Reduzierung unerwünschter flüssiger und gasförmiger Stickstoffverluste, verbleibt mehr Stickstoff in den betrieblichen Stoffströmen, so dass sich die Wahrscheinlichkeit einer besseren N-Ausnutzung im Pflanzenbau und in der Tierhaltung erhöht.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Steuerbarkeit der N-Bereitstellung durch Leguminosen im Futterbaubetrieb. Dazu wurden zwei pflanzenbauliche Optionen der Stickstoffbereitstellung durch Leguminosen betrachtet:

1. der direkte N-Transfer innerhalb des Ackerbaus von annuellen oder mehrjährigen Ackerleguminosen (Klee gras, Körnerleguminosen) zu den nichtlegumen Folgefrüchten (Verfahren Ackerleguminosen) auf gegebener Fläche
2. der indirekte N-Transfer von Grünlandleguminosen über den Wiederkäuer durch die Zurückführung des Wirtschaftsdüngers zum Ackerbau (Verfahren Grünlandleguminosen), also zwischen verschiedenen Flächen

Der Vergleich dieser beiden Pflanzenproduktionsverfahren ermöglicht die Analyse der pflanzenbaulichen Steuerungsmöglichkeiten des N-Transfers von der Leguminose zur Nichtleguminose. Hierfür können die Daten aus dem Fruchtfolge- und Nachbauversuch herangezogen werden. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen dabei die Wirksamkeit für die Ertragsbildung, also die TM- und N-Erträge sowie das Risiko von N-Verlusten über die Nitratauswaschung. Im Hinblick auf den indirekten N-Transfer kommt der Intensivierung der Grünlandnutzung durch Erhöhung des Kleeanteils und der Schnittfrequenz eine Schlüsselrolle zu. Es war das Ziel der Versuche, Einblicke in

Mechanismen zu gewinnen, die über eine Ertragsmaximierung und eine Verlustminimierung zu einer höheren N-Effizienz im Pflanzenbau führen könnten.

#### 4.1 N-Bereitstellung im ökologischen Ackerbau

Die Bereitstellung von Stickstoff durch den Anbau von Ackerleguminosen ist eine wichtige Säule des ökologischen Landbaus (Vertés et al. 2007). Üblicherweise nehmen Klee gras und Körnerleguminosen 20 – 30 % einer Fruchtfolge ein (Stein-Bachinger 2004), um die nachfolgenden Kulturen ausreichend mit Stickstoff zu versorgen. Generell können Leguminosen unter optimalen Bedingungen N<sub>2</sub>-Fixierungsleistungen von bis zu 455 kg ha<sup>-1</sup> N leisten (Jost 2003). Wichtig für eine optimale N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung sind eine geringe mineralische N-Menge im Boden, ein optimaler pH-Wert sowie eine ausreichende Versorgung mit Phosphor und Wasser. Die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung kann aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren auf ein und demselben Standort stark schwanken (Jost 2003, Jung 2003). In dreijährigen Feldexperimenten an vier Standorten in Norddeutschland wurde die N<sub>2</sub>-Fixierung von Erbsen mit 141 kg ha<sup>-1</sup> N veranschlagt, Ackerbohnen erzielten 193 kg ha<sup>-1</sup> N (Jost 2003). In einer parallelen Erhebung ermittelte Jung (2003) eine mittlere N<sub>2</sub>-Fixierung von Rotklee von 306 kg ha<sup>-1</sup> N. Ledgard (2001) gibt für Weißklee in geschnittenem Grünland eine N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung im Mittel von 136 kg ha<sup>-1</sup> N an. Kristensen et al. (1995) differenziert die N<sub>2</sub>-Fixierung nach Kleeanteilen im Grasbestand (Tab. 40):

**Tab. 40: Biologisch fixierter Stickstoff eines Klee gras-Bestandes abhängig vom Kleeanteil und Alter des Bestandes**

Ertragsanteil Klee in % der TM	13-16	17-29	> 30
Alter der Narbe	Fixierte N-Menge in kg ha <sup>-1</sup>		
1-2 Jahre	78	156	248
3 Jahre oder älter	47	84	128

Quelle: Kristensen et al. (1995)

Die Wahl der legumen Kultur und die Standortbedingungen bestimmen demnach maßgeblich die Produktivität einer Fruchtfolge.

Im vorliegenden **Fruchtfolgeversuch** fiel bei Betrachtung der Ackerleguminosen auf Fruchtfolgeebene die Produktivität des Klee gras besser aus als die der Ackerbohne. Mit der Klee grasfruchtfolge KgFL wurde im Mittel der drei parallel angebauten Kulturen ein Trockenmasse-Ertrag von 3,1 t ha<sup>-1</sup> TM und ein N-Ertrag von 60 kg ha<sup>-1</sup> N erzielt. Die Ackerbohnenfruchtfolge AbFL hingegen lag bezüglich des Trockenmasse-Ertrags mit 1,9 t ha<sup>-1</sup> TM und auch bezüglich des N-Ertrags mit 52 kg ha<sup>-1</sup> N deutlich niedriger. Bei der Betrachtung der Ackerleguminosen als Einzelkultur zeigte sich die Ackerbohne produktiver. Klee gras allein brachte im Mittel beider Jahre einen N-Ertrag von 122 kg ha<sup>-1</sup> N und die Ackerbohnen von 166 kg ha<sup>-1</sup> N (Bohne + Stroh), wofür entsprechende N Mengen durch den Boden, durch Deposition und durch N<sub>2</sub>-Fixierung mindestens bereitgestellt worden sind.

Das zweite geprüfte Verfahren Grünlandleguminosen beinhaltet den Zwischenschritt der Fütterung von Wiederkäuern und Erzeugung von Wirtschaftsdünger. Diese indirekte Stickstoffbereitstellung über die Rückführung des Stickstoffs mittels

Wirtschaftsdünger repräsentierten die mit 100 beziehungsweise 200 kg ha<sup>-1</sup> N gedüngten Maisfruchtfolgen MaF100 und MaF200. Die Mistdüngung ermöglichte den Anbau von Mais an Stelle von Klee gras oder Ackerbohnen. Mit Mais in der Fruchtfolge wurde ein Trockenmasseertrag von durchschnittlich 3,0 t ha<sup>-1</sup> TM erzielt, der dem Niveau der Klee grasfruchtfolge KgFL entsprach. Durch das Fehlen einer der stickstoffreichen Kulturen Klee gras oder Ackerbohne konnte jedoch auf der Fruchtfolgeebene mit 44 kg ha<sup>-1</sup> N nur ein deutlich niedrigerer N-Ertrag im Vergleich zur Klee gras- und Ackerbohnenfruchtfolge realisiert werden. Auffällig war, dass die Düngungsintensität keinen nennenswerten Einfluss auf die Produktivität der Maisfruchtfolgen zeigte.

Insgesamt erwies sich die Klee grasfruchtfolge in Bezug auf die Erträge als vorteilhaft, während die Ackerbohnenfruchtfolge durch die niedrigsten Trockenmasseerträge auffiel und nur einen mittleren N-Ertrag erzielte. Dagegen lag der Trockenmasse-Ertrag der Maisfruchtfolgen mit dem der Klee grasfruchtfolge auf einem Niveau, wies jedoch aus den oben genannten Gründen nur den niedrigsten N-Ertrag auf. Das Dauergrünland mit der Grünlandleguminose Weißklee fungierte als Grundlage für die N-Bereitstellung durch den Wirtschaftsdünger und erwies sich als sehr produktiv. Es stellte mit 7,0 t ha<sup>-1</sup> TM und 184 kg ha<sup>-1</sup> N sowohl einen sehr hohen TM- als auch N-Ertrag für den N-Transfer zum Ackerland bereit.

Im vorliegenden **Nachbauversuch** wurden die akkumulierten Fruchtfolgeeffekte deutlich. Nach dem Umbruch des gesamten Versuchsfeldes im Frühjahr des Nachbauversuchsjahres 2006, wurde Sommertriticale angebaut. Für die Auswertung der Ertragsmerkmale und Merkmale der N-Auswaschung wurden die dreijährigen Fruchtfolgen aus dem Fruchtfolgeversuch als Einflussfaktoren angenommen. Die Fruchtfolgen konnten auf diese Weise auf ihre akkumulierte Vorfruchtwirkung hin getestet werden. Hinsichtlich der Vorfruchtwirkung auf den Sommertriticale zeigten die Klee grasfruchtfolge und die gedüngten Maisfruchtfolgen einen gleichwertigen Effekt. Sommertriticale erzielte nach der Klee grasfruchtfolge hohe TM-Erträge mit 2,3 t ha<sup>-1</sup> TM und hohe N-Erträge mit 41 kg ha<sup>-1</sup> N. Ein Niveau, das auch durch die Vorfruchtwirkung der Maisfruchtfolgen MaF100 und MaF200 sowohl beim Trockenmasse-Ertrag mit 2,5 und 2,3 t ha<sup>-1</sup> TM als auch beim Stickstoff-Ertrag mit rund 40 kg ha<sup>-1</sup> N erreicht wurde. Die höhere Düngungsintensität brachte auch im Nachbauversuch keinen entscheidenden Ertragsvorteil. Die niedrigen Erträge des Sommertriticale von 1,7 t ha<sup>-1</sup> TM und 29 kg ha<sup>-1</sup> N auf den Parzellen der Ackerbohnenfruchtfolge lassen eine geringe Vorfruchtwirkung der akkumulierten Effekte der Ackerbohne erkennen. Damit bestätigen die Ergebnisse des Nachbauversuchs die vorher beschriebene Einschätzung, dass mit einer Klee grasfruchtfolge höhere Erträge erzielt werden können als mit einer Ackerbohnenfruchtfolge, während mit einem Transfer des Grünlandleguminosen-Stickstoffs zum Acker Erträge erzielt werden können, die mit denen einer Klee grasfruchtfolge vergleichbar sind.

Als ein Ansatz, die N-Effizienz der Fruchtfolgen abzuschätzen und zu bewerten, werden im Folgenden deren N-Auswaschungen als ein wichtiger Verlustpfad auf sandigen Böden betrachtet. Im **Fruchtfolgeversuch** wurden unter der Klee gras-



fruchtfolge KgFL 54 kg ha<sup>-1</sup> N und unter den Maisfruchtfolgen MaF100 und MaF200 rund 53 kg ha<sup>-1</sup> N ausgewaschen. So lagen die Klee grasfruchtfolge und die gedüngten Maisfruchtfolgen wie auch im Falle des TM-Ertrags auf einem Niveau. Die unterschiedlichen Düngungsintensitäten in den Maisfruchtfolgen MaF100 und MaF200 beeinflussten die N-Auswaschung nicht. Die Ackerbohnenfruchtfolge AbFL verursachte hingegen eine N-Auswaschung von 61 kg ha<sup>-1</sup> N. Aufgrund der hohen N-Auswaschung und des niedrigen TM-Ertrags weist die Ackerbohnenfruchtfolge die niedrigste N-Effizienz auf. Bei der Betrachtung der N-Effizienz hinsichtlich des N-Ertrags verschiebt sich das Bild zugunsten der Ackerbohnenfruchtfolge, deren N-Ertrag zwar geringer ist als der der Klee grasfruchtfolge, aber höher als der der Maisfruchtfolgen. Dies legt die Vermutung nahe, dass hohe TM-Erträge im Ackerbau negativ mit der N-Auswaschung korreliert sind und hohe N-Erträge positiv mit der N-Auswaschung. Dies galt nicht für das Dauergrünland, das sowohl die höchsten TM- als auch N-Erträge produzierte, mit einer N-Auswaschung von nur 11 kg ha<sup>-1</sup> N jedoch die höchste N-Effizienz aufwies. Die Wirkung der Fruchtfolgen auf die N-Auswaschung im **Nachbauversuch** stellt sich etwas anders dar. Hier zeigte das Grünland aufgrund des Umbruchs eines dreijährigen Bestandes mit 120 kg ha<sup>-1</sup> N die mit Abstand höchsten N-Auswaschungen. Die N-Auswaschungen der Maisfruchtfolge MaF200 sowie die der Ackerbohnen- und Klee grasfruchtfolgen unterschieden sich kaum und lagen mit rund 79 kg ha<sup>-1</sup> N deutlich niedriger als die N-Auswaschung der Maisfruchtfolge MaF100 mit 104 kg ha<sup>-1</sup> N. Interessanterweise zeigten die Düngungsintensitäten der Maisfruchtfolgen im Nachbauversuch Auswirkungen auf die N-Auswaschungen. Dabei hatte das niedrigere Düngungsniveau überraschenderweise höhere N-Auswaschungen zur Folge. Einen vereinfachten Überblick über die Besonderheiten der Fruchtfolgen vermittelt Tab. 41. Eine genauere Betrachtung der Fruchtfolgen und ihrer Kulturen findet im Kapitel 4.2 statt.

**Tab. 41: Wichtung der Stärken und Schwächen der Fruchtfolgen im Fruchtfolge- und Nachbauversuch hinsichtlich des TM- und N-Ertrags und der NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung**

	TM-Ertrag	N-Ertrag	N-Auswaschung
Fruchtfolgeversuch			
Maisfruchtfolge MaF100	+	-	+
Maisfruchtfolge MaF200	+	-	+
Ackerbohnenfruchtfolge AbFL	-	+	-
Klee grasfruchtfolge KgFL	+	++	+
Dauergrünland GL	+++	++++	++++
Nachbauversuch			
Maisfruchtfolge MaF100	++	+ (+)	- -
Maisfruchtfolge MaF200	+	+	-
Ackerbohnenfruchtfolge AbFL	-	-	-
Klee grasfruchtfolge KgFL	+	+	-
Dauergrünland GL	+++	++++	- - -

Erläuterungen: + (Stärke: hoher Ertrag wenig Auswaschung), - (Schwäche: wenig Ertrag, viel Auswaschung)

Die Ergebnisse des Fruchtfolge- und Nachbauversuchs stimmen mit denen anderer wissenschaftlicher Untersuchungen überein. Zahlreiche Studien (Stockdale et al. 2001, Stauffer und Spiess 2001, Gruber 2003, Berntsen et al. 2006, Eriksen et al. 2004, Eriksen 2008, Eriksen et al. 2008) gelangen zu der Einschätzung, dass

Körnerleguminosen und Klee gras in der Fruchtfolge hinsichtlich der N-Auswaschung problematische Kulturen darstellen. Leistungsfähige Ackerbohnenbestände hinterlassen zwischen 50 bis 120 kg ha<sup>-1</sup> organisch gebundenen Stickstoff in den Ernterückständen und zusätzlich 25 bis 112 kg ha<sup>-1</sup> N in mineralischer Form im Boden (Kaul et al. 1996). Auch beim Klee grasanbau werden nach dessen Umbruch erhebliche Mengen Stickstoff freigesetzt. Im Vergleich dazu wird die N-Auswaschung unter geschnittenen Grünfütterbeständen generell als niedrig eingestuft (Klempt 1997, Whitehead 2000). Auch der über den Wirtschaftsdünger zu den ackerbaulichen Kulturen zurückgeführte Stickstoff verursacht geringere N-Auswaschungen als der Anbau von Ackerleguminosen (Askegaard et al. 2005, Eriksen et al. 2004). Die Nitratauswaschung unter einer sechsjährigen Futterbaufruchtfolge mit zweijährigem Klee gras belief sich in einem Versuch von Eriksen et al. (1999) auf durchschnittlich 38 kg ha<sup>-1</sup> N.

Das Dauergrünland hat im Fruchtfolgeversuch einen Sonderstatus inne, da es kein direkter Bestandteil einer Fruchtfolge, sondern über eine konzeptionelle Rückführung mit dem Wirtschaftsdünger indirekt eingebunden ist. Die hohen TM- und N-Erträge sowie die besonders niedrigen N-Auswaschungen lassen jedoch ein großes Potential des Dauergrünlands zur Verbesserung der betrieblichen N-Effizienz erkennen. In der Praxis werden das Ertragspotential und somit auch das Minderungspotential hinsichtlich der N-Auswaschung oft nicht ausgeschöpft. Auf die Vorteile einer intensiven Grünlandbewirtschaftung wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

## **4.2 Vergleich der pflanzenbaulichen Aspekte und der Umweltwirkung der Bereitstellung von N über Ackerleguminosen und Grünlandleguminosen**

Die Vor- und Nachteile der Fruchtfolgen wie sie in Kapitel 4.1 dargestellt sind, entstehen aus den Effekten der Kulturen in den einzelnen Fruchtfolgen und deren Wechselwirkungen. Die Unterschiede hinsichtlich der Erträge und der N-Auswaschung werden im Wesentlichen durch die Kulturen, die Stickstoff bereitstellen, beziehungsweise durch die Mistdüngung verursacht. In diesem Kapitel werden die Merkmale und Besonderheiten der Verfahren der Stickstoffbereitstellung auf der Ebene der Kulturen diskutiert. Dabei stehen zum einen die Leguminosen und die Festmistdüngung selbst, zum anderen deren Auswirkung auf die abtragenden Kulturen im Mittelpunkt.

### **4.2.1 Erträge und N-Auswaschung der abtragenden Kulturen**

Die Betrachtung der abtragenden Kulturen Sommergerste und Wintertriticale aus dem Fruchtfolgeversuch, die in allen Ackerfruchtfolgen angebaut wurden, ermöglicht einen guten Eindruck der Effekte der stickstoffbereitstellenden Verfahren. Dazu wurden die Werte der beiden Getreidearten gemittelt. Bei dieser alleinigen Betrachtung des Getreides zeigt sich eine tendenzielle Überlegenheit der Mistdüngung in den Maisfruchtfolgen gegenüber der Stickstoffbereitstellung durch Ackerleguminosen. Die Erträge des Getreides fielen mit 1,8 t ha<sup>-1</sup> TM und 29 kg ha<sup>-1</sup> N in den Maisfruchtfolgen

MaF100 und MaF200 am höchsten aus. Sie lagen damit tendenziell höher als die Erträge in der Klee grasfruchtfolge mit  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$  TM Trockenmasse und  $28 \text{ kg ha}^{-1}$  N; dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. In der Ackerbohnenfruchtfolge hingegen fielen die TM- und N-Erträge der Sommergerste mit  $1,4 \text{ t ha}^{-1}$  TM und  $23 \text{ kg ha}^{-1}$  N deutlich niedriger aus. Hinsichtlich der N-Auswaschung zeigte sich eine eindeutige Überlegenheit der Mistdüngung. Das mit Festmist gedüngte Getreide in den Maisfruchtfolgen erzielte die höchsten Erträge bei niedrigsten N-Auswaschungen. Mit rund  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  N lagen die N-Auswaschungen nur unwesentlich höher als die der ungedüngten Maisfruchtfolge mit  $44 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Die unterschiedlich hohe Mistdüngung hatte auch bei der Betrachtung des Getreides auf der Kulturebene weder nennenswerte Auswirkungen auf die Erträge noch auf die N-Auswaschung. Die hohen Erträge des Getreides in der Klee grasfruchtfolge hatten eine hohe N-Auswaschung zur Folge. Mit  $73 \text{ kg ha}^{-1}$  N fällt die N-Auswaschung des Getreides in der Klee grasfruchtfolge deutlich höher aus als in den Maisfruchtfolgen mit  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  N und der Ackerbohnenfruchtfolge mit  $51 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Warum sich die Ergebnisse bei der isolierten Betrachtung des Getreides in den Fruchtfolgen gegenüber der Betrachtung auf der Fruchtfolgenebene anders darstellen, wird in den nächsten Kapiteln erläutert.

#### 4.2.2 Erträge und N-Auswaschung innerhalb der Klee gras- und Ackerbohnenfruchtfolge

Auf der Fruchtfolgenebene übertraf die Klee grasfruchtfolge die Ackerbohnenfruchtfolge sowohl hinsichtlich des TM- als auch des N-Ertrags (Kapitel 4.1). Während die TM-Erträge der Ackerbohnenfruchtfolge die niedrigsten waren, lagen die N-Erträge im Vergleich zu den anderen Fruchtfolgen im mittleren Bereich. Dies lässt sich mit den hohen N-Konzentrationen in der Trockenmasse der Ackerbohne von  $42 \text{ g kg}^{-1}$  N begründen. Im Vergleich dazu erzielte beispielsweise die intensiv genutzte Grünlandvariante GL++ mit  $28 \text{ g kg}^{-1}$  N die zweithöchste und Mais mit  $13 \text{ g kg}^{-1}$  N die niedrigste N-Konzentration in der Trockenmasse; Klee gras lag mit  $21 \text{ g kg}^{-1}$  N ebenfalls deutlich niedriger als die Ackerbohne. Aufgrund des hohen TM-Ertrags des Klee grasses von  $5,8 \text{ t ha}^{-1}$  TM im Gegensatz zu Ackerbohnen mit  $2,9 \text{ t ha}^{-1}$  TM lagen die beiden Kulturen hinsichtlich des N-Ertrags trotzdem auf einem ähnlichen Niveau (Ackerbohne  $118 \text{ kg ha}^{-1}$  N, Klee gras  $122 \text{ kg ha}^{-1}$  N). Letztendlich gab der günstigere N-Transfer innerhalb der Klee grasfruchtfolge den Ausschlag, dass die Klee grasfruchtfolge die Ackerbohnenfruchtfolge hinsichtlich der N-Effizienz übertraf:

Die Stickstoffbereitstellung durch Ackerleguminosen wird generell als problematisch angesehen (Stockdale et al. 2001, Stauffer und Spiess 2001, Gruber 2003, Berntsen et al. 2006, Eriksen et al. 2004, Eriksen 2008, Eriksen et al. 2008). Da der Stickstoff nicht gezielt zum Zeitpunkt des Bedarfs ausgebracht werden kann, ist das Gelingen des N-Transfers von der Leguminose zur abtragenden Kultur stark von den Standortbedingungen und der Organisation der Pflanzenproduktion abhängig. Mit einem gelungenen Transfer ist jedoch noch nicht sichergestellt, dass der Stickstoff auch synchron zum Bedarf der Nachfrucht verfügbar ist. Im Vergleich der Ackerleguminosen Klee gras und Ackerbohne im Fruchtfolgeversuch verlief der N-Transfer von der Ackerbohne zur Nachfrucht deutlich ineffizienter als im Falle von

Kleegras. Der Stickstoff, der von der Ackerbohne im Boden zurückgelassen wurde, erreichte die direkte Nachfrucht Wintertriticale kaum, so dass er mit TM- und N-Erträgen von  $1,4 \text{ t ha}^{-1}$  TM und  $23 \text{ kg ha}^{-1}$  N sehr geringe Erträge aufwies (Tab. 12 und Tab. 13). Dagegen verlief der N-Transfer von Kleegras zur Nachfrucht Sommergerste sehr gut. Ihr standen hohe Stickstoffmengen zur Verfügung, die die höchsten Erträge im Vergleich aller Getreidebestände mit  $2,1 \text{ t ha}^{-1}$  TM und  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  N ermöglichten.

Die niedrigen Erträge des Getreides in der Ackerbohnenfruchtfolge sind darauf zurückzuführen, dass der Stickstoff, der von der Ackerbohne im Boden zurück gelassen wurde, zu einem großen Teil ( $81 \text{ kg ha}^{-1}$  N) schon im Winter direkt nach ihrem Anbau ausgewaschen wurde, während im Winter direkt nach dem Nutzungsjahr von Kleegras nur rund  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  N ausgewaschen wurden. Dafür fielen die N-Auswaschungen der Nachfrüchte Sommergerste ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N) und Wintertriticale ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  N) sehr hoch aus und lagen damit deutlich über den N-Auswaschungen der Nachfrüchte der Ackerbohne mit jeweils  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Trotz der hohen N-Auswaschungen der Nachfrüchte wies die Kleegrasfruchtfolge eine insgesamt geringere N-Auswaschung auf als die Ackerbohnenfruchtfolge (Kapitel 4.1). Die geringere N-Auswaschung einer Kleegrasfruchtfolge gegenüber einer Körnerleguminosenfruchtfolge belegten auch Marcinkevičienė et al. (2008). Der Unterschied in diesem Experiment fiel sogar deutlicher aus: einer N-Auswaschung von  $41 - 75 \text{ kg ha}^{-1}$  N in einer Erbsenfruchtfolge standen  $1,9 - 4,6 \text{ kg ha}^{-1}$  einer Kleegrasfruchtfolge gegenüber. Im vorliegenden Fruchtfolgeversuch blieb der Kleegrasbestand über Winter stehen und wurde erst im Frühjahr umgebrochen, wodurch sich eine Zwischenfruchtwirkung ergab, die den Vergleich mit der Ackerbohne etwas ungleich gestaltet. Der Anbau von Zwischenfrüchten hat ein großes Minderungspotential auf die N Auswaschung (Djurhuus und Olsen 1997, Francis et al. 1992, Philipps et al. 1995). Constantin et al. (2010) stellten eine Minderung durch Zwischenfrüchte von bis zu 63 % fest. Der Zwischenfruchtanbau ist jedoch auf sandigen Böden nicht unproblematisch, da auf eine frühzeitige Etablierung des Zwischenfruchtbestandes geachtet werden muss, um schon im Frühherbst mögliche Auswaschungsverluste zu verhindern (Eriksen et al. 2008, Shepherd und Lord 1996, Shepherd 1999, Askegaard et al. 2005, Ulén et al. 2008, Herrera et al. 2008). Insofern wäre die Stickstoffbereitstellung durch die Ackerbohne in großem Maße vom Gelingen des Zwischenfruchtanbaus abhängig, während sich der Frühjahrssumbruch von Kleegras unproblematisch und effektiv realisieren lässt. Die geringe N-Auswaschung unter Kleegras steht im Einklang mit Untersuchungen von Scholefield et al. (2002) und Loiseau et al. (2001), die unter Kleegras-Beständen N-Auswaschungen in der Größenordnung von  $1 - 19 \text{ kg ha}^{-1}$  N nachwiesen. Die aufgrund der in den ersten Jahren stattfindenden N-Akkumulation (Vertés et al. 2007, Loges 1998, Whitehead et al. 1990) ohnehin niedrigen N-Auswaschungen unter jungen Kleegrasbeständen können durch eine hohe Schnitffrequenz zusätzlich gemindert werden (Kapitel 4.2.4).

Mit dem Anbau von Ackerbohnen konnten zwar relativ hohe N-Konzentrationen in der Trockenmasse, und damit auch Protein, erzielt werden, dagegen fielen die Erträge gegenüber dem Kleegras deutlich ab bei gleichzeitig größeren N-Verlusten über die winterliche Auswaschung. Selbst wenn die Möglichkeit des Zwischenfruchtanbaus

nach der Ernte der Ackerbohne zur Konservierung des erzeugten Stickstoffs mit einbezogen wird, erscheint diese Minderungsmaßnahme pflanzenbaulich leichter mit Klee gras realisierbar, das in der Regel nach der Ernte gut etabliert in den Winter geht.

#### 4.2.3 Erträge- und N-Auswaschung innerhalb der Maisfruchtfolgen

Wie auch beim Anbau von Ackerleguminosen kann bei der Anwendung von Wirtschaftsdünger im Ackerbau Stickstoff zu Zeiten mineralisiert werden, in der keine N-Aufnahme durch die Pflanzen stattfindet, was zu einem erhöhten Nitrat-auswaschungspotential führt (Bergström und Kirchmann, 1999; Thomsen et al., 1997). Das Ertrags- und Auswaschungspotential der Mais- und Klee grasfruchtfolgen bewegte sich mit Ausnahme des N-Ertrags auf einem Niveau. Der N-Ertrag der Maisfruchtfolgen fiel von allen Fruchtfolgen am niedrigsten aus. Dieser Umstand ist dadurch zu erklären, dass die Maisfruchtfolgen im Versuch keine legumen Kulturen mit produkttypisch hoher N-Konzentration in der Trockenmasse enthielten (siehe Kapitel 4.1). Die Stickstoffbereitstellung durch den Festmist erübrigte den Anbau von Leguminosen, so dass, wie für einen modernen Futterbaubetrieb typisch, Silagemais angebaut wurde. Dieser verfügte zwar mit  $13 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$  über die niedrigste N-Konzentration, gilt aber hinsichtlich einer wiederkäuergerechten Ration als gute Ergänzung zu kleereichen Grassilagen.

Der Mais konnte aufgrund von versuchsbedingten Anbauschwierigkeiten sein Ertragspotential im Fruchtfolgeversuch nicht ausschöpfen. Die Versuchsanstellung verhinderte das Pflügen der Parzellen, so dass sich ein hoher Unkrautdruck entwickelte. Dies hatte besonders negative Auswirkungen auf das Wachstum des Maises, der trotz mehrmaligen Hackens nicht ausreichend unkrautfrei gehalten werden konnte. Zusätzlich kam es zu einem teilweise intensiven Vogelfraß an den Maiskolben. Der Mais erreichte nur einen TM-Ertrag von  $5,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ TM}$ . Dieses Ergebnis lag deutlich unter dem Ertrag eines vorangegangenen Versuches auf demselben Standort (Kosch 2003) mit  $10,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ TM}$ , der das eigentliche Potential des Maisanbaus auf diesem Standort aufzeigt. Aber auch die TM-Erträge der anderen abtragenden Kulturen fielen relativ niedrig aus, während die legumen Kulturen TM-Erträge erzielten, die teilweise deutlich über den Ertragserwartungen lagen (Tab. 42).

**Tab. 42: Vergleich der Ertragsfähigkeit verschiedener Ackerkulturen und Grünland auf sandigen Standorten: Standarddaten und Daten aus drei Versuchen des Standortes Bakenhus (Mittelwerte ohne Kontrollvariante)**

Fruchtart	TM-Ertragsersparung		Mittlerer TM-Ertrag	
	BP 20 – 30 <sup>1</sup>	für 28 BP <sup>1</sup>	Festmist-Versuch (2003) <sup>2</sup>	Versuche 2004 - 2006
	dt ha <sup>-1</sup>			
Wintertriticale	13 - 22	20	20	14
Sommergerste	13 - 22	20	32	18
Ackerbohnen	bis 20	17		29
Kleegrass	30 - 50	46		58
Silagemais	30 - 75	66	101	54
Grünland	30 - 50	46		69
Sommertriticale <sup>3</sup>	13 - 22	20		23 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Stein-Bachinger et al. (2004), <sup>2</sup> Kosch (2003), <sup>3</sup> Nachbauversuch (2006)

Anders als beim Mais bewirkte die Festmistdüngung im Vergleich zur Stickstoffbereitstellung mit Ackerbohne oder Kleegrass die höchsten Getreide-TM- und -N-Erträge (Kapitel 4.2.1). Der Festmist stellte vor allem im Vergleich mit der Ackerbohnenfruchtfolge den Getreidebeständen Stickstoff tatsächlich bedarfsgerechter zur Verfügung. Hätte Mais sein Ertragspotential erreichen können, wäre der TM-Ertrag der Maisfruchtfolgen insgesamt höher ausgefallen. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die N-Auswaschung, die für die Getreidebestände in den Maisfruchtfolgen sehr niedrig ausfiel (Kapitel 4.2.1). Die Auswaschung betrug unter Wintertriticale 40 kg ha<sup>-1</sup> N und unter Sommergerste 50 kg ha<sup>-1</sup> N. Trotz der im Vergleich der Getreidebestände in anderen Fruchtfolgen niedrigsten N-Auswaschung lag die N-Auswaschung der gedüngten Mistfruchtfolgen aufgrund der relativ hohen N-Auswaschungen unter Mais von 70 kg ha<sup>-1</sup> N auf einem ähnlichen Niveau wie die Kleegrassfruchtfolge. Auch Eriksen (2008) und Kelm et al. (2007) beobachtete hohe N-Auswaschungen im Zusammenhang mit Maisanbau. Aufgrund der Schwierigkeiten beim Anbau von Mais im Fruchtfolgeversuch und den damit verbundenen niedrigen TM-Erträgen lässt sich die Ursache der hohen N-Auswaschung von Mais nicht eindeutig zuordnen.

In den Maisfruchtfolgen hatte die höhere Düngungsintensität (MaF200) mit 200 kg N ha<sup>-1</sup> gegenüber der Mistdüngung mit 100 kg N ha<sup>-1</sup> (MaF100) kaum einen Effekt auf Erträge und N-Auswaschung. Die geringere Düngungsintensität in der Fruchtfolge MaF100 zeigte lediglich einen tendenziellen Vorteil hinsichtlich des TM-Ertrags und einen tendenziellen Nachteil hinsichtlich der N-Konzentration und der N-Auswaschung. Auch in einem Feldversuch von Eriksen et al. (2004) traten die höchsten Auswaschungen nach dem Umbruch von Kleegrass nicht durch unterschiedliche Düngungsintensitäten mit Wirtschaftsdünger auf. Um die Nitratauswaschungen im ökologischen Landbau zu minimieren, ist demnach das Management der Leguminosen in der Fruchtfolge von größerer Bedeutung als das Wirtschaftsdüngermanagement (Stockdale et al. 2001).

Ein weiterer Aspekt, den die Festmistdüngung aufwirft, ist der Einfluss des Düngungszeitpunktes. Bei der Betrachtung der Ertragssteigerung von Wintertriticale, Sommergerste und Mais in den gedüngten Maisfruchtfolgen gegenüber der ungedüngten Maisfruchtfolge MaF0 waren deutliche Unterschiede festzustellen. Sommergerste erfuhr eine Ertragssteigerung von 39 %, Mais von 21 % und Wintertriticale nur eine Ertragssteigerung von 7 %. Aufgrund der geringen Ertragssteigerung ist anzunehmen, dass Wintertriticale den Stickstoff aus der Festmistdüngung entweder schlechter nutzen konnte als Sommergerste oder der Stickstoff den Wintertriticale gar nicht erreichte. Aufgrund der Teilung der Düngergabe zu Wintertriticale in eine Herbstdüngung vor der Aussaat, die eingearbeitet werden konnte, und eine Kopfdüngung im Frühjahr, bei der eine Einarbeitung nicht möglich war, ist davon auszugehen, dass die gasförmigen Stickstoffverluste der Kopfdüngung so hoch waren (Döhler et al. 2002), dass dem Wintertriticale letztendlich nur noch wenig Stickstoff zur Verfügung stand. Im Gegensatz dazu wurde der Mist zur Sommergerste vor der Saat ausgebracht und eingearbeitet.

#### 4.2.4 Erträge und N-Auswaschung von Klee gras und Grünland

Der Intensivierung von Dauergrünland kommt im Pflanzenproduktionsverfahren Grünlandleguminosen, d.h. dem Transfer von N vom Grünland über den Mist zum Acker, eine Schlüsselrolle zu. Das Dauergrünland soll durch einen hohen N-Ertrag sowie niedrige Auswaschungen effizient und ressourcenschonend große Mengen Stickstoff für den Betrieb bereitstellen. Das Potential für diese Aufgabe ist vorhanden. Mit dem Dauergrünland können sehr hohe N-Erträge erzielt werden, außerdem weist es unter Schnittregime sehr niedrige Stickstoffverluste auf und stellt zudem einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar (Klempt 1997, Whitehead 2000, Trott et al. 2003). Wird die Ertragsbildung nicht durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger realisiert, sondern durch einen ausreichenden Anteil Klee im Bestand, steht zusätzlich mehr wirtschaftseigener Dünger für den Ackerbau zur Verfügung. Das Potential des Grünlands wird in der Praxis oftmals nicht entsprechend ausgeschöpft. Noch spielt Dauergrünland mit rund 50 % der ökologischen Anbaufläche (Statistisches Bundesamt 2009) als eine der wichtigsten Futtergrundlagen eine große Rolle, verliert aber auch hier an Bedeutung. Entweder weicht Dauergrünland ackerbaulichen Futterkulturen, um höhere Milchleistungen mit Kraffutter und Silagemais zu erfüllen, oder die Vernachlässigung der Grünlandnarbe und der Futterwerbung führt zu qualitativ minderwertigen Grassilagen, die durch Kraffutter- und Silagemaisfütterung ausgeglichen werden müssen. Eine Bonitierung auf 106 ökologischen Betrieben in Deutschland ergab einen Kleeanteil von durchschnittlich 5 % in den Grünlandnarben (Tichter et al. 2011). Diese Situation ist verbesserungswürdig. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung über höhere Kleeanteile und eine hohe Schnitffrequenz ist lohnenswert, führt sie doch zu höheren Erträgen und verminderter N-Auswaschung, wodurch die N-Effizienz im Betrieb verbessert wird.

Für ein produktives Grünland wird ein hoher Kleeanteil im Bestand benötigt. Wenn der Kleeanteil ein Niveau von 30 % erreicht, ist die Stickstoffversorgung der Gräser durch den Klee optimal gewährleistet (Trott et al. 2003). Die Instabilität des Klees im Bestand

erfordert jedoch in jedem Fall eine fachgerechte Bestandsführung. Dazu gehört eine ausreichend hohe Schnitffrequenz von vier Schnitten (Ledgard et al. 2001), eine gute Versorgung mit Phosphor und eine regelmäßige Kalkung. Gelingt es, ausreichend Klee im Bestand zu etablieren, können hohe Erträge erzielt werden, die nach einer effektiven Silierung hochwertige Grassilagen darstellen (Konyali 2001).

Im vorliegenden Versuch ließen sich mit Grünland tatsächlich sehr hohe TM- und N-Erträge mit einer Spannbreite von 5,3 - 8,3 t ha<sup>-1</sup> TM und 115 - 245 kg ha<sup>-1</sup> N erzielen. Höhere TM- und N-Erträge korrespondierten dabei mit hohen Kleeanteilen. Die Grünlandvarianten wiesen im Jahr 2004 noch relativ niedrige Kleeanteile von 10 % (GL0), 21 % (GL+), 13 % (GL++) auf, die entsprechend niedrige TM-Erträge von 3,6, 4,6 und 4,8 t ha<sup>-1</sup> TM sowie N-Erträge von 79, 118 und 113 kg ha<sup>-1</sup> N zur Folge hatten. Im Jahr 2005 hatte sich der Klee jedoch deutlich besser etabliert und die Kleeanteile lagen in einem Bereich von 38 % (GL0), 54 % (GL+) und 56 % (GL++). Die höheren Kleeanteile im Jahr 2005 bewirkten eine deutliche Ertragssteigerung: GL+ und GL++ lieferten in diesem Jahr höchste TM- und N-Erträge mit 9,7 t ha<sup>-1</sup> TM und 11,8 t ha<sup>-1</sup> TM beziehungsweise 270 kg ha<sup>-1</sup> N und 380 kg ha<sup>-1</sup> N. Dabei schwankten die N-Konzentrationen im Klee in den unterschiedlichen Varianten. Es ist nicht eindeutig zu klären, worauf diese Schwankungen zurückzuführen sind, aber sie beeinflussten in jedem Fall den N-Ertrag der Varianten. Neben den Kleeanteilen stellte die Schnitthäufigkeit eine weitere Einflussgröße dar. Trotz deutlich niedrigerer Kleeanteile der vierschürigen Grünlandvariante GL++ gegenüber der dreischürigen Grünlandvariante GL+ im Jahr 2004 erzielte GL++ mit 4,8 t ha<sup>-1</sup> TM und 113 kg ha<sup>-1</sup> N einen mit der GL+-Variante von 4,6 t ha<sup>-1</sup> TM und 118 kg ha<sup>-1</sup> N vergleichbaren TM- und N-Ertrag. Im Jahr 2005 waren die Kleeanteile in beiden Varianten deutlich höher und auf einem ähnlichen Niveau. In diesem Jahr erzielte die Variante GL++ aufgrund ihrer Schnitthäufigkeit einen um 2,1 t ha<sup>-1</sup> TM und 110 kg ha<sup>-1</sup> N höheren TM-beziehungsweise N-Ertrag.

Grünfütterbestände mit einem hohen Anteil an Leguminosen haben zwar ein hohes Ertragspotential aber auch ein potentiell höheres Auswaschungspotential als reine Grasbestände (Hooper und Vitousek 1998). Scherer-Lorenzen (2003) stellte unter zweischürigen ungedüngten Grünlandbeständen je nach Kleeanteil eine N-Auswaschung von < 1 kg ha<sup>-1</sup> N (0 % Klee) bis > 100 kg ha<sup>-1</sup> N (100 % Klee) fest und kam zu dem Schluss, dass Narben mit hohen Kleeanteilen mindestens viermal geschnitten werden müssen, um das Ertragspotential zu nutzen und eine hohe Abfuhr von N zu gewährleisten. Im eigenen Versuch wurde das Grünland mit drei bis vier Schnitten mittelintensiv bis intensiv genutzt, so dass trotz teilweise hoher Kleeanteile unter allen Beständen nur sehr niedrige N-Auswaschungen auftraten. Mit durchschnittlichen N-Auswaschungen von 12 kg ha<sup>-1</sup> N (GL0 und GL+) und 8 kg ha<sup>-1</sup> N (GL++) im Jahr lagen diese deutlich unter den N-Auswaschungen der übrigen Kulturen im Bereich von 42 bis 81 kg ha<sup>-1</sup> N. Die Ergebnisse korrespondieren gut mit der von Stauffer und Spiess (2005) unter vierschürigem Klee gras im Mittel von 7 Jahren gemessenen Nitratfracht von 14 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> N im Jahr. Auch Trott et al. (2003) berichten von einer relativ geringen N-Auswaschung unter vierschürigem Grünland in der Größenordnung von 20 kg ha<sup>-1</sup> N auf. Allerdings fördert eine hohe Schnitffrequenz in



ungedüngten Beständen auch das Wachstum des Klees (Ledgard et al., 2001). Daher ist davon auszugehen, dass sich die N-Auswaschung in ungedüngten Klee- und Klee-Grasbeständen nach einer Etablierungs- und Akkumulationsphase von 2-3 Jahren erhöhen wird (Conijn und Aarts, 2004). Kayser (2003) beobachtete auf einem sandigen Standort in Niedersachsen mit dem Älterwerden eines vierschürigen ungedüngten Weißklee-Grasbestandes mit durchschnittlich 38 % (13 – 65 %) Klee (Anteil am TM-Ertrag) steigende Nitratfrachten. Die Auswaschungsverluste schwankten in den letzten drei von 6 Versuchsjahren zwischen 30 und 64 kg ha<sup>-1</sup> N. Es ist demnach wichtig, dass mit dem Älterwerden des Bestandes das Verhältnis von Leguminosen zu Gräsern ausgewogen ist, so dass die Gräser den Stickstoff, den die Leguminosen bereitstellen, optimal nutzen können. Nicht nur durch die Schnitfführung, auch durch die Zufuhr von N, auch über organische Düngemittel, lässt sich der Kleeanteil bedingt regulieren. Nach Klempt (1997) und Benke (1992) erlangt die N-Auswaschung unter Grünland oder Klee-Gras nur eine Bedeutung bei Kleeanteilen >30 %. Dauergrünland mit hohen Kleeanteilen gepaart mit einer Schnitthäufigkeit von mindestens vier Schnitten stellt demnach eine ressourcenschonende Möglichkeit dar, hochwertiges Grundfutter für die Milchviehhaltung zu erzeugen.

Es zeigte sich im vorliegenden Versuch jedoch auch, dass es nicht unproblematisch ist, Klee erfolgreich auszusäen und zu etablieren. Es musste wegen Auflaufschwierigkeiten, vor allem in einem trockenen Frühjahr, jeweils im Klee-Gras als auch im Grünland einmal nachgesät werden. War Klee im Bestand etabliert, erwies er sich als konkurrenzstark. Dies konnte in den Dauergrünlandparzellen beobachtet werden, in denen der Klee im ersten Jahr nach der Etablierung schon zum ersten Schnitt einen hohen Anteil im Bestand aufwies (Abb. 3 und Abb. 4). Bei Ackerklee-Gras findet das Risiko des Auflaufens und die Etablierungsphase je nach Management alle ein bis drei Jahre statt, was ein Nachteil des Klee-Grases gegenüber Dauergrünland darstellt. Klee-Gras konnte mit durchschnittlich 5,8 t ha<sup>-1</sup> TM und 122 kg ha<sup>-1</sup> N nur einen deutlich niedrigeren TM- sowie N-Ertrag als die intensiv genutzte Grünlandvariante GL++ mit 8,3 t ha<sup>-1</sup> TM und 245 kg ha<sup>-1</sup> N erzielen. Zudem verursachte es eine tendenziell höhere N-Auswaschung von 15 kg ha<sup>-1</sup> N gegenüber GL++ mit 8 kg ha<sup>-1</sup> N.

Außerdem muss trotz des großen Ertragspotentials und des Minderungspotentials des intensiv genutzten Grünlands hinsichtlich der N-Auswaschung bedacht werden, dass beim Transfer des vom Grünland geernteten Stickstoffs zurück zu den ackerbaulichen Kulturen gasförmige Stickstoffverluste auftreten. Diese finden im Wesentlichen während der Futterkette (Werbung, Silierung, Fütterung) und nach der Ausscheidung durch den Wiederkäuer im Stall sowie während der Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers statt (Kosch 2003). Das Ausmaß der gasförmigen Verluste in Form von NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und N<sub>2</sub> wird von vielfältigen Faktoren beeinflusst, die nicht Gegenstand des vorliegenden Versuches waren, ebenso wie die gasförmigen Verluste durch die Pflanzenproduktion. Außerdem besteht im Falle eines Umbruchs vor allem von älteren Grünlandbeständen ein großes N-Auswaschungspotential (siehe auch Kapitel 4.2.5). Zudem treten in den ersten Jahren große Kohlenstoffverluste auf.

#### 4.2.5 Nachbauversuch

Für den Nachbauversuch wurde im Frühjahr 2006 das gesamte Versuchsfeld gepflügt und Sommertriticale angebaut. Dies beinhaltete auch den Umbruch der einjährigen Klee- und dreijährigen Grünlandbestände. Nach der Ernte des Sommertriticales wurde das Versuchsfeld Ende September mit einer Zwischenfrucht aus Erbsen und Wicke bestellt. Die Ergebnisse des Nachbaus von Sommertriticale sind ein Produkt der vorangegangenen Fruchtfolgen (Versuchsglieder) und der direkten Vorfrucht, also der Kultur, die im Jahr zuvor angebaut worden war. So können sowohl die akkumulierten Effekte der Fruchtfolgen auf den TM-Ertrag, den N-Ertrag, auf die Merkmale der N-Auswaschung und auf die Mineralstoffgehalte im Boden betrachtet werden, als auch der direkte Einfluss einzelner Kulturen. Von besonderem Interesse ist dabei der Vergleich des ehemaligen Dauergrünlands, das in diesem Falle auch als dreijähriger Klee- und Ackerbohnenbestand betrachtet werden kann, mit dem Klee- und Ackerbohnenbestand als einjährigem Bestand und der Vergleich der Ackerleguminosen Klee- und Ackerbohne. Die statistische Auswertung ergab, dass sowohl die Fruchtfolge als auch die direkte Vorfrucht einen signifikanten Effekt auf den TM-Ertrag und die Merkmale des N-Ertrags des Sommertriticales hatten. Im Gegensatz dazu wurde die N-Auswaschung nur durch die Fruchtfolge signifikant beeinflusst, während die Effekte der direkten Vorfrucht statistisch nicht abgesichert werden konnten. Lediglich hinsichtlich der Herbst- $N_{\min}$ -Menge war mit  $p = 0,067$  ein gewisser Effekt der direkten Vorfrucht vorhanden. Hinsichtlich der N-Auswaschung wurde jedoch der Effekt der direkten Vorfrucht durch den Effekt der Fruchtfolge überlagert, was zum Teil dem massiven Einfluss des Grünlandumbruchs geschuldet war.

Bei der Betrachtung des Nachbauversuchs auf der Fruchtfolgenebene erzielte Sommertriticale nach Grünlandumbruch mit  $2,9 \text{ t ha}^{-1}$  TM und  $65 \text{ g kg}^{-1}$  N die mit Abstand höchsten Korn-Erträge. Die Erträge von Sommertriticale nach der Klee- und Ackerbohnenfruchtfolge lagen mit denen der gedüngten Maisfruchtfolgen auf einem Niveau. Sommertriticale erzielte auf den Parzellen der ehemaligen Klee- und gedüngten Maisfruchtfolge im Durchschnitt einen Korn-TM-Ertrag von  $2,3 \text{ t ha}^{-1}$  TM, einen Korn-N-Ertrag von  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  N und eine Korn-N-Konzentration von  $17 \text{ g kg}^{-1}$  N. Die Ackerbohnenfruchtfolge bewirkte zwar eine gleich hohe Korn-N-Konzentrationen von Sommertriticale mit  $17 \text{ g kg}^{-1}$  N, hatte aber mit  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$  TM einen deutlich niedrigeren Korn-TM-Ertrag und somit auch einen niedrigeren Korn-N-Ertrag von  $29 \text{ kg ha}^{-1}$  N zur Folge. Aus dem hohen N-Angebot nach dem Grünlandumbruch resultierten nicht nur die höchsten Erträge, sondern auch die höchsten N-Auswaschungen von  $119 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Die N-Auswaschungen nach Sommertriticale auf den Parzellen der vorangegangenen Maisfruchtfolge MaF200, der Klee- und Ackerbohnenfruchtfolge lagen mit rund  $79 \text{ kg ha}^{-1}$  N auf einem Niveau. Eine Ausnahme bilden die hohen N-Auswaschungen nach der Maisfruchtfolge MaF100, die im Mittel mit  $104 \text{ kg ha}^{-1}$  N fast auf der Höhe der später beschriebenen N-Auswaschungen nach dem Grünlandumbruch lagen. Dieser Effekt lässt sich nicht abschließend erklären. Allerdings fallen bei MaF100 die höchsten Nitratkonzentrationen mit dem Zeitpunkt der größten Sickerungsrate im Winter zusammen, während der Verlauf der Nitratkonzentrationen nach MaF200 deutlich flacher verläuft und der Peak

der Konzentrationen früher auftritt. Hinsichtlich der Erträge und der N-Auswaschung waren die Mistdüngung und die Stickstoffbereitstellung durch die Klee-grasfruchtfolge gleich zu bewerten, wenn die hohe N-Auswaschung unter der Maisfruchtfolge MaF100 außer Acht gelassen wird. Dagegen stand dem Sommertriticale durch die Ackerbohnenfruchtfolge am wenigsten Stickstoff zur Ertragsbildung zur Verfügung, was jedoch nicht zu einer entsprechenden Minderung der N-Auswaschung führte. Die sehr hohen Erträge des Sommertriticales nach dem Grünlandumbruch zogen jedoch auch eine sehr hohe N-Auswaschung nach sich.

Auf der Ebene der direkten Vorfrucht ließ sich ein Bezug der unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten und Kleeanteile des Grünlands im Jahr 2005 von 38 % (GL0), 54 % (GL+) und 56 % (GL++) auf den Korn-TM-Ertrag des Sommertriticales nicht klar erkennen, allerdings fiel der Korn-TM-Ertrag nach GL++ mit  $3,1 \text{ t ha}^{-1}$  TM am höchsten aus. Die geringe Wirkung auf den Korn-TM-Ertrag ist ein Hinweis darauf, dass nach dem Umbruch der Grünlandbestände mit höheren Kleeanteilen zwar mehr N zur Verfügung stand, dieser aber nicht entsprechend in Ertrag umgesetzt werden konnte. Möglicherweise stand während der im Jahr 2006 auftretenden Trockenphasen im Juni und Juli nicht genügend Wasser zur Verfügung. Bezüglich der N-Konzentration im Korn des Sommertriticales wurde jedoch ein Effekt der Kleeanteile sichtbar. Die Grünlandvarianten mit hohen Kleeanteilen wirkten sich positiv auf die Korn-N-Konzentration des Sommertriticales mit  $25 \text{ g kg}^{-1}$  N nach GL+ und  $22 \text{ g kg}^{-1}$  N nach GL++ gegenüber  $20 \text{ g kg}^{-1}$  N nach GL0 aus. Die unterschiedliche N-Bereitstellung durch die Kleeanteile hatte jedoch keinen Effekt auf die in allen Grünlandvarianten ohnehin hohen N-Auswaschungen. Nach den Trockenphasen und der Ernte setzten dann im August stärkere Niederschläge ein, die zu einer nachhaltigen Wiederbefeuchtung des Bodens und möglicherweise intensiven Mineralisationsprozessen geführt haben, was letztendlich auch die N-Auswaschung im folgenden Herbst und Winter begünstigt hat. Diese fiel nach Grünland mit durchschnittlich  $123 \text{ kg ha}^{-1}$  N (GL0),  $113 \text{ kg ha}^{-1}$  N (GL+) und  $124 \text{ kg ha}^{-1}$  N (GL++) sehr hoch aus. Dies stimmt mit Ergebnissen von Seidel et al. (2007) auf einem norddeutschen Sandboden überein, die ebenfalls keinen Effekt von N-Düngungsintensitäten des Grünlands auf die N-Auswaschung nach dem Umbruch des Grünlands feststellten.

Der Umbruch des einjährigen Klee-grases bewirkte mit dem Umbruch der Grünlandvariante GL0 nahezu identische Korn-TM- und -N-Erträge des Sommertriticales, hatte aber wahrscheinlich aufgrund der häufigeren Defoliation mit  $82 \text{ kg ha}^{-1}$  N eine niedrigere N-Auswaschung als GL0 mit  $123 \text{ kg ha}^{-1}$  N zur Folge. Einjähriges Klee-gras versorgte Sommertriticale demnach ähnlich gut mit Stickstoff wie die dreijährigen Grünlandbestände, verursachte jedoch ein weniger auswaschungsgefährdetes Überangebot an N. Dies weist darauf hin, dass das Alter des Bestandes einen größeren Effekt auf die N-Auswaschung hat, als der Kleeanteil und die Schnitffrequenz in den Grünlandvarianten. Nach Piorr (1992) hinterließ ein zweijähriger Klee-grasbestand bis zu  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  N und ein einjähriger Bestand bis zu  $132 \text{ kg ha}^{-1}$  N im Boden. Die höheren TM- und N-Erträge nach dem Umbruch mehrjähriger Bestände werden resultieren dann, vor allem wenn ein Überangebot an N nicht durch eine

nachfolgende Zwischenfrucht aufgenommen werden kann, in einer deutlich erhöhten N-Auswaschung.

Wie auch im Fruchtfolgeversuch erwies sich die Ackerbohne als direkte Vorfrucht als minderwertig. Die TM- und N-Erträge des Sommertriticales lagen mit 1,7 und 29 kg ha<sup>-1</sup> N sehr niedrig. Die geringe N-Bereitstellung hatte jedoch den Vorteil, dass wenigstens die N-Auswaschungen mit 78 kg ha<sup>-1</sup> N etwas niedriger ausfiel als die des Klee-grasumbruches mit 82 kg ha<sup>-1</sup> N.

Das gute Abschneiden der legumen Vorfrüchte Klee-gras und Grünland hinsichtlich der Ertragsbildung des Sommertriticales sowie das hohe N-Auswaschungspotential ist in einer sehr hohen Stickstoffbereitstellung durch diese Kulturen begründet. Die hohen Auswaschungsraten nach Grünland- und Klee-grasumbruch korrespondieren mit den Ergebnissen anderer Versuchsansteller. Berntsen et al. (2006) führten einen Umbruchversuch mit einem dreijährigen Klee-gras-Bestand auf einem Sandboden und einem lehmigen Sandboden gefolgt von Sommergerste durch. Die niedrigen N-Auswaschungen unter intakten Klee-grasbeständen von 9 - 64 kg ha<sup>-1</sup> N standen deutlich höheren Auswaschungsraten nach dem Umbruch gegenüber. Im ersten Jahr nach dem Umbruch wurden 63 - 216 kg ha<sup>-1</sup> N, im zweiten Jahr 62 - 235 kg ha<sup>-1</sup> N-Auswaschungen gemessen. Dies zeigt, dass in Systemen mit Gras und Klee-gras auch bei moderatem N-Input unter Umständen auf Feldebene hohe Verluste auftreten können. Ähnliche Schlussfolgerungen zogen Kayser et al (2008) nach dem Umbruch deutlich älterer Grasnarben auf Sandböden. Hier beliefen sich die Auswaschungsverluste nach dem Anbau von Sommergerste und Zwischenfrucht Gelbsenf auf 45 - 81 kg ha<sup>-1</sup> N und für Mais auf 118 - 216 kg ha<sup>-1</sup> N, einmal ohne N bzw. mit N Düngung in Höhe von 120 kg ha<sup>-1</sup> N zu Sommergerste und 160 kg ha<sup>-1</sup> N zu Mais. Die in Spross und Wurzel gespeicherten N-Mengen von Leguminosen-Gras-Beständen können sehr hoch sein (Høgh-Jensen und Schjoerring 2001, Berntsen et al. 2006).

Die Sickerwasserperiode nach dem Anbau des Sommertriticales 2006 unterschied sich von denen der vorangegangenen Jahre. Sie zeichnete sich durch eine sehr viel höhere N-Auswaschung aus (Tab. 43).

**Tab. 43: Mittlere NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung über alle Kulturen für die Sickerwasserperioden des Fruchtfolgeversuches (ohne Grünland) und des Nachbauversuchs (ohne Grünlandumbruch)**

Sickerwasser- periode	Mittelwert der NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung über alle Parzellen (ohne Grünland/-umbruch) kg ha <sup>-1</sup>
2004/2005	59
2005/2006	49
2006/2007	82

Die milden Temperaturen im Winter 2006/2007 und das Auftreten extremer Niederschlagsereignisse von über 60 mm m<sup>-2</sup> (siehe auch Tab. 4) können die Ursache dafür gewesen sein. Die relativ hohen N-Auswaschungen unter den ungedüngten Kontrollparzellen mit 44 kg ha<sup>-1</sup> N im Fruchtfolgeversuch und 67 kg ha<sup>-1</sup> N im Nachbauversuch deuten auf ein relativ hohes Mineralisationsgeschehen am

Versuchsstandort hin. Die absolut ausgewaschene Stickstofffracht ist zu einem großen Teil abhängig von Niederschlagsereignissen und Temperaturentwicklungen. Die Niederschlagsmenge bestimmt die Durchwaschungsrate eines Bodens. Da sorptionsschwachen Böden in einem Winter mehrfach durchwaschen werden können und somit eine entsprechend große Nitratmengen verlagert werden kann, ist das Auswaschungspotential selbst bei niedrigen N-Konzentrationen im Sickerwasser groß. Abtrocknen und Wiederbefeuchten von Böden bei moderaten Temperaturen über 5°C fördert die Mineralisation erheblich, so dass hohe N-Konzentrationen im Bodenwasser entstehen, die im Winter nicht von Pflanzen aufgenommen werden können. Einen ähnlichen Effekt hat das Gefrieren und Tauen von Böden. Auch bei diesem Prozess entstehen große Mengen wasserlöslicher Stickstoffverbindungen (Jarvis et al. 1996). Franko (1984) und Gill et al. (1995) bestätigen, dass auch bei niedrigen Temperaturen noch relativ große Mengen Stickstoff mineralisiert werden können. Abgesehen von hohen mineralischen N-Mengen im Boden werden diese Prozesse ihren Anteil zu den hohen N-Frachten beigetragen haben. Dies würde auch erklären, dass die N-Auswaschung des Nachbauversuchs im Durchschnitt 56 % (ohne Grünland) höher ausfiel als das im Herbst gemessene residuale  $N_{\min}$  im Boden. Aber auch in den Sickerwasserperioden des Fruchtfolgeversuches wurden im Schnitt 12 % (ohne Grünland) mehr Stickstoff ausgewaschen als es das im Herbst gemessene residuale  $N_{\min}$  im Boden vermuten ließ. Normalerweise wird mit einer N-Fracht von 40 - 60 % des Herbst-  $N_{\min}$  gerechnet (Kayser 2003, Wachendorf et al. 2006). Daraus lässt sich schließen, dass die erwartete Relation von  $N_{\min}$  zu ausgewaschenem N durch eine starke Mineralisation im Herbst und Winter aufgrund bestimmter Witterungsverhältnisse zumindest auf einem Sandboden überlagert werden können. Dies stellt sich im Falle der Grünlandparzellen anders dar. Unter Grünland wurde in den Jahren des Fruchtfolgeversuches rund 50 % weniger N ausgewaschen als im Herbst als  $N_{\min}$  zur Verfügung stand. Aber auch nach dem Umbruch zum Nachbauversuch wurden unter den ehemaligen Grünlandparzellen nur rund 70 % des im Herbst vorliegenden residualen mineralischen Stickstoffs ausgewaschen.

Die Analysen von Bodenproben im Nachbauversuch machten die Beurteilung des Effektes der Fruchtfolgen auf die Bodenmineralgehalte möglich. Tendenziell wiesen die Proben aus den mit Festmist gedüngten Maisfruchtfolgen die höchsten Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden auf. Es konnte allerdings nur ein signifikanter Einfluss der Fruchtfolgen auf die K-Menge im Boden nachgewiesen werden. Hier hielt nur die Düngung in den Maisfruchtfolgen die Menge an pflanzenverfügbarem Kalium im Boden über mehrere Jahre konstant. Die hohen TM-Erträge des Grünlands und des Klee gras' bewirkten eine hohe Kalium-Abfuhr, die zu einer Erniedrigung gegenüber den gedüngten Parzellen von 35 % führte. Dieser Trend weist auf die Bedeutung eines insgesamt balancierten Nährstoffmanagements besonders auf sandigen Standorten und hinsichtlich Kalium hin, um die Bodenfruchtbarkeit zu bewahren (Öborn et al. 2005, Holmquist et al. 2003). Auch mit Stickstoff versorgte Kulturen wie Klee gras und Dauergrünland brauchen einen Mineralstoffausgleich, der durch die Ausbringung entsprechender im ökologischen Landbau zugelassener Phosphor- und Kalidünger realisiert werden kann.

### **4.3 Betrachtung des N-Transfers unter Einbeziehung der Betriebsebene**

In diesem Kapitel werden einige Konsequenzen diskutiert, die sich aus den Pflanzenproduktionsverfahren Ackerleguminosen und Grünlandleguminosen ergeben. Ziel der Stickstoffbereitstellung zu den abtragenden Früchten ist die Kompensation betrieblicher N-Exporte und N-Verluste. Dieser Prozess verläuft effektiv, wenn aus ökonomischer Sicht die Erträge maximiert werden und aus Sicht des Umweltschutzes die N-Verluste minimiert werden können.

Im vorliegenden Versuch konnten mit der Stickstoffbereitstellung durch Klee gras und mit Festmist in der Fruchtfolge höhere TM-Erträge und geringere N-Auswaschungen als mit der Stickstoffbereitstellung durch Ackerbohnen erzielt werden. Bei der zusammenfassenden Betrachtung der Fruchtfolgen brachten die Kombinationen mit Klee gras höhere N-Erträge als die mit Mist gedüngten Maisfruchtfolgen, was mit den großen Masseerträgen des Klee grasses aber auch mit den versuchsbedingt niedrigen Erträgen der Maisparzellen zusammenhängt. Aus Sicht der Tierernährung ergänzen sich Maissilagen und kleereiche Grassilagen allerdings gut, so dass durch die niedrige N-Konzentration im Mais ein Synergieeffekt mit den hohen N-Konzentrationen im Klee gras entsteht. Gesamtbetrieblich betrachtet wirkten sich demnach die Klee grasfruchtfolge und die gedüngten Maisfruchtfolgen im Hinblick ihres ökonomischen Effektivität und ihrer Umweltwirkung positiver aus als die Ackerbohnenfruchtfolge. Auch nach Aarts et al. (1999), Büchter (2003) und Eriksen (2008) kann der Silagemaisanbau die Stickstoffeffizienz in der Milchviehfütterung sowie auf der Betriebsebene verbessern.

Die Ackerbohne stellte sich hinsichtlich der N-Auswaschung als schwierig zu regulieren dar und ist somit ein für die Nachfrüchte unsicherer N-Lieferant. Der N-Transfer über die leicht zersetzbaren Pflanzen- und Wurzelreste der Ackerbohne zu einer nachfolgenden Hauptfrucht ist anscheinend stark abhängig von der zeitweiligen Konservierung des bereitgestellten N durch eine geeignete Zwischenfrucht. Dieses war im vorliegenden Versuch nicht gewährleistet und so wurden indirekt die Konsequenzen einer fehlenden Zwischenfrucht für die Erträge der nachfolgenden Frucht und die N Verluste aufgezeigt. Trotz der schlechteren N-Effizienz der Ackerbohne in der Fruchtfolge hat sie aufgrund ihrer Qualität als proteinreiches Krafftuttermittel einen Platz in der Milchviehfütterung hinsichtlich der Deckung des Nährstoffbedarfes zu Leistungsspitzen. Grundsätzlich sollte jedoch auf die Erzeugung hochwertiger Grassilagen Wert gelegt werden, um eine möglichst hohe Grundfutterleistung zu erzielen. Da mit einer intensiven Grünlandbewirtschaftung bei Kleeanteilen über 30 % hohe TM-Erträge für eine hochwertige Grassilage bei niedrigsten N-Auswaschungen erzielt werden konnten, erscheint diese Form der Grünlandnutzung sowohl aus der Sicht der Tierernährung, der Ökonomie und des Umweltschutzes eine gute Option zu sein.

Die Ergebnisse des Versuches weisen zudem darauf hin, dass besonders auf sandigen Standorten der Anbau von Zwischenfrüchten unerlässlich ist, um die Vorgaben der

Trinkwasserverordnung (2001) einhalten zu können (Köhler et al. 2006). Da sich viele Milchviehbetriebe in Norddeutschland in Regionen mit sandigen sorptionsschwachen Böden befinden (Benke 1992), ist es besonders wichtig, dass die Zwischenfrucht schon im Frühherbst viel N aufnehmen kann. Dies ließ sich im Fruchtfolgeversuch mit dem Anbau von Klee gras, das dann im Frühjahr nach dem ersten Hauptnutzungsjahr für den Anbau einer Sommerung umgebrochen wurde, einfach und effektiv realisieren. Allerdings muss der N-Transfer von der direkten Nachfrucht zur zweiten und dritten Nachfrucht aufgrund des hohen N-Auswaschungspotentials ebenfalls durch Zwischenfrüchte unterstützt werden (Eriksen et al. 2004). Der durch die Ackerbohne bereit gestellte Stickstoff lag schon im August im Boden vor und wurde im vorliegenden Versuch ohne Zwischenfrüchte zu einem großen Teil im Winter nach der Ackerbohnernte ausgewaschen.

Der Nachbauversuch erlaubte auch die Betrachtung des Umbruchs von ein- oder mehrjährig genutzten Klee grasbeständen. Da nach dem Umbruch des dreijährigen Grünlands zwar sehr hohe Erträge erzielt werden konnten, aber auch sehr hohe N-Auswaschungen auftraten, ist die sich ergebende Empfehlung, Klee gras einjährig anzubauen. Das einjährige Klee gras erzielte nur unwesentlich geringere Erträge als das dreijährige Grünland, aber deutlich geringere N-Auswaschungen. Auch Eriksen (2008) weist daraufhin, Klee gras in der Fruchtfolge nur einjährig zu nutzen, um durch die hohe N-Akkumulation der Narbe die N-Auswaschung zu mindern.

Der Fruchtfolgeversuch zeigt des Weiteren, dass eine Steigerung der Festmistdüngung nicht notwendigerweise zu einer entsprechenden Steigerung der Erträge führen muss. Aus diesem Grund sollte der höhere N-Transfer des intensiv bewirtschafteten Grünlands auf eine größere Ackerfläche verteilt werden. Dies entspricht auch den Richtlinien der ökologischen Anbauverbände, die eine Düngung bis zu einer Höhe von  $112 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  erlauben. Der Nachbauversuch zeigt, dass mehrjährige Klee grasbestände (GL0, GL+, GL++) zwar eine positive Wirkung auf die Ertragsparameter haben, aber gleichzeitig ein deutlich höheres Nitratauswaschungspotential als einjährige Klee grasbestände aufweisen.

Um die N-Effizienz im Futterbaubetrieb hinsichtlich einer Ertragsmaximierung und N-Auswaschungsminimierung zu erhöhen, sollte der Fokus auf die Erzeugung hochwertiger Grassilagen gelegt werden, die in der Ration im Sinne der Pansensynchronisation durch Maissilage ergänzt werden. Ackerbohnen sollten nur zur Ausfütterung der Leistungsspitze zu Beginn der Laktation genutzt werden. Für weitere Studien erscheint es sinnvoll die pflanzenbaulichen Produktionsverfahren Ackerleguminosen und Grünlandleguminosen hinsichtlich ihrer Konsequenzen auf die gasförmigen Verluste zumindest modellhaft zu prüfen. Die Bereitstellung leichtverdaulichen Proteins durch klee reiche Grassilagen und Ackerleguminosen in der Milchviehfütterung führt beispielsweise zu einer erhöhten N-Ausscheidung mit Harnstoff im Urin (Cassmann et al 2001). Da Harnstoff wiederum leicht in Ammoniak umgewandelt werden kann, sind höhere Ammoniakemissionen aus der Festmistkette wahrscheinlich (Döhler et al. 2002). Außerdem erscheint auch eine Bilanzierung bezüglich der Mineralstoffe Phosphor, Magnesium und Kalium als sinnvoll.

## 5 Zusammenfassung

Ökologisch wirtschaftende Betriebe sind zur Ertragssicherung im Ackerbau auf den Anbau von Leguminosen als Stickstoffquelle angewiesen. Einhergehend mit deren Anbau wurden jedoch hohe Stickstoffausträge in das Grundwasser festgestellt. Der Umweltfreundlichkeit und der Ökonomie wegen bedarf es einer Verbesserung der Effizienz der Nährstoffausnutzung. Durch das vorliegende Experiment sollen Effekte einer Intensivierung der Grünlandwirtschaft für die Stickstoffflüsse im Futterbaubetrieb untersucht werden. Das Produktionspotential des Dauergrünlands in ökologischen Milchviehbetrieben wird häufig nicht ausgeschöpft. Die Etablierung von Weißklee im Bestand erhöht den Trockenmasseertrag des Grünlands und den N-Gehalt des Aufwuchses ohne zusätzliche Düngung. Da nun mehr und stickstoffhaltigeres Futter vom Grünland zur Verfügung steht, kann sich die Anbaufläche von Klee gras und Körnerleguminosen in der Fruchtfolge verringern. Der dadurch fehlende Stickstoff in der Fruchtfolge wird durch den erhöhten N-Transfer vom Grünland über den Wiederkäuer und den Wirtschaftsdünger sowie durch die Einsparung der Düngung des Grünlands ausgeglichen. Die frei werdende Ackerfläche kann betriebsindividuell genutzt werden. Ein weiterer Vorteil der Düngung mit Wirtschaftsdünger besteht darin, dass die Deckung des Stickstoffbedarfes abtragender Kulturen bedarfsangepasster durchgeführt werden kann als durch die Bereitstellung von N durch Leguminosen in der Fruchtfolge. Dadurch verringert sich das Nitratauswaschungspotential. Aufgrund der zu erwartenden niedrigen N-Auswaschungen unter Dauergrünland fällt die Nitratauswaschung im Betriebskonzept „Reduzierter Anbau von Leguminosen im Ackerbau und intensive Grünlandwirtschaft“ niedriger aus.

In einem Feldversuch (Fruchtfolgeversuch), der in der norddeutschen Tiefebene angelegt war, wurden in den Jahren 2004 bis 2005 in einem split-plot-design dreifeldrige Fruchtfolgen (Versuchsglieder) angebaut. Die Versuchsglieder mit jeweils drei Kulturen spiegelten verschiedene Stickstoffflüsse im ökologischen Futterbaubetrieb wider. In den drei Wiederholungen fanden sich alle Versuchsglieder wieder. Die Kulturen wurden auf 9x9 m großen Parzellen angebaut. Mit Hilfe von vier Saugkerzen in 70 cm Tiefe wurde über drei Winterhalbjahre (2003 bis 2007) das Sickerwasser beprobt. Neben der Analyse des Sickerwassers auf Nitrat und Ammonium wurde im Herbst und im Frühjahr der mineralische Stickstoffgehalt des Bodens untersucht. Bei der Beerntung der Kulturen erfolgten eine Ertragsbestimmung und eine Untersuchung der Stickstoffgehalte der oberirdischen Erntemasse ohne Stoppel. Stroh wurde auf dem Feld belassen. Für einen Nachbauversuch wurde im Jahr 2006 das gesamte Versuchsfeld mit Sommertriticale bestellt, um einen weiteren Einblick in die Auswirkung der Versuchsglieder zu erhalten.

Drei Versuchsglieder (MaF0, MaF100, MaF200) wurden mit Festmist in den Intensitäten 0, 100 und 200 kg ha<sup>-1</sup> N gedüngt und enthielten die abtragenden Kulturen Wintertriticale (WT), Sommergerste (SG) und Mais (MA). Die Stickstoffbereitstellung in zwei weiteren Versuchsgliedern (KgFL, AbFL) erfolgte durch den Anbau der legumen Kulturen Klee gras (33 % Weißklee im Saatgut) beziehungsweise Ackerbohne (AB). Die beiden übrigen Parzellen dieser Versuchsglieder wurden mit den abtragenden Kulturen



WT und SG bestellt. Auf den Parzellen des sechsten Versuchsgliedes wurde im ersten Jahr Grünland mit 0, 7 und 13 % Weißkleeanteil im Saatgut (GL0, GL+, GL++) etabliert. Es erfolgten drei Schnitte in den Parzellen von GL0 und GL+ und vier in den Parzellen von GL++.

Die Versuchsglieder MaF100, MaF200 und KgFL erzielten im Fruchtfolgeversuch im Mittel rund 30 dt ha<sup>-1</sup> TM Erntemasse, das Versuchsglied AbFL nur 19 dt ha<sup>-1</sup>. Aufgrund der legumen Kulturen übertrafen die N-Erträge der Versuchsglieder KgFL und AbFL mit ca. 60 beziehungsweise 50 kg ha<sup>-1</sup> N den mittleren N-Ertrag der Versuchsglieder MaF100 und MaF200 mit 43 kg. Somit erwies sich die Ackerbohne in der Fruchtfolge hinsichtlich des TM- und N-Ertrags als minderwertig. Zusätzlich war das Auswaschungspotential des Versuchsgliedes AbFL mit rund 60 kg ha<sup>-1</sup> N signifikant höher als das der übrigen ackerbaulichen Versuchsglieder mit 50 kg. Die Grünlandparzellen übertrafen mit 70 dt ha<sup>-1</sup> TM und 180 kg ha<sup>-1</sup> N die Erträge der ackerbaulichen Versuchsglieder bei weitem. Zudem verursachten sie mit rund 10 kg ha<sup>-1</sup> N eine deutlich niedrigere N-Auswaschung. Durch eine Erhöhung des Kleeanteils von 24 auf 34 % der TM und der Schnitte von drei auf vier konnte der Rohproteingehalt von 82 auf 174 g kg<sup>-1</sup> TM gesteigert werden. Hinsichtlich der N-Auswaschung unterschieden sich die Grünlandvarianten kaum (GL0 und GL+ mit 12 sowie GL++ mit 8 kg ha<sup>-1</sup> N). Nach der rechnerischen Integration des extensiven Grünlands in die Fruchtfolgen KgFL und AbFL und des intensiven Grünlands in die Maisfruchtfolgen lag die ausgewaschene N-Menge bezogen auf den N-Ertrag in den Maisfruchtfolgen bei nur 0,12 bis 0,19 kg N pro kg N-Ertrag im Gegensatz zu den Fruchtfolgen KgFL und AbFL mit 0,2 bis 0,4 kg N pro kg N-Ertrag. Im Nachbauversuch erzielte der Grünlandumbruch die größten positiven Effekte hinsichtlich des TM- und N-Ertrags des Sommertriticales mit 29 dt ha<sup>-1</sup> TM beziehungsweise 65 kg ha<sup>-1</sup> N, verursachte aber auch die höchste N-Auswaschung mit 120 kg ha<sup>-1</sup> N. Die Parzellen aus dem Versuchsglied AbFL schnitten auch im Nachbauversuch mit 17 dt ha<sup>-1</sup> TM beziehungsweise 29 kg ha<sup>-1</sup> N am schlechtesten ab. Alle Parzellen aus den übrigen Versuchsgliedern MaF100, MaF200 und KgFL verursachten N-Auswaschungen von 79 kg ha<sup>-1</sup> N.

Durch die Feldversuche wird exemplarisch gezeigt, dass die Reduzierung von Leguminosen in der Fruchtfolge und die Intensivierung des Grünlands innerhalb eines ökologischen Betriebes mit Rinderhaltung sinnvoll sind. Die hohen TM- und N-Erträge des viermalig geschnittenen kleereichen (24 % in der TM) Grünlands GL++ bei gleichzeitig niedrigem N-Auswaschungspotential scheint die Problematik des Anbaus von Leguminosen in der Fruchtfolge entschärfen zu können. Die mistgedüngten Versuchsglieder hatten zwar einen niedrigeren N-Ertrag im Mittel der drei Kulturen zur Folge, jedoch nur, weil keine Leguminosen in der Fruchtfolge vorhanden waren. Beim alleinigen Vergleich von Getreide zwischen den Versuchsgliedern wurden die N-Erträge der Versuchsglieder MaF100 und MaF200 nur von denen der Sommergerste als direkter Nachfrucht von Klee gras aus dem Versuchsglied KgFL übertroffen. Hinsichtlich der Auswaschung lagen die mistgedüngten Versuchsglieder mit KgFL auf einem Niveau. Der Vorteil einer Mistdüngung ergibt sich im direkten Vergleich mit einer Klee grasfruchtfolge weniger aus der Reduzierung der Nitratauswaschung, sondern

eher aus der Tatsache, dass für die Fütterung ausreichend Mais als perfekte Ergänzung zu kleereichen Grassilagen angebaut werden kann. Mit der Einberechnung des Grünlands in die Fruchtfolgen wird deutlich, wie positiv sich das Konzept „intensiv bewirtschaftetes Grünland in Zusammenhang mit einer Fruchtfolge ohne Ackerleguminosen“ im Gegensatz zum Konzept „extensiv bewirtschaftetes Grünland in Zusammenhang mit einer Fruchtfolge mit Ackerleguminosen“ auf die N-Ausnutzung auswirkt. Die relativ geringen Erträge und hohen N-Auswaschungsverluste des Versuchsgliedes AbFL legen nahe, den höheren N-Transfer vom intensiv genutzten Grünland vornehmlich dazu zu nutzen, die Anbaufläche von Körnerleguminosen zu verringern. Zudem eignet sich die Ackerbohne aufgrund ihres zwar hohen Eiweißgehaltes aber im Verhältnis ebenfalls hohen Energiegehaltes nur unzureichend zum Eiweißausgleich eiweißarmer Silagen. Der Fruchtfolgeversuch zeigt des Weiteren, dass eine Steigerung der Festmistdüngung nicht zu einer entsprechenden Steigerung der Erträge führt. Aus diesem Grund sollte der höhere N-Transfer vom Grünland auf eine größere Ackerfläche verteilt werden. Dies entspricht auch den Richtlinien der ökologischen Anbauverbände, die eine Düngung bis zu einer Höhe von  $112 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  erlauben. Der Nachbauversuch zeigt, dass mehrjährige Klee grasbestände (GL0, GI+, GL++) zwar eine positive Wirkung auf die Ertragsparameter haben, aber gleichzeitig ein deutlich höheres Nitratauswaschungspotential als einjährige Klee grasbestände aufweisen. Um die N-Effizienz im Futterbaubetrieb zu erhöhen sollte der Fokus auf die Erzeugung hochwertiger Grassilagen gelegt werden, die in der Ration im Sinne der Pansensynchronisation durch Maissilage ergänzt werden. Ackerbohnen sollten nur zur Ausfütterung der Leistungsspitze zu Beginn der Laktation genutzt werden.

## 6 Literatur

- Aarts HFM, Habekotté B, Hilhorst GJ, Koskamp GJ, van der Schans FC, De Vries CK (1999): Efficient resource management in dairy farming on sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47, 153-167
- Aarts HFM, Habekotté B, van Keulen H (2000): Nitrogen (N) management in the ‚DE Marke‘ dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 231-240
- Addiscott TM, Whitmore AP, Powlson DS (1991): Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB International, Wallingford, UK
- Addiscott TM (2005): Nitrate, Agriculture and the Environment. CAB International, Wallingford, UK
- Albert E, Ernst H, Biermann S, Michel D (1997): Stickstoffbindung durch Leguminosen sowie Möglichkeiten zu ihrer Abschätzung; Infodienst Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 5, 67-71
- Andrist-Rangel Y, Edwards A C, Hiller S, Öborn I (2007): Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122, 413-426
- Askegaard M, Olesen JE, Kristensen K (2005): Nitrate leaching from organic arable crop rotations: effects of location, manure and catch crop. *Soil Use and Management* 21, 181 - 188
- Aufhammer W, Fiegenbaum A, Kübler E (1995): Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.)\* Teil 3: Nutzung und Sicherung von Nitratstickstoff im Boden nach Ackerbohnen durch Untersaaten. *Die Bodenkultur* 46, 25-37
- Beckmann U, Kolbe H, Model A, Russow R (2000): Ackerbausysteme im ökologischen Landbau. Auszug aus dem Abschlussbericht zum Projekt „Reduzierung gasförmiger Emissionen und der Nährstoffverlagerung durch optimale Ausgestaltung von extensiven landwirtschaftlichen Anbausystemen mit unterschiedlich hohem Viehbesatz“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, <http://orgprints.org/00001535>
- Beckmann U, Kolbe H, Model A, Russow R (2001): Ackerbausysteme im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung von N-Bilanz und Effizienzkennzahlen. Teil1 des Abschlussberichtes zum Projekt „Reduzierung gasförmiger Emissionen und der Nährstoffverlagerung durch optimale Ausgestaltung von extensiven landwirtschaftlichen Anbausystemen mit unterschiedlich hohem Viehbesatz“, UFZ-Bericht Nr. 14, Umweltforschungszentrum Leipzig – Halle. <http://orgprints.org/00003947>

- Benke M (1992): Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Grünland mittels der Saugkerzen-Methode in Abhängigkeit von der Nutzungsart (Schnitt/Weide), der Nutzungshäufigkeit, der Bestandszusammensetzung (mit/ohne Weißklee) und der Stickstoffdüngung. PhD Thesis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Berg M, Haas G, Leisen E, Schenke H (2003): Stickstoffmanagement im ökologisch wirtschaftenden Betrieb: Minderung von Stickstoffverlusten.  
<http://www.orgprints.org/00002295>
- Bergström L, Kirchmann H (1999): Leaching of total nitrogen from nitrogen-15-labelled poultry manure and inorganic nitrogen fertilizer. *Journal of Environmental Quality* 25, 1283-1290
- Berner A, Scherrer D, Alföldi T (1997): Stickstoffeffizienz von unterschiedlich aufbereiteten Misten in einer Ackerfruchtfolge auf Lösslehm.  
<http://www.orgprints.org/00002909/>
- Berntsen J, Grant R, Olesen JE, Kristensen IS, Vinther FP, Mølegaard JP, Petersen BM (2006): Nitrogen Cycling in organic farming systems with rotational grass-clover and arable crops. *Soil Use and Management* 22, 197-208
- Biewinga EE, Aarts HFM, Donker RA (1992): Melkveehouderij bij stringente milieunormen. 'De Marke' rapport 1, Hengelo
- BMU und BMELV (2008): Nitratrichtlinie 2008. [www.bmu.de](http://www.bmu.de)
- Bobé J, Wachendorf M, Büchter M und Taube F (2003): Vergleich der Nitratkonzentrationen im Grund- und Sickerwasser bei variiertem Düngungsintensität im Dauergrünland und in einer Maismonokultur – Erste Ergebnisse. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* Bd. 15, S. 190-193
- Bos J, Pflimlin A, Aarts F, Vertès F (Hrsg.) (2005): Nutrient management at farm scale. How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming? First workshop of the EGF Working Group "Dairy Farming Systems and Environment", Quimper, France, Report 1, Wageningen
- Büchter M (2003): Nitratauswaschungen unter Grünland und Silomais in Monokultur auf sandigen Böden Norddeutschlands. PhD thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Kiel University
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2008):  
[http://www.bfn.de/0311\\_landschaft.html?landschaftid=59500](http://www.bfn.de/0311_landschaft.html?landschaftid=59500)
- Cassman KG (2001): Crop science research to assure food security. In Noesberger J et al. (eds) *Crop Science: Progress and Prospects*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 33-51

- Conijn JG, Aarts HFM (2004): General conclusions and follow-up. In Grassland resowing and grass-arable crop rotations (eds. Conijn J G, Taube F). Plant Research International, Wageningen, report 80, 75-77
- Constantin J, Mary B, Laurent F, Aubrion G, Fontaine A, Kerveillant P, Beaudoin N (2010): Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 268-278
- Crews TE, Peoples MB (2005): Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72, 101-120
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2002): GAS-EM – A Procedure to Calculate Gaseous Emissions from Agriculture. *Landbauforschung Völkenrode* 52, 19-42
- Djurhuus J, Olsen P (1997): Nitrate leaching after cut grass/clover leys as affected by time of ploughing. *Soil use and management* 13, 61-67
- Döhler H, Biskupek B (1993): Vergleichende Bewertung von Fest- und Flüssigmistverfahren. In: KTBL (Hrsg.): *Umweltverträgliche Verwertung von Festmist*. KTBL Arbeitspapier 182, S. 137-153.
- Döhler H, Schultheiß U (1994): Grundwasserschonender Einsatz von Wirtschaftsdüngern. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg): *Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten*. KTBL/HMUB-Fachgespräch am 15./16. März 1994 in Duderstadt/Westerode. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, S. 20-31.
- Döhler H, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Osterburg B, Lüttich M, Bergschmidt A, Berg W, Brunsch R (2002): *BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010*. Forschungsbericht 299 42 256/02. Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin
- Doll H (1999): Betriebliche Konzentration und räumliche Schwerpunktbildung in der Milchkühhaltung. *Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)*. *Landbauforschung Völkenrode* 49, 200-223
- DVWK (1990): Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode. In: *Merkblätter zur Wasserwirtschaft*.
- Eriksen J, Askegaard M, Kristensen K (1999): Nitrate leaching in an organic dairy/ crop rotation as effected by organic manure type, livestock density and crop. *Soil Use and Management* 15, 176-182
- Eriksen J (2001): Nitrate leaching and growth of cereal crops following cultivation of contrasting temporary grasslands. *Journal of Agricultural Science* 136, 271-281

- Eriksen J, Askegaard M, Kristensen K (2004): Nitrate leaching from an organic crop rotation: the effects of manure type, nitrogen input and improved crop rotation. *Soil Use and Management* 20, 48-54
- Eriksen J, Vinther F P, Sørensen K (2004b): Nitrate Leaching and N<sub>2</sub> fixation in grasslands of different composition, age and management. *Journal of Agricultural Science* 142, 141-151
- Eriksen J (2008): Productivity and N-leaching in organic dairy grass-arable crop rotations. Biodiversity and animal feed: future challenges for grassland production. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Uppsala, Sweden, 556-558
- Eriksen J, Askegaard M, Sørensen K (2008): Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history. *Soil Use and Management* 24, 373-382
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2003): Food energy – methods of analysis and conversion factors. Report of a technical workshop, 3–6 December 2002. Rome 2003
- Finnern H, Grottenhaler W, Kühn D (Hrsg.) (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Francis GS, Haynes RJ, Sparling GP, Ross D J, Williams PH (1992): Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth following cultivation of a temporary leguminous pasture in autumn and winter. *Fertilizer Research* 33, 59-70
- Franko U (1984): Einfluss niedriger Temperaturen auf die Umsetzung der organischen Substanz im Boden. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 28, 533-536
- Geyger E (1977): Leaf area and productivity in Grasslands. In: Krause W (Hrsg.): *Handbook of vegetation science*. 13. Application of vegetation science to grassland husbandry.
- Gill K, Jarvis SC, Hatch DJ (1995): Mineralization of nitrogen in long-term pasture soils: effect of management. *Plant and Soil* 172, 153-162
- Gruber H, Thamm U, Michel V (2003): Effektive Nutzung des Leguminosenstickstoffs in der Fruchtfolge. *Ökologie und Landbau* 127 (3), 29-31
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eurich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012): Calculation of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2010. Report on methods and data. *Landbauforschung, Special Issue* 356
- Herrera JM, Liedgens M (2009): Leaching and Utilization of Nitrogen During a Spring Wheat Catch Crop Succession. *Journal of Environmental Quality* 38 (4), 1410-1419

- Heß J, Piorr A, Schmidtke K (1992): Grundwasserschonende Landbewirtschaftung durch Ökologischen Landbau? Eine Bewertung des Leguminosenanbaus und des Wirtschaftsdüngereinsatzes im Anbausystem Ökologischer Landbau. Veröffentlichungen des Instituts für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Stadtwerke AG, Nr. 45
- Hoffmann G (1991): VDLUFA-Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- Høgh-Jensen H und Schjoerring JK (2001): Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 439-448
- Hörmann G (1997): SIMPEL - Ein einfaches, benutzerfreundliches Bodenwassermodell zum Einsatz in der Ausbildung. *Dt. Gewässerkundliche Mitteilungen*, 41(2):67-72
- Hörmann G (2010): Persönliche Mitteilung zu Parametern im Modell „Simpel“. [ghoermann@hydrology.uni-kiel.de](mailto:ghoermann@hydrology.uni-kiel.de)
- Holmquist J, Øgaard A F, Öborn I, Edwards AC, Mattsson L, Sverdrup H (2003): Application of the PROFILE model to estimate potassium release from mineral weathering in Northern Europe agricultural soils. *European Journal of Agronomy* 20, 187-235
- Hooper DU, Vitousek PM (1998): Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs* 68, 121-149
- Hough MN (1990): Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland: a review for sugar beet, oilseed rape, peas, wheat, barley, oats, potatoes, apples and pears: study in the framework of the Pilot Project for Remote Sensing Applied to Agricultural Statistics. Joint Research Centre, Commission of the European Communities. Luxembourg.
- Hussain P, Zia MS, Akhtar ME, Yasin M (2003): Nitrogen management and use efficiency with chlorophyll meter and leaf colour charts. *Pakistan Journal of Soil Science* 22, 1-10
- Jarvis SC, Stockdale EA, Shepherd MA, Powlson DS (1996): Nitrogen mineralization in temperate agricultural : processes and management. *Advances in Agronomy* 57, 187-235
- Jost B (2003): Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.

- Jung R (2003): Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen - Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation, Universität Göttingen.
- Kaul H P, Aufhammer W, Wägner W (1996): Dry matter and nitrogen accumulation and residues of oil and protein crops. *European Journal of Agronomy* 5 (1/2), 137-147.
- Kayser M (2003): Nitrogen and potassium leaching from grassland: the effect of fertilizer regime and application of cattle urine. *Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge*, Band 14. Excelsior p.s.
- Kayser M, Seidel K, Müller J, Isselstein J (2008): The effect of succeeding crop and level of N fertilization on N leaching after break-up of grassland. *European Journal of Agronomy* 29, 200-207
- Kelm M, Wachendorf M, Trott H, Volkens K, Taube F (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, 69-79
- Kelm M, Loges R, Taube F (2007): N-Bilanzen ökologischer und konventioneller Praxisbetriebe in Norddeutschland – Ergebnisse aus dem Projekt COMPASS. In: Zikeli S, Clauphein W, Dabbert S, Kaufmann B, Müller T, Valle Zárate A (Hrsg.): Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Band 1. Verlag Dr. Köster, Berlin
- Kirchmann H, Bergström L (2001): Do organic practices reduce nitrate leaching? *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (7&8), 997-1028
- Kirchmann H, Bergström L, Kätterer T, Mattsson L, Gesslein S (2007): Comparison of Long-Term Organic and Conventional Crop-Livestock Systems on a Previously Nutrient-Depleted Soil in Sweden. *Agronomy Journal* 99, 960-972
- Klempt L (1997): Ermittlungen zum Nitrataustrag aus Dauergrünland unter Weidenutzung auf Flußmarsch unter besonderer Berücksichtigung von Exkrementstellen. *Ökologie und Umweltsicherung* 13/97. PhD Thesis, Gesamthochschule Kassel.
- Köhler K, Duynisveld WHM, Böttcher J (2006): Nitrogen fertilization and nitrate leaching into groundwater on arable sandy soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 185-195
- Köpke U, Frieben B, Geier U, Haas G (1999): Ökologischer Landbau: Positive Umweltleistungen – Kriterien der Nachhaltigkeit – erfasst mit Ökobilanzen. In: Ellendorff F, Stützel H, Workshop „Nachhaltige Landwirtschaft“; Landbauforschung Völkenrode, SH 212, 312-341



- Köpke U (2004): Rotation for organic farming: Its aims and implementation. International Symposium on Organic Agriculture, Research Institute of Organic Agriculture, Dankook University, Ulsan/Korea, 20.-21. August 2004
- Konyali A (2001): Effects of synchronous and asynchronous concentrates on performance and efficiency of nitrogen utilization of lactating dairy cows. PhD thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Kiel University
- Kosch R (2003): Einfluss der Festmistaufbereitung und -anwendung auf die Stickstoffflüsse im ökologisch wirtschaftenden Futterbaubetrieb. Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge 12, Verlag Michael Wright
- Kristensen L, Stopes C, Kolster P, Granstedt A, Hodges D (1995): Nitrogen leaching in ecological agriculture. ABA Academic Publishers, Becester, Oxfordshire, UK
- Ledgard SF (2001): Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil* 228, 43–59
- Ledgard SF, Penno JW, Sprosen MS (1999) Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. *Journal of Agricultural Science* 132:215–225
- Löpmeier HJ (2010): Persönliche Mitteilung zu Blattflächenindices, Deutscher Wetter Dienst, Braunschweig.
- Loges R (1998): Ertrag, Futterqualität, N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Dissertation, Universität Kiel, Lehrstuhl Grünland und Futterbau
- Loges R, Kelm MR, Taube F (2006): Nitrogen balances, nitrate leaching and energy efficiency of conventional and organic farming systems on fertile soils in Northern Germany. *Advances in Geoecology* 39, 407-414.
- Lopotz HW (1996): Biologische N<sub>2</sub>-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N<sub>2</sub>-Nachlieferung des Bodens. Doctoral Thesis, Universität Bonn
- Loiseau P, Carrere P, Lafarge M, Delpy R, Dublanquet J (2001): Effect of soil-N and urine-N on nitrate leaching under pure grass, pure clover and mixed grass/clover swards. *European Journal of Agronomy* 14, 113 – 121
- Lund P, Sørensen K, Weisbjerg MR (2008): Effect of strategies regarding concentrate supplementation and day-time grazing on N utilization at both field and dairy cow level. *Livestock Science* 114, 93-107
- Marcinkevičienė A, Pupalienė R, Bogužas V, Balnytė S (2008): Influence of crop rotation and catch crop for green manure on nitrogen balance in organic farming. *žemės ūkio mokslai* 15 (4), 16–20
- Meyer B (2000): schriftliche Mitteilung. Institut für Bodenkunde, Georg-August-Universität, Göttingen.

- Mondelaers K, Aertsens J, Van Huylenbroeck G (2009): A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British Food Journal* 111 (10), 1098-1119
- Møller Hansen E, Djurhuus J (1997): Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil & Tillage Research* 41, 203-219
- Münch A (1993): AKWA-M – Programmdokumentation (Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden). Dresden
- Niedersächsisches Landesamt für Statistik (2001): Der Einfluss verschiedener Standortbedingungen auf die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen. [www.nls.niedersachsen.de/Tabellen/Landwirtschaft/nutzungen/artikel\\_1\\_2001.htm](http://www.nls.niedersachsen.de/Tabellen/Landwirtschaft/nutzungen/artikel_1_2001.htm)
- Öborn I, Andrist-Rangel Y, Askegaard M, Grant C A, Watson C A, Edwards A C (2005): Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management* 21, 102-112
- Opitz von Boberfeld W (2001): Grünlandumwidmung: von konventioneller Milch zu ökologischer Fleischerzeugung. Arbeitsunterlagen zur DLG-Grünlandtagung 2001: Nachhaltige Futterproduktion aus dem Grünland, DLG, Frankfurt a. M., 27-36
- Payne, R W (2002): *The Guide to Genstat. Part 2: Statistics.* Lawes Agricultural Trust. Rothamsted, England
- Philipps L, Stopes C E, Woodward L (1995): The impact of cultivation practice on nitrate leaching from organic farming systems. Soil management in sustainable agriculture. Proceedings Third International Conference on Sustainable Agriculture, Wye College, University of London, UK, 31 August to 4 September 1993, 488-496
- Piorr A (1992): Zur Wirkung von residualem Klee gras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Dissertation, Bonn
- Redelberger H (Hrsg.) (2004): *Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. Betriebswirtschaftliche Instrumente.* KTBL-Schrift 425, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- Scherer-Lorenzen M, Palmborg C, Prinz A, Schulze ED (2003): The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands. *Ecology* 84 (6), 1539-1552
- Scheringer J. (2002). Nitrogen on dairy farms: balances and efficiency. PhD thesis, Faculty of Agricultural Sciences, University of Göttingen
- Scheringer J, Isselstein J (2001): Nitrogen budgets of organic and conventional dairy farms in North-West Germany. *Grassland Science in Europe* 6, 284-287

- Scholefield D, Halling M, Tuori M, Isolathi M, Soelter U, Stone AC (2002): Assessment of nitrate leaching from beneath forage legumes. In: Wilkings R J (ed.): Legume silages for animal production: LEGSIL. Landbauforschung Völknerode: Sonderheft 234, FAL Agricultural Research, Braunschweig, 17 – 25
- Schmidt H (1997): Viehlose Fruchtfolge im ökologischen Landbau, Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte; Diss., GHS Kassel
- Schrödter H (1985): Verdunstung: anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden. Springer, Berlin.
- Seidel K, Müller J, Kayser M, Isselstein J (2007): The Effect of Fertilizer Type and Level of N Fertilization Before and After Grassland Renewal on N Leaching Losses. Journal of Agronomy & Crop Science 193, 30-36
- Shepherd M A, Lord E I (1996): Nitrate leaching from a sandy soil : the effect of previous crop and post-harvest soil management in an arable rotation. Journal of Agricultural Science 127 (2), 215-229
- Shepherd M A (1999): The effectiveness of cover crops during eight years of a UK sandland rotation. Soil Use and Management 15, 41–48
- Statistisches Bundesamt (2007): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Ausgewählte Zahlen der Agrarstrukturerhebung. Fachserie 3 Reihe 1 Wiesbaden, [www.destatis.de](http://www.destatis.de)
- Statistisches Bundesamt (2009): Landwirtschaft in Deutschland und der Europäischen Union 2009. Wiesbaden, [www.destatis.de](http://www.destatis.de)
- Stauffer W, Spiess E (2001): Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen und nachwachsender Rohstoffe auf die Nitratauswaschung. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 47-50
- Stauffer W, Spiess (2005): Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, 213-215
- Stein-Bachinger K, Bachinger J, Schmitt L (2004) Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 423, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- Stockdale EA, Lampkin N H, Hovi M, Keatinge R, Lennartsson EKM, Macdonald DW, Padel S, Tattersall FH, Wolfe MS, Watson CA (2001): Agronomic and environmental implications of organic farming systems. Advances in Agronomy 70, 261-327
- Stolze M, Piorr A, Häring A, Dabbert S (2000): The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe. Organic Farming in Europe, Economics and Policy 6

- Stopes C, Lord EI, Philipps L, Woodward L (2002): Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use and Management* 18, 256-263
- Südekum K H, Taube F, Wörner M, Pabst K (1994): Slot-seeding of white clover into a permanent pasture: impact on nutritive value estimated in vivo and in vitro. *Das wirtschaftseigene Futter* 40, 129-141
- Sutton MA, Oenema O, Erisman J W, Grennfelt P, Beier C, Billen G, Bleeker A, Britton C, Butterbach-Bahl K, Cellier P, van Grinsven H, Grizzetti B, Nemitz E, Reis S, Skiba U, Voss M, de Vries W, Zechmeister-Boltenstern S (2009): Managing the European Nitrogen Problem. UN ECE/CLRTAP Task Force on Reactive Nitrogen I [www.clrtap-tfrn.org](http://www.clrtap-tfrn.org)
- Taube F, Pötsch E M (2001): On-farm nutrient balance assessment to improve nutrient management on organic dairy farms. In: Isselstein J, Spatz G, Hofmann M (eds.), *Organic Grassland Farming, Grassland Science in Europe* 6, 225-234
- Taube F, Loges R, Kelm M, Latacz-Lohmann U (2005): Vergleich des ökologischen und konventionellen Ackerbaus im Hinblick auf Leistungen und ökologische Effekte auf Hohertragsstandorten Norddeutschlands. *Berichte über die Landwirtschaft* 83 (2): 165-176
- Tichter A, Sveeas W, Müller J, Dittmann L, Brinkmann J, March S, Isselstein J (2011): Betriebsstruktur und Grobfuttererzeugung ökologisch wirtschaftender Milchviehbetriebe in Deutschland. In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel AK, Spory K, Wilbois KP, Williges U (Hrsg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Tagungsband, Verlag Dr. Köster, Frankfurt
- Thomsen I K, Kjellerup V, Jensen B (1997): Crop uptake and leaching of <sup>15</sup>N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. *Plant and Soil* 197, 233-239
- Trinkwasserverordnung (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. *TrinkwV 2001, BGBl I, S. 959*
- Trott H, Wachendorf M, Büchter M, Taube F (2003): Stickstoffmanagement in unterschiedlich genutzten Grünlandbeständen unter Berücksichtigung der N-Verluste. In: *Die 10.000 kg-Herde auf dem Grünland-Nährstoffe optimal nutzen*. 5. DLG-Grünlandtagung
- Ulén B, Johansson G, Simonsson M (2008): Changes in nutrient leaching and groundwater quality during long-term studies of an arable field on Swedish south-west coast. *Hydrology Research* 39 (1), 63-77
- Umweltbundesamt (2005): Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz Nitratgehalt im Grundwasser. 18.05.2011, <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/grundwasser/nigehalt.htm>

- Valk H, Leusink-Kappers IE, van Vuuren AM (2000): Effect of reducing nitrogen fertilizer on grassland on grass intake, digestibility and milk production of dairy cows. *Livestock Production Science* 63, 27–38
- Vertés F, Hatch D, Velthof G, Taube F, Laurent F, Loiseau P, Recous S (2007): Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations. *Grassland Science in Europe* 12, 227-246
- Vetter R, Miersch M, Weissbart J, Freyer B, Rennenkampff K, Schliekenrieder J (1999): Stickstoffversorgung und –dynamik in Fruchtfolgen vieharter Betriebe des ökologischen Landbaus. Abschlußbericht zum Projekt A1.5. Conseil Régional d’Alsace
- Volkers KC, Wachendorf M, Taube F (2002): Bestandszusammensetzung und Futterqualität einjährig angebauten Kleeegrases in einer Futterbau-Fruchtfolge. 46. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Band 4, 106-110
- VDLUFA (1995): Methodenbuch I. Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wachendorf M, Kornher A, Taube F (1997): Comparing studies to the productivity of red clover, grasses and clover-grass mixtures as effected by frequency of cutting and nitrogen fertilization. (submitted)
- Wachendorf M, Taube F (2001): Artenvielfalt, Leistungsmerkmale und bodenchemische Kennwerte des Dauergrünlands im konventionellen und ökologischen Landbau in Nordwestdeutschland. *Pflanzenbauwissenschaften* 5, 75-86
- Wachendorf M, Büchter M, Volkers KC, Bobe J, Rave G, Loges R, Taube F (2006): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass understorey, slurry application and mineral N fertilizer on nitrate leaching under maize for silage. *Grass and Forage Science* 61(3), 243-242
- Whitehead DC, Bristow AW, Lockyer DR (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
- Wilbois KP, Szerencsits M, Hermanowski R (2007): Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags ins Grundwasser. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Grundlagenstudie 2007

## 7 Anhang

**Tab. 44: Herbst-N<sub>min</sub>-Menge, NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung und NO<sub>3</sub>-N-Konzentration im Sickerwasser der Versuchsglieder im Mittel des Anbaujahres 2003 sowie p-Werte (ANOVA)**

Versuchsglieder (VG)	Herbst-N <sub>min</sub> kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N-Konzentration mg l <sup>-1</sup>
ANOVA	p<0,087	p<0,178	p<0,217
MaF0	81,1	87,6	32,05
MaF100	90,7	97,8	33,57
MaF200	94,6	92,8	30,82
AbFL	89,2	83,7	30,42
KgFL	75,9	87,4	30,75
GL	70,5	66,6	25,68
I.s.d. <sup>1</sup>	18,1	24,3	6,37

<sup>1</sup> I.s.d. = Grenzdifferenz (least significant differences) (p<0.05); Herbst-N<sub>min</sub> = mineralischer Boden-N (0-90 cm, NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N)

Erläuterung: MaF0 (0 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF100 (100 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), MaF200 (200 kg ha<sup>-1</sup> N aus Mist), KgFL (N-Zufuhr mit Rotklee), AbFL (N-Zufuhr mit Ackerbohnen), GL (Dauergrünland), TM (Trockenmasse), N (Stickstoff)

**Tab. 45: Effekte der Versuchsglieder auf Herbst-N<sub>min</sub>, NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung und NO<sub>3</sub>-N-Konzentration im Jahr 2003 (p-Werte auf Basis des  $\chi^2$ -Tests für die Wald-Statistik (REML))**

	Herbst-N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N-Auswaschung	NO <sub>3</sub> -N-Konzentration
	p-Wert		
Versuchsglied (VG)	0,020	0,087	0,125
Fruchtart (FA)	0,037	0,001	<0,001
VG x FA	0,328	0,207	0,236

**Tab. 46: Herbst-N<sub>min</sub>-Mengen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003**

Versuchsglieder (VG)	Fruchtart (FA)							
	ST	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	73,7	83,1	86,5					
MaF100	92,7	80,7	98,5					
MaF200	79,0	95,9	108,8					
AbFL	86,8	88,4		92,3				
KgFL	68,2	80,7			78,7			
GL						63,5	68,6	79,3
s.e.d.:	11,1							

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen)

Erläuterung: WT (Wintertriticale); SG (Sommergerste); MA (Silagemais); KG (Klee gras); GL0, GL+, GL++ (Dauergrünland mit unterschiedlichen Kleeanteilen, siehe Kapitel 3.1.2)

**Tab. 47: NO<sub>3</sub>-N-Auswaschungen der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003**

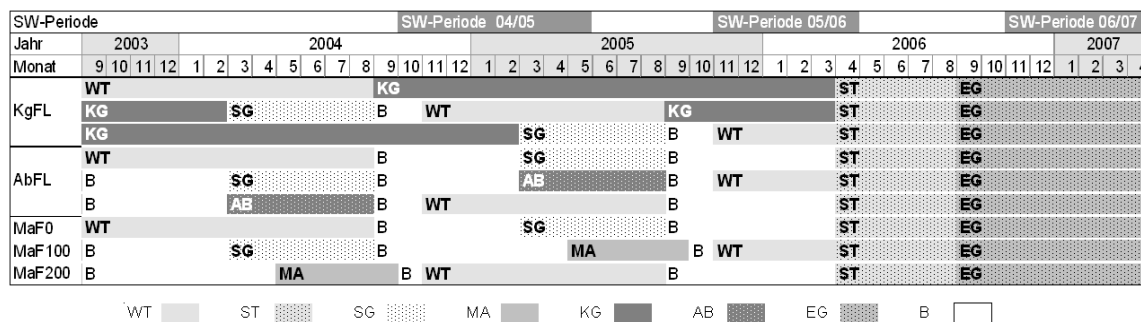
Versuchsglieder (VG)	Fruchtart (FA)							
	ST	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	kg ha <sup>-1</sup>							
MaF0	93,9	84,5	94,32					
MaF100	80,5	88,3	124,5					
MaF200	73,7	93,5	111,1					
AbFL	92,4	78,5		80,3				
KgFL	72,0	90,0			100,4			
GL						65,6	62,7	71,6
s.e.d.:	14,78							

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen)

**Tab. 48: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationen im Sickerwasser der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte im Jahr 2003**

Versuchsglieder (VG)	Fruchtart (FA)							
	ST	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	mg l <sup>-1</sup>							
MaF0	30,6	31,4	34,2					
MaF100	28,5	31,0	41,2					
MaF200	24,5	28,6	39,3					
AbFL	33,7	27,2		30,4				
KgFL	25,9	30,4			35,9			
GL						27,1	23,7	26,3
s.e.d.:	4,5							

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen)



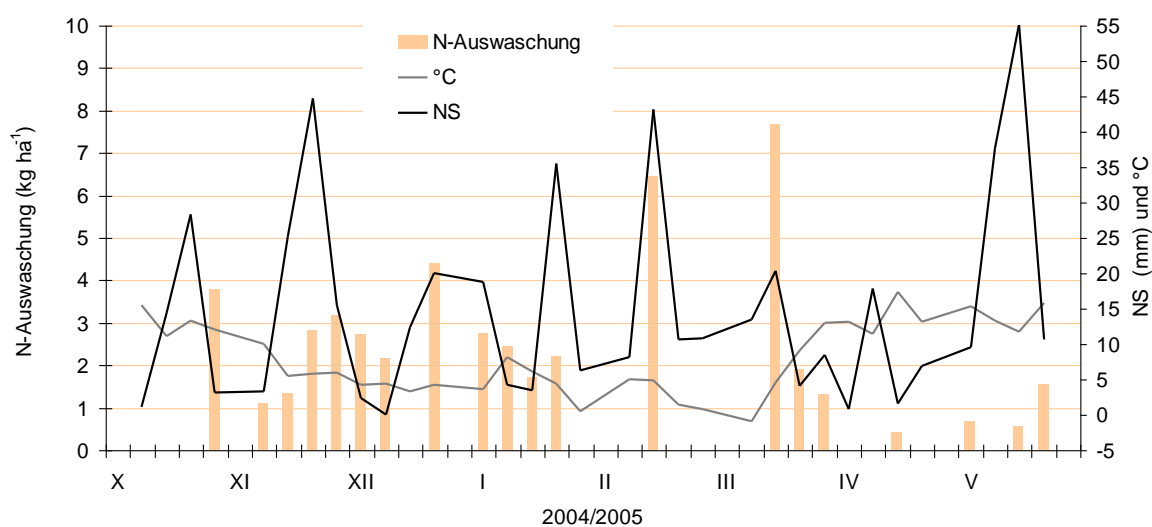
Erläuterungen: WT (Wintertriticale) ST (Sommertriticale), SG (Sommergerste), MA (Silagemais), KG (Rotklee gras), AB (Ackerbohne), EG (Erbsengemenge), B (Brache mit Unkrautbewuchs), SW (Sickerwasser)

**Abb. 11: Zeitlicher Ablauf des Anbaus der Feldfrüchte in den verschiedenen Fruchtfolgen und der Sickerwasserperioden**

**Tab. 49: TM- und N-Ertrag, N-Konzentration sowie Kleeanteil des Kleeegrases und der Grünlandvarianten als arithmetische Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005 mit Standardfehler**

Fruchtart (FA)	TM-Ertrag t ha <sup>-1</sup>	N-Ertrag kg ha <sup>-1</sup>	Kleeanteil kg t <sup>-1</sup>	N-Konzentration Bestand g kg <sup>-1</sup>	N-Konzentration Klee g kg <sup>-1</sup>
KG	5,78 ±0,58	122,7 ±15,4	194,5 ±33,3	22,9 ±0,73	39,1 ±1,80
GL0	5,34 ±1,14	115,3 ±27,1	239,1 ±68,2	21,8 ±0,60	38,3 ±2,18
GL+	7,13 ±1,31	193,4 ±39,8	374,9 ±77,3	26,4 ±0,86	38,4 ±1,99
GL++	8,29 ±1,63	244,6 ±60,3	341,9 ±97,9	28,5 ±1,87	42,0 ±1,60

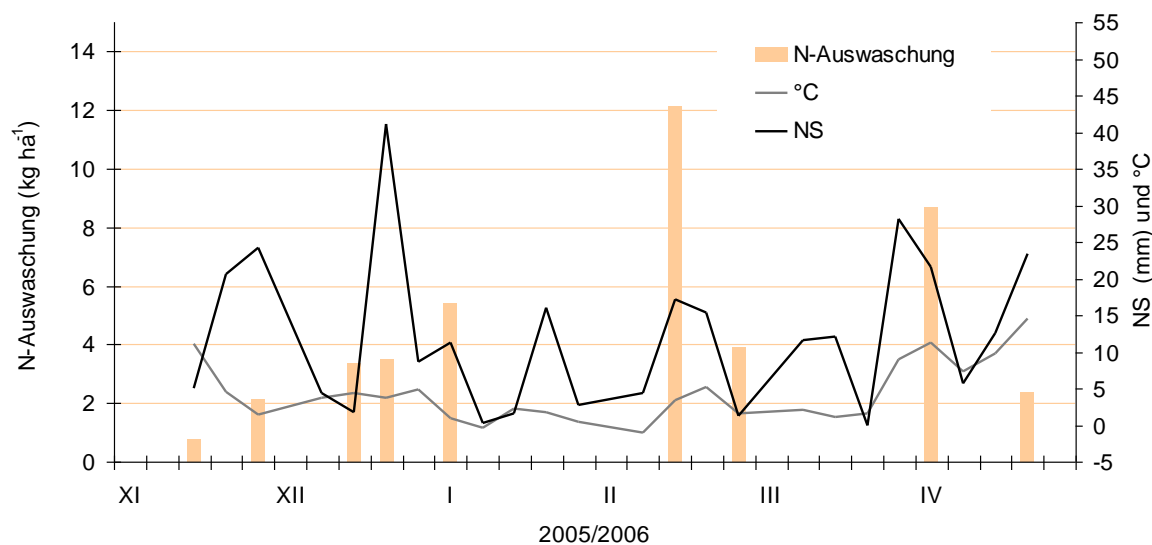
Erläuterung: KG (4-schürig), GL0 und GL+ (3-schürig), GL++ (4-schürig)



Erläuterungen: N (Stickstoff), °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

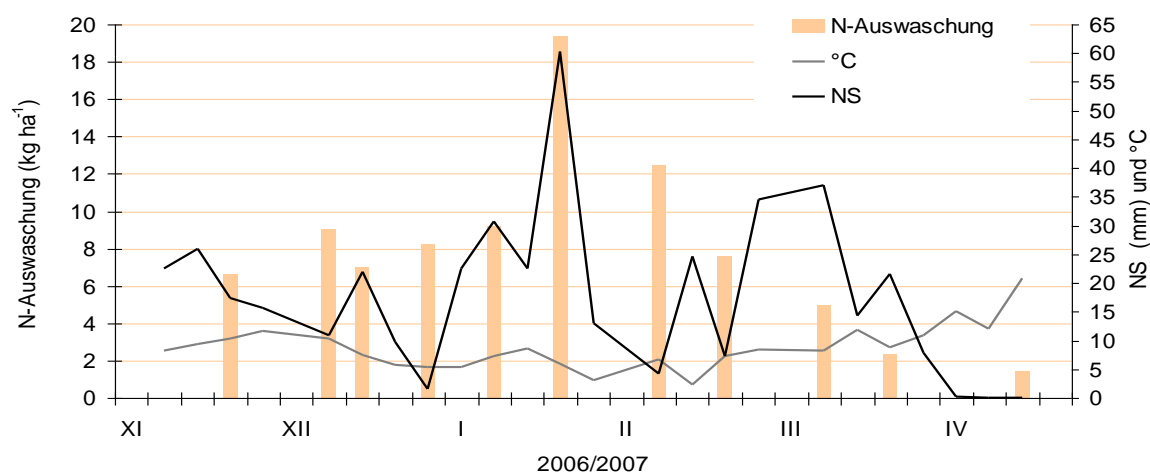
**Abb. 12: Mittlere NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung (kg ha<sup>-1</sup>) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur (°C) und Niederschlag (mm m<sup>-2</sup>) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2004-2005)**





Erläuterungen: N (Stickstoff), °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

**Abb. 13: Mittlere NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung (kg ha<sup>-1</sup>) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur (°C) und Niederschlag (mm m<sup>-2</sup>) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2005-2006)**



Erläuterungen: N (Stickstoff), °C (Temperatur, wochenweise gemittelt), NS (Niederschlag, wochenweise aufsummiert)

**Abb. 14: Mittlere NO<sub>3</sub>-N-Auswaschung (kg ha<sup>-1</sup>) aller Versuchsglieder zu den Sickerwasserprobennahmeterminen sowie Temperatur (°C) und Niederschlag (mm m<sup>-2</sup>) desselben Zeitraums (Sickerwasserperiode 2006-2007)**

**Tab. 50: N-Konzentration der Kulturen der einzelnen Versuchsglieder als mit Mixed Models geschätzte Mittelwerte der Jahre 2004 und 2005**

Versuchsglied (VG)	Fruchtart (FA)							
	WT	SG	MA	AB	KG	GL0	GL+	GL++
	g kg <sup>-1</sup>							
MaF0	16,9	15,8	18,5					
MaF100	16,2	16,4	23,3					
MaF200	16,1	16,6	21,0					
AbFL	19,2	18,2		27,8				
KgFL	24,1	27,8			6,8			
GL						4,7	4,9	3,9
s.e.d.:	auf Ebene des VG			auf Ebene der FA				
Mittel	3,9		3,9		3,1			
Maximum	4,2		3,9		3,1			
Minimum	3,0		3,9		3,0			
a.v.d	15,7		14,9		9,4			

s.e.d. (Standardfehler der Mittelwertdifferenzen), 2 \* s.e.d entspricht etwa Grenzdifferenz (l.s.d.); a.v.d. (mittlere Varianz der Differenz)

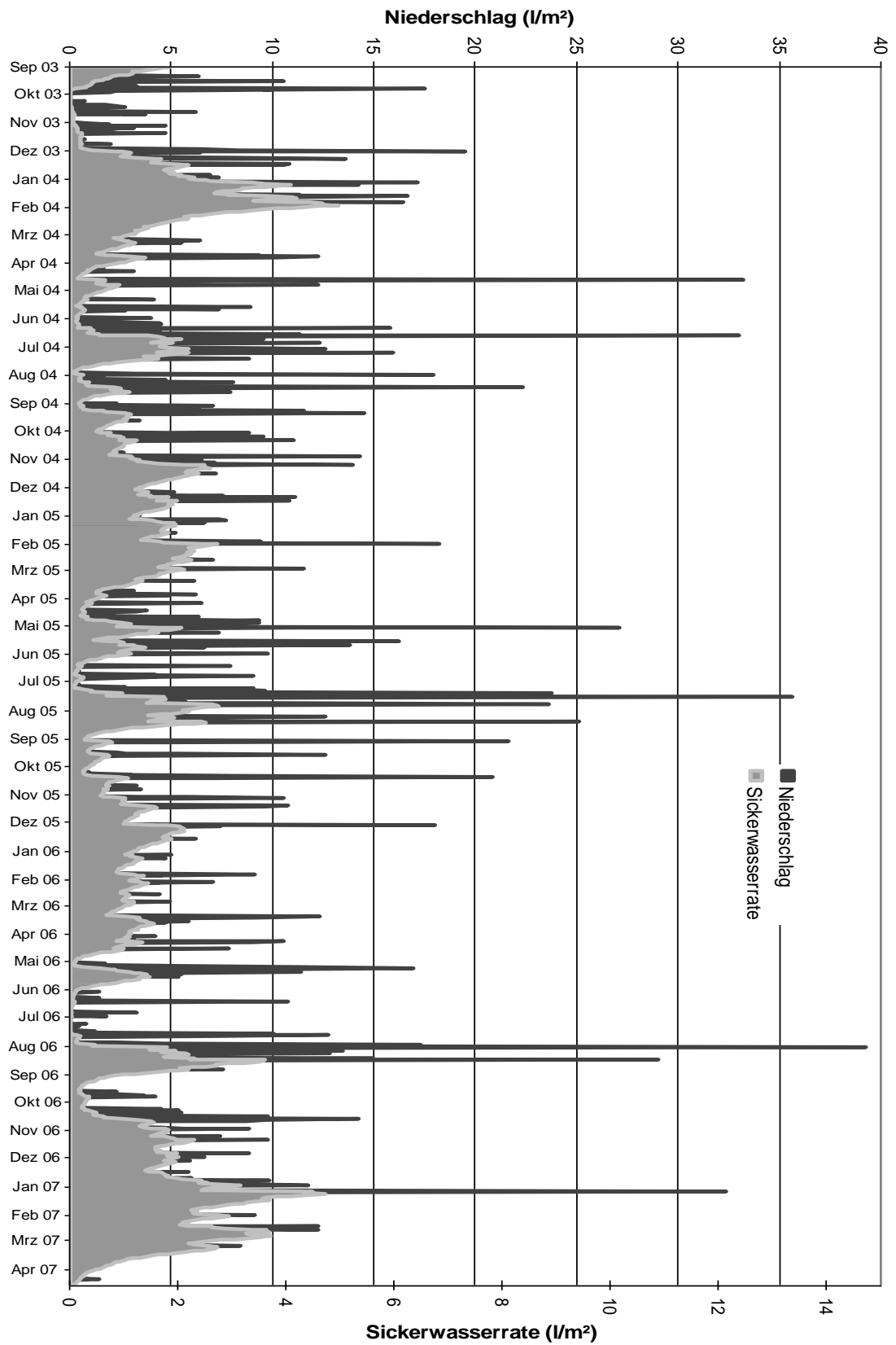


Abb. 15: Niederschläge ( $l\ m^{-2}$ ) und Sickerwasserraten ( $l\ m^{-2}$ ) für die Grünlandflächen des Fruchtfolgenversuches der Jahre 2003-2006 und den Sommertriticale des Nachbauversuchs der Jahre 2006-2007

## 8 Wissenschaftlicher Lebenslauf

- Name: Eike Poddey
- Adresse: Hohenholzer Weg 36, 27305 Engeln
- Geburtsdatum, -ort: 17. März 1974 in Tübingen
- Okt. 1994 – Juli 1996: Grundstudium der Agrarökologie an der Universität in Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
- Okt. 1997 – Juli 2001: Hauptstudium der Agrarökologie an der Universität in Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Studienschwerpunkt Tierhaltung und Umweltgerechte Landwirtschaft. Diplomarbeit: „Tierzüchterische Aspekte der Milchproduktion in ökologisch produzierenden Betrieben Mecklenburg-Vorpommerns“
- Feb. 2004 – Juni 2007: Wissenschaftliche Angestellte des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften der Fakultät der Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Außenstelle Vechta, Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau
- Seit Nov. 2009: Wissenschaftliche Angestellte des Instituts für Agrarklimaschutz des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

### Publikationen

- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eurich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2010. Report on methods and data (RMD). Submission 2012. Landbauforschung, Special Issue 356, pp 394
- Rösemann C, Haenel H-D, Poddey E, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Laubach P, Dieterle M, und Osterburg B (2011): Calculations of gaseous and particulate emissions from German Agriculture 1990 – 2009. Landbauforschung, Special Issue 342, pp 389
- Volling O, Poddey E, Krömker V (2010): Ökonomischer Gewinn und Indikatoren der Tiergesundheit in ökologisch wirtschaftenden Milchviehbetrieben. Tierärztliche Praxis Großtiere 38 (6), 348-356

---

## 9 Danksagung

Viele Menschen waren daran beteiligt, dass aus einer Idee ein Projekt, ein Promotionsthema, ein Feldversuch und zu guter Letzt auch eine Promotion geworden ist. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken!

Prof. Dr. Isselstein ermöglichte mir durch seinen Einsatz für die ökologische Graslandwissenschaft, im Bereich des ökologischen Landbaus zu promovieren. Er unterstützte mich immer und gab mir das Gefühl, dass alles gut werden wird. Und er sollte Recht behalten. Ich bin ihm dafür sehr dankbar, und ich hätte mir vor allem keinen besseren Doktorvater wünschen können.

Weiterhin möchte ich Prof. Dr. Van den Weghe herzlich für die Übernahme des Korreferats danken sowie Prof. Dr. Abel, der zu meiner Freude die Tätigkeit des 3. Prüfers übernahm.

Dr. Jürgen Müller als Vater dieses Projekts vertraute mir zusammen mit Prof. Isselstein das vorliegende Promotionsthema an. Ich bin dankbar dafür, dass ich durch ihn einen so guten Einstieg in das Projekt Bakenhus hatte.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mentor Dr. Manfred Kayser genannt große Quade, ohne den diese Dissertation schlichtweg nicht möglich gewesen wäre. Er hat mich bei allen Schritten meiner Promotion begleitet, mich immer wieder motiviert und mir vermittelt, was es bedeutet wissenschaftlich zu arbeiten und zu schreiben.

An die vielen Stunden, die Barbara Thomann mir auf dem Feld und im Labor zuverlässig und tatkräftig zur Seite stand, erinnere ich mich immer sehr gern. Vielen Dank für diese professionelle Unterstützung.

Ich möchte mich auch bei Gustav Wolters bedanken, der mir bei der Durchführung des Feldversuchs beratend zur Seite stand und immer wieder mit Arbeits- und Maschinenkraft half.

Vielleicht haben meine Eltern, Bärbel und PD Dr. Jörn Sieglerschmidt, manchmal nur noch gehofft, dass ich die Promotion zu einem guten Ende bringe, aber sie haben mir immer das Gefühl gegeben, dass sie an mich glauben und mich nach Kräften unterstützt.

Durch die Stärkung und Entlastung meiner Frau Susanne bin ich nach Abgabe der Dissertation glücklicherweise nur in einen zehntägigen nicht in einen hundertjährigen Tiefschlaf verfallen. Tausend Dank.

Moralische Unterstützung habe ich auch durch meine Mitdissertierenden Dr. Solveig March und Dr. Jan Brinkmann erfahren. Sie gaben mir den nötigen Halt und sorgten unter anderem dafür, dass ich so etwas „Nebensächliches“ wie den Abgabetermin nicht verpasst habe.