

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

**N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände
und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen
im Ökologischen Landbau**

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

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Sonja Dreymann
aus Werther (Westfalen)

Dekan: Prof. Dr. S. Wolfram
1. Berichterstatter: Prof. Dr. F. Taube
2. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Kage

Tag der mündlichen Prüfung: 28. April 2005

Kiel 2005

Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; Heft 41, 2005

ISSN: 1435-2613

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

Inhaltsverzeichnis

i. Abbildungsverzeichnis	IV
ii. Tabellenverzeichnis	VI
iii. Abkürzungsverzeichnis	X
1 Generaleinleitung	2
1.1 Literaturverzeichnis.....	7
2 Sprossmasseproduktivität und N-Haushalt von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung	14
2.1 Einleitung.....	14
2.2 Material und Methoden	17
2.2.1 Standort und Versuchsanlage.....	17
2.2.2 Probenahme und Untersuchung	19
2.2.3 Statistische Auswertung.....	21
2.3 Ergebnisse.....	22
2.3.1 Jahressprossmasse von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge	22
2.3.2 Sprossmasse der Einzelaufwüchse	26
2.3.3 N ₂ -Fixierungsleistung und nicht erntbarer Stickstoff.....	32
2.4 Diskussion	36
2.4.1 Sprossmassebildung und Bestandeszusammensetzung	36
2.4.2 Parameter des N-Haushaltes.....	40
2.5 Zusammenfassung	48
2.6 Literaturverzeichnis.....	50
2.7 Anhang	59
3 Einfluss der Bewirtschaftung der Vorfrucht Rotklee/ Rotklee gras und einer organischen Düngung auf die Ertragsleistung von Winterweizen	62
3.1 Einleitung.....	62
3.2 Material und Methoden	64

3.2.1	Standort	64
3.2.2	Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	65
3.2.3	Probenahme und Untersuchung	66
3.2.4	Berechnung der scheinbaren N-Verwertung	68
3.2.5	Statistische Auswertung.....	69
3.3	Ergebnisse.....	70
3.3.1	Residuen der Rotklee-/Rotklee gras-Bestände	70
3.3.2	Ertrag und Ertragsstruktur von Winterweizen.....	74
3.3.3	Sprossmassebildung, N-Aufnahme und N-Verwertung von Winterweizen	78
3.4	Diskussion	82
3.4.1	Einfluss der Saadmischung auf die Akkumulation der Residuen	82
3.4.2	Einfluss des Nutzungssystems auf die Akkumulation der Residuen	83
3.4.3	Umsetzbarkeit der Residuen.....	85
3.4.4	Ertragsleistung von Winterweizen.....	86
3.5	Zusammenfassung	98
3.6	Literaturverzeichnis.....	100
3.7	Anhang	109
4	Bedeutung der Bewirtschaftung von Rotklee gras für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen ..	114
4.1	Einleitung.....	114
4.2	Material und Methoden	117
4.2.1	Standort und Versuchsanlage.....	117
4.2.2	Pflanzenprobenahme und Untersuchung.....	120
4.2.3	Boden-N _{min} -Probennahme und Untersuchung	121
4.2.4	Saugkerzenanlage und Sickerwasser-Probennahme	122
4.2.5	Berechnung der Sickerwassermenge	122
4.2.6	Statistische Auswertung.....	124
4.3	Ergebnisse.....	125
4.3.1	Rotklee gras-Residuen.....	125
4.3.2	Boden-N _{min} -Gehalte	128
4.3.3	Sickerwassermenge.....	132
4.3.4	NO ₃ ⁻ -Konzentration und NO ₃ -N-Fracht im Sickerwasser	133
4.3.5	Rotklee gras-Folgefrucht Winter- bzw. Sommerweizen	138

4.4	Diskussion	141
4.4.1	Umsetzbarkeit der Rotklee gras-Residuen.....	141
4.4.2	Boden-N _{min} -Gehalt und Nitrat im Sickerwasser.....	144
4.4.3	Zusammenhang zwischen Boden-N _{min} -Gehalt und Nitrat im Sickerwasser.....	147
4.4.4	Folgefruchtertragsleistung.....	151
4.5	Zusammenfassung	155
4.6	Literaturverzeichnis.....	157
4.7	Anhang	166
5	Generaldiskussion.....	170
5.1	Einleitung.....	170
5.2	N ₂ -Fixierung und N-Bilanzsaldo.....	173
5.3	Bedeutung der Vorfrucht-Saatmischung für die Nitrat-Auswaschung.....	177
5.4	Vorfruchtwert von Rotklee/Rotklee gras im Vergleich zu Körnererbsen ...	179
5.5	Vergleich unterschiedlicher Ansätze zur Berechnung der Sickerwassermenge	180
5.6	Schlussfolgerungen	183
5.7	Literaturverzeichnis.....	184
6	Zusammenfassung	188
7	Summary.....	190

i. Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2:

- Abb. 1:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) Jahres-Sprossmasse ($P= 0,0112$, $SE= 50,2$) und b) Jahres-N-Menge in der Sprossmasse ($P= 0,0170$, $SE= 1,7$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$ 25
- Abb. 2:** Darstellung der Klee- und Gras-TM-Anteile [%] der Klee gras-Gemenge in Abhängigkeit von dem Aufwuchs (Aufw.) und von der Nutzung (S= Schnitt, M= Mulchen) ...30
- Abb. 3:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem*Aufwuchs für die a) potenziell erntbare Sprossmasse ($P= 0,0237$) und b) Spross-N-Menge ($P= 0,0618$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jedes Nutzungssystem innerhalb eines Aufwuchses (SE s. Tab. A2)31
- Abb. 4:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) N_2 -Fixierung (erw. Differenzmethode, $P= 0,0006$, $SE= 1,65$), den b) Mulch-N ($P= <0,0001$) und den c) Residuen-N ($P= 0,4292$, $SE= 1,03$) sowie den d) Boden- N_{min} -Gehalt (0-90 cm, Oktober, $P= 0,0227$, $SE= 3,58$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Nutzung35
- Abb. 5:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den Boden- N_{min} -Gehalt (0-90 cm, $P= 0,0031$, $SE= 3,76$) nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems45

Kapitel 3:

- Abb. 1:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras: a) oberirdische Biomasse ($P= <0,0001$, $SE= 0,63$), b) Wurzeln ($P= 0,0035$, $SE= 0,96$) und c) Gesamt-Residuen ($P= 0,0004$, $SE= 0,74$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$ 73
- Abb. 2:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) Korn-TM ($P= 0,0285$, $SE= 1,68$) und b) Korn-N-Menge ($P= 0,0481$, $SE= 3,28$) von Winterweizen; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung76
- Abb. 3:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die a) Korn-TM ($P= 0,0059$, $SE= 1,66$) und b) Korn-N-Menge ($P= 0,0153$, $SE= 3,24$) von Winterweizen; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems77
- Abb. 4:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die scheinbare Verwertung von zusätzlichem Leguminosen-N ($ANR_{\Delta leg.}$) durch das Winterweizenkorn ($P= <0,0001$, $SE= 12,90$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung80
- Abb. 5:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die scheinbare Verwertung von Gülle-N (ANR_{slurry}) ($P= 0,0262$, $SE= 3,62$) durch das Winterweizenkorn; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems81

Kapitel 4:

- Abb. 1:** Monatliche Niederschlagssumme [mm] und potenzielle Evapotranspiration (ETp) [mm] sowie monatliche Tagesmitteltemperatur [°C] der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03118

- Abb. 2:** Bedeutung der Rotklee-gras-Bewirtschaftung für den Boden- N_{\min} -Gehalt [kg N ha^{-1}] zum Termin Herbstumbruch (Oktober) im Mittel der Jahre 2001 und 2002 ($P= 0,0003$, $SE= 5,02$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$ 129
- Abb. 3:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Probenahmetermin für den Boden- N_{\min} -Gehalt [kg N ha^{-1}] von überwintertem Rotklee-gras ($P= 0,0069$, $SE= 5,58$) im zweijährigen Mittel; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) der Termine innerhalb eines Nutzungssystems, HU= Herbstumbruch / Oktober, VE= Vegetationsende / November, VB= Vegetationsbeginn / März)..... 130
- Abb. 4:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Probenahmetermin*Umbruchtermin für den Boden- N_{\min} -Gehalt [kg N ha^{-1}] ($P= 0,0419$, $SE= 4,39$) im zweijährigen Mittel; a) multipler Mittelwertvergleich (T-Test) der Nutzungssysteme je Probenahme- und Umbruchtermin, b) multipler Mittelwertvergleich innerhalb eines Klee-gras-Nutzungssystems (KG= Klee-gras, HU= Herbstumbruch / Oktober, VE= November, VB= März) 131
- Abb. 5:** Aktuelle und kumulative Sickerwassermenge [mm] im Probenahmezeitraum (durch Pfeile gekennzeichnet) der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03..... 132
- Abb. 6:** NO_3^- Konzentration [$\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] und kumulierte $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht [$\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2001/02 (Sickerwassermenge: 286 mm) 134
- Abb. 7:** NO_3^- Konzentration [$\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] und kumulierte $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht [$\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2002/03 (Sickerwassermenge: 154 mm) 135
- Abb. 8:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die a) mittlere NO_3^- -Konzentration [$\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] ($P= 0,0222$, $SE= 5,71$) und b) kumulierte $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht [kg N ha^{-1}] ($P= 0,0201$, $SE= 3,01$) im Sickerwasser im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Umbruchtermins 137
- Abb. 9:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Folgefrucht für den Korn-Rp-Gehalt [%] ($P= 0,0366$, $SE= 0,20$) im Mittel der Jahre 2002 und 2003; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Folgefrucht..... 140
- Abb. 10:** Zusammenhang zwischen der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser und dem Boden- N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Klee-gras und c) Winterweizen..... 148
- Abb. 11:** Zusammenhang zwischen der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser und dem Boden- N_{\min} -Saldo für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Klee-gras und c) Winterweizen..... 149
- Abb. 12:** Zusammenhang zwischen der Korn-N-Menge von a) Sommerweizen bzw. b) Winterweizen und der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser für ausgewählte Klee-gras-Nutzungssysteme (Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03 sowie Erntejahre 2002 und 2003)..... 153

Kapitel 5:

- Abb. 1:** Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo ($N\text{-Saldo}_{\text{erw.}} [\text{g N m}^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}}$) ($P= 0,0005$, $SE= 1,64$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jedes Nutzungssystem, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$ 176
- Abb. 2:** Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht [kg N ha^{-1}] im Sickerwasser ($P= 0,0482$, $SE= 3,18$) im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Umbruchtermins 182

ii. Tabellenverzeichnis

Kapitel 2:

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen der Versuchsjahre 1998 und 1999 (Witterungsdaten des Versuchsstandortes) und im langjährigen Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau).....	17
Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage.....	18
Tab. 3: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r ² C: Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation).....	20
Tab. 4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Jahres-Sprossmasse (TM) und für die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras	22
Tab. 5: Einfluss der Saatmischung auf die Jahres-Sprossmasse (TM) bzw. auf die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras im Mittel der Nutzungssysteme und der Jahre.....	23
Tab. 6: Einfluss des Nutzungssystems auf die Jahres-Sprossmasse (TM) bzw. auf die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras im Mittel der Saatmischungen und der Jahre.....	24
Tab. 7: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge und den Kleeanteil der Einzelaufwüchse.....	26
Tab. 8: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwüchse von Rotklee und Gras für den Faktor Saatmischung im Mittel der Nutzungssysteme und der Jahre (Interaktion Saatmischung*Aufwuchs)	27
Tab. 9: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwüchse von Rotklee und Gras für den Faktor Nutzungssystem im Mittel der Saatmischungen und der Jahre (Interaktion Nutzungssystem*Aufwuchs)	29
Tab. 10: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die N ₂ -Fixierung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N _{min} -Gehalt	32
Tab. 11: Bedeutung der Hauptfaktoren für die N ₂ -Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N _{min} -Gehalt im zweijährigen Mittel.....	33
Tab. 12: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) sowie Bedeutung des Nutzungssystems für den einfachen Flächenbilanzsaldo [g N m ⁻²] im zweijährigen Mittel	46
Tab. A1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Gesamt-Sprossmasse und die Gesamt-N-Menge in der Sprossmasse.....	59
Tab. A2: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem*Aufwuchs für die Sprossmasse und die N-Menge in der Sprossmasse	59
Tab. A3: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Klee- bzw. Gras-Sprossmasse und die N-Menge in der Klee- bzw. Gras-Sprossmasse.....	59
Tab. A4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Mulch-N- und die Residuen-N-Menge, den Boden-N _{min} -Gehalt und die N ₂ -Fixierungsleistung	60
Tab. A5: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Boden-N _{min} -Gehalt nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998).....	60

Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Boden-N _{min} -Gehalte in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm sowie 0-90 cm nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998).....	60
---	----

Kapitel 3:

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen der Versuchsjahre 1998, 1999 und 2000 (Witterungsdaten des Versuchsstandortes) sowie im langjährigen Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau)	64
---	----

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage.....	65
--	----

Tab. 3: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r ² C: Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation).....	67
---	----

Tab. 4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die organische Masse (OM), die N-Menge und das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras.....	70
--	----

Tab. 5: Bedeutung der Hauptfaktoren (Versuchsjahr, Saatmischung, Nutzungssystem) für die organische Masse (OM), die N-Menge und das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras	72
---	----

Tab. 6: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Ertragsparameter von Winterweizen	74
---	----

Tab. 7: Bedeutung der Hauptfaktoren Jahr, Saatmischung, Nutzungssystem und Düngung für die Ertragsparameter von Winterweizen.....	75
--	----

Tab. 8: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge, den Harvest-Index (HI), den N-Harvest-Index (N-HI) und die Residuen-N- bzw. Gülle-N-Verwertung von Winterweizen	79
---	----

Tab. 9: Bedeutung der Hauptfaktoren für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge, den Harvest-Index (HI), den N-Harvest-Index (N-HI) und die Residuen-N- (ANR _{Δ leg.}) bzw. Gülle-N-Verwertung (ANR _{slurry}) von Winterweizen.....	79
---	----

Tab. 10: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Klee/Gras-Nutzungssystems für die ANR _{Δ leg.} von Winterweizen in den N ₀ -Varianten (ohne organische Düngung) im zweijährigen Mittel	92
---	----

Tab. 11: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Gülleapplikationstermins für die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR _{slurry}) von Winterweizen der Varianten mit Schnittgutabfuhr (ohne GD) im zweijährigen Mittel	97
---	----

Tab. A1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras im zweijährigen Mittel.....	109
--	-----

Tab. A2: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die N-Konzentration der Residuen von Rotklee und Gras im zweijährigen Mittel.....	109
---	-----

Tab. A3: Sprossmassebildung, N-Konzentration und N-Menge in der Sprossmasse von Winterweizen zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von den Prüffaktoren.....	110
--	-----

Tab. A4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für Winterweizen zu Vegetationsbeginn.....	110
---	-----

Tab. A5: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Korn-TM, die Korn-N-Menge, die scheinbare Residuen-N-Verwertung (ANR _{Δ leg.}) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR _{slurry}) im zweijährigen Mittel.....	110
---	-----

Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die Korn-TM, die Korn-N-Menge, die scheinbare Residuen-N-Verwertung ($ANR_{\Delta leg.}$) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) im zweijährigen Mittel..... 111

Kapitel 4:

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen im Versuchszeitraum 2001 bis 2003 und langjähriges Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau) 117

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage..... 119

Tab. 3: Termine der Bewirtschaftung von Rotklee gras in den Jahren 2001 und 2002..... 119

Tab. 4: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r^2C : Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation)..... 121

Tab. 5: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und das C:N-Verhältnis von Rotklee gras-Residuen 125

Tab. 6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und das C:N-Verhältnis von Rotklee gras-Residuen 127

Tab. 7: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Boden- N_{min} -Gehalte (0-90 cm) in Abhängigkeit vom Termin der Probenahme 128

Tab. 8: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die mittlere Nitrat-Konzentration [$mg NO_3^- l^{-1}$] und die kumulierte Nitrat-N-Fracht [$kg NO_3-N ha^{-1}$] im Sickerwasser..... 136

Tab. 9: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Ertragsleistungsparameter von Weizen..... 138

Tab. 10: Bedeutung der Hauptfaktoren (Klee gras-Nutzungssystem und Folgefrucht) für die Ertragsleistungsparameter von Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003..... 139

Tab. A1: Einfluss der Versuchsfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin auf die Boden- N_{min} -Gehalte [$kg N ha^{-1}$] zu den Probenahmeterminen Herbstumbruch, Vegetationsende und Vegetationsbeginn im Mittel der Untersuchungsperioden 2001/02 und 2002/03..... 166

Tab. A2: Einfluss der Hauptfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin (a) sowie deren Interaktion (b) auf die Nitrat-N-Fracht [$kg NO_3-N ha^{-1}$] im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03 166

Tab. A3: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Folgefrucht für die Ertragsparameter der Klee gras-Folgefrucht Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003 167

Tab. A4: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Hauptfaktors Nutzungssystem im Mittel der Jahre 2001 und 2002 für die Jahres-Sprossmasse (TM), die Jahres-Spross-N-Menge und den Jahres-Kleeanteil von Rotklee gras..... 167

Tab. A5: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Kleeanteil der Rotklee gras-Einzelaufwüchse und b) Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Aufwuchs für den Kleeanteil [% d. TM] 168

Kapitel 5:

- Tab. 1:** a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung der Hauptfaktoren Saatmischung und Nutzungssystem für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo im Fruchtfolgeausschnitt ‚Rotklee/Rotklee gras – Winterweizen (N₀)‘ (N₀ = ohne Gülledüngung): $N_{\text{erw. Saldo}} [\text{g N m}^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}}$ 175
- Tab. 2:** Vergleich unterschiedlich berechneter Sickerwassermengen [mm] aus den Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03 181
- Tab. 3:** a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus), b) Einfluss der Hauptfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin und c) Einfluss der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin auf die kumulierte Nitrat-N-Fracht [$\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$] im Sickerwasser im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03..... 181

iii. Abkürzungsverzeichnis

C	elementarer Kohlenstoff
CaCl ₂	Calciumchlorid-Lösung
DM	dry matter
dt	Dezitonne
erw.	erweitert
FU	Frühjahrsumbruch
GD	Gründüngung
ha	Hektar
HNJ	Hauptnutzungsjahr
HU	Herbstumbruch
KG	Kleegras
M	Mulchen
max.	maximal
n	Anzahl
N	Stickstoff
N _{fix.}	N ₂ -Fixierungsleistung
N ₂	molekularer Luftstickstoff
¹⁵ N	schweres Stickstoffisotop mit der Atommasse 15
NIRS	Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NH ₃	Ammoniak
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
N _{min}	Summe von Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden
NO ₃ ⁻	Nitrat-Ion
[NO ₃ ⁻]	Nitrat-Konzentration
ns	nicht signifikant
o.	ohne
o. BM	oberirdische Biomasse
o.g.	oben genannt
OM	organische Masse
P	level of probability (Signifikanzniveau)
r ²	Bestimmtheitsmaß
Rp	Korn-Rohprotein-Gehalt
s.	siehe
S	Schnittgutabfuhr
SE	Standardfehler
Sign.	Signifikanzniveau
SW	Sickerwassermenge
SWP	Sickerwasserperiode
s.o.	siehe oben
TM	Trockenmasse
VB	Vegetationsbeginn
VE	Vegetationsende
vgl.	vergleiche
WW	Winterweizen
z.T.	zum Teil

Kapitel 1

Generaleinleitung

General introduction

1 Generaleinleitung

Die gegenwärtigen Entwicklungen in der europäischen Landwirtschaft sind gekennzeichnet durch umweltpolitische Rahmenbedingungen und ausgerichtet auf eine nachhaltige Wirtschaftsweise (NEETESON et al. 2004). Dem Stickstoff (N) kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da N einerseits ein Makronährstoff für das Pflanzenwachstum ist (CRAWFORD 1995) und andererseits seit Mitte des 20. Jahrhunderts N-Emissionen aus der Landwirtschaft die Atmosphäre und Hydrosphäre belasten (ISERMANN 2002). Mit der Reform der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP) durch die Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 und ihrer Umsetzung auf Bundesebene werden verstärkt Umweltziele verfolgt (BMVEL 2005). Damit ist der Erhalt von staatlichen Fördergeldern an die Einhaltung von Umweltmindeststandards gekoppelt („Cross Compliance“) und N ist einer der Kontrollindikatoren, die den Bezug von Direktzahlungen regeln (NITSCH & OSTERBURG 2004).

Der N-Input in den landwirtschaftlichen Betrieb erfolgt seit Mitte des 20. Jahrhunderts im wesentlichen durch mineralisch-synthetische N-Dünger, die unter dem Einsatz fossiler Energien hergestellt werden (CREWS & PEOPLES 2004). Demgegenüber steht die biologische Fixierung von atmosphärischen Luftstickstoff (N_2) durch Leguminosen in der Symbiose mit Bodenbakterien (Rhizobien) (MYLONA et al. 1995), die zu einer Akkumulation von organisch gebunden N führt. In den gemäßigten Breiten besitzen insbesondere die Futterleguminosen Luzerne, Rotklee und Weißklee ein hohes N_2 -Fixierungspotential (LOGES et al. 1999). Während Weißklee im wesentlichen in Weidesystemen von Bedeutung ist (WHITEHEAD 1995), werden im Ackerfutterbau Rotklee und Luzerne zur Rauhfutterproduktion eingesetzt. Unter den luftfeuchten und kühlen Klimabedingungen Norddeutschlands ist Rotklee die wichtigste Futterleguminose, während Luzerne in kontinentaleren Gebieten verbreitet ist (STOCK 1971). Rotklee wird häufig im Gemenge mit Gräsern angebaut, da Klee gras-Bestände oftmals eine größere Produktionssicherheit aufweisen und höhere TM-Erträge erzielen (FRAME et al. 1972; LAIDLAW & MCBRATNEY 1980). Neben der N_2 -Fixierung stellt der Anbau von Klee- bzw. Klee gras eine wirksame Maßnahme zur Reproduktion der organischen Bodensubstanz dar und entlastet intensive Getreidefruchtfolgen (RAUHE 1965; ESSER & LÜTKE ENTRUP 1981). Die Einbindung

von Klee- bzw. Klee gras-Beständen in die Fruchtfolge hat in Mitteleuropa eine lange Tradition (NESSLER 1931; PÄTZOLD 1958). Die verstärkte Einbindung von Rotklee in die Ackerbaurotation erfolgte auf dem Gebiet der ehemaligen DDR bis in die achtziger Jahre (MEINSEN 1983). Dagegen ist im früheren Bundesgebiet seit Mitte der fünfziger Jahre ein starker Rückgang der Klee-Anbaufläche u.a. durch die Ausdehnung des Maisanbaus zu verzeichnen (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Im heutigen Bundesgebiet wurde im Jahr 2001 auf 1,5% der Ackerfläche Klee als Futterpflanze angebaut (ANONYM 2002c).

Gegenwärtig gewinnt der Anbau von Klee- bzw. Klee gras wieder an Bedeutung durch die zunehmende Ausdehnung des Ökologischen Landbaus. Hier wird auf den Einsatz von mineralischen N-Düngemitteln gemäß der VO (EWG) Nr. 2092/91 verzichtet und die Fruchtfolge wird im wesentlichen über Leguminosen mit N versorgt. Auch im Ökologischen Landbau ist, wie die Gesamtsituation der Landwirtschaft zeigt, aufgrund von Anpassungen an die ökonomischen Rahmenbedingungen eine zunehmende Betriebsspezialisierung festzustellen. Entgegen dem traditionellen Leitbild eines Gemischtbetriebes wirtschaftet ein zunehmender Anteil ökologischer Betriebe viehlos (SCHMIDT 2004). Bei der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche beobachten BLUMÖHR & WALSEMANN (2004) im Zeitraum 1999-2003 insbesondere eine Steigerung des Anteils der Brachen, während die Zunahme des Ackerfutterbaus wesentlich geringer ist. Daraus ist abzuleiten, dass im Ökologischen Landbau die Brachen zunehmend zur N-Versorgung der Fruchtfolge dienen. Diese Entwicklung ist europaweit zu beobachten (BULSON et al. 1996; SCHMIDT et al. 1999; MUELLER & THORUP-KRISTENSEN 2001). Die Klee gras-Bestände, die als Brachen bewirtschaftet werden, sind ein- bzw. überjährig und werden praxisüblich mehrmalig gemulcht (STOPES et al. 1996). Der Klee gras-Aufwuchs verbleibt auf der Fläche, da in viehlosen Betrieben die traditionelle Verwertung in der Wiederkäuerfütterung entfällt bzw. die Bestände im Rahmen der konjunkturellen Flächenstilllegung in die Rotation eingegliedert waren und für den Bezug der Ausgleichszahlungen der Aufwuchs nicht entfernt werden durfte. Seit dem Wirtschaftsjahr 2001/02 ist jedoch die Verwertung von Futterleguminosen von ökologischen Stilllegungsflächen erlaubt (ANONYM 2002a). In viehlosen Betrieben kann durch eine einjährige Brache der N-Haushalt einer mehrjährigen Fruchtfolge ausbalanciert werden (SCHMIDT et al. 1999). Allerdings besteht bei einer schlechten Bestandesentwicklung die Gefahr, dass der N-Input sehr gering ist und ein

ausgeglichener N-Saldo nur durch den Zukauf von organischen Düngemitteln ermöglicht wird (SCHMIDT 1997). In viehhaltenden Betrieben ist die N-Versorgung der Fruchtfolge leichter zu bewerkstelligen, da schnittgenutzte Bestände eine sehr hohe Produktivität aufweisen und durch die Verfütterung von Klee gras eine flexible N-Quelle in Form von Wirtschaftsdünger bereitgestellt wird.

Weizen hat von den Getreidearten, die im Ökologischen Landbau angebaut werden, die höchste Bedeutung, da er eine hohe Marktleistung erzielt (BLUMÖHR 2002; ANONYM 2002b). Diese Kulturart weist einen hohen Vorfruchtanspruch auf (HANUS & SCHÖNBERGER 1977) und steht daher häufig in direkter Fruchtfolgestellung nach Klee bzw. Klee gras, das dem Boden über Pflanzenrückstände hohe Mengen an N zuführt und im Vergleich zu Nichtleguminosen eine hohe Ertragssteigerung der Folgefrucht bewirkt (LINDEN & WALLGREN 1993; LOGES et al. 1999; KUMAR & GOH 2002). Ist das Produktionsziel die Vermarktung als Backweizen, werden neben einem hohen Kornertrag insbesondere eine hohe Kornqualität angestrebt. Dabei ist der Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt einer der wichtigsten Qualitätsparameter, da von der Verarbeitungsseite Mindestgehalte im Bereich von 10,5% (TAYLOR et al. 2001) bis 12% (BRÜMMER & SEIBEL 1992) gefordert werden. Im Ökologischen Landbau besteht allerdings die Schwierigkeit, hohe Kornerträge mit zugleich angemessenen Rp-Gehalten zu erzielen, weil die N-Versorgung des Weizens ausschließlich aus organischem Material erfolgt. Erst nach einem Mineralisierungsprozess, der stark von den Witterungs- und Bodenverhältnissen abhängig ist, wird N pflanzenverfügbar. Zusätzlich kann durch den Klee grasumbruch im Herbst der N-Transfer zur Folgefrucht stark eingeschränkt werden, wenn mineralisierter N über Winter mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert wird (HESS 1989).

Die Optimierung des Fruchtfolgeglieders ‚Klee gras-Folgefrucht‘ im Hinblick auf den N-Input und die Ertragsleistung stand bereits im Zentrum vorangegangener Studien. Umfassende Untersuchungen zur N₂-Fixierung von Klee bzw. Klee gras-Beständen mit Schnittgutabfuhr zeigen SCHMIDTKE (1997) und HØGH-JENSEN (1997). Die Auswirkungen unterschiedlicher Umbruchtermine und Umbrucharten von schnittgenutzten Klee gras-Beständen auf die N-Mineralisierung und die N-Austragsgefahr diskutieren HEß (1989), FAßBENDER (1998) und HAAS (2001). Die Ertragsleistung der direkten Klee gras-Folgefrucht Weizen ist nach Klee gras-Gründung (WALLGREN & LINDÉN 1991; DREESMANN 1993; STOPES et al. 1996; SOON et al. 2001; OLESEN et al. 2002) bzw. nach Schnittgutabfuhr (HEß 1989; PIORR

1992; LINDEN & WALLGREN 1993; HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 1997) geprüft worden. Daneben bleibt jedoch eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Klee gras-Nutzungsformen im Hinblick auf den N-Haushalt und die Ertragsleistung der Folgefrucht unterrepräsentiert. Die Untersuchungen von LOGES (1998), KASKE (2000), HEUWINKEL et al. (2002) und RUHE et al. (2003) zeigen, dass von der Nutzungsform des Klee grasses ein wesentlicher Einfluss auf den N-Input des Betriebes ausgeht. Im Vergleich zur Schnittgutabfuhr mindert Mulchen den Betriebs-N-Input, da einerseits die N₂-Fixierung negativ beeinflusst wird und andererseits unter humiden Klimaverhältnissen gemulchtes Klee gras erhöhte Nitrat-Auswaschungsverluste aufweist. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse von FARTHOFER et al. (2004), dass die N-Verwertung des eingesetzten Leguminosen-N durch das Weizenkorn nach schnittgenutzter Luzerne-Vorfrucht höher ist im Vergleich zur gemulchten Variante. Jedoch wird in keiner der genannten Untersuchungen die Wirkung eines kombinierten Nutzungssystems aus Schnittgutabfuhr *und* Gründüngung geprüft. Ein kombinierte Klee gras-Nutzung kann aber gerade für viehlose Betriebe von großer Bedeutung sein, weil es die N-Austragsproblematik entschärfen kann und den Bezug von Wirtschaftsdüngern ermöglicht: in der Kooperation mit einem Betrieb, der Klee gras in der Verfütterung oder als Kosubstrat in einer Biogasanlage einsetzt (STINNER et al. 2004), können Teilschnittgutmengen von der Rotationsbrache mit äquivalenten Wirtschaftsdüngermengen gehandelt werden. Durch den dann flexibel einsetzbaren Wirtschaftsdünger kann im ökologischen Weizenanbau eine Steigerung des Ertrages bzw. Rp-Gehaltes erzielt werden (PIORR 1995; STEIN-BACHINGER & WERNER 1997; OLESEN et al. 2002).

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Arbeit geprüft werden, in wieweit eine kombinierte Klee gras-Nutzungsform die negativen Auswirkungen des Mulchens entschärft und durch die Einbeziehung weiterer pflanzenbaulichen Steuergrößen die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen erhöht werden kann. Dazu wurden im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel auf dem Versuchsgut Lindhof mehrjährige Feldversuche durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt und diskutiert.

Zunächst wird der Einfluss von drei verschiedenen Bewirtschaftungsformen in Abhängigkeit vom Kleeanteil in der Saatmischung auf die Klee- und Grassprossmasse, auf die N_2 -Fixierungsleistung, auf den Boden- N_{\min} -Gehalt und auf den N-Flächenbilanzsaldo (Kapitel 2) sowie auf die Ertragsleistung und die N-Verwertung der Folgefrucht Winterweizen in Abhängigkeit von einer unterschiedlich terminierten organischen Düngung (Kapitel 3) dargestellt.

Darauf aufbauend wird in einem weiteren Feldversuch anhand eines Klee-gras-Gemenges der Einfluss von vier verschiedenen Bewirtschaftungsformen und zwei unterschiedlichen Umbruchterminen (Herbst- bzw. Frühjahrsumbruch) auf den Boden- N_{\min} -Gehalt und auf das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser sowie auf die Ertragsleistung der Folgefrüchte Winter- bzw. Sommerweizen geprüft (Kapitel 4).

In Kapitel 5 werden ausgewählte Aspekte aus den Kapiteln 2-4 diskutiert.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, den Fruchtfolgeabschnitt ‚Klee-gras-Weizen‘ im marktfruchtorientierten, ökologischen Anbau hinsichtlich des N-Haushaltes zu optimieren.

1.1 Literaturverzeichnis

- ANONYM, 2002a: Agenda 2000. Pflanzlicher Bereich, Agrarumweltmaßnahmen.
- ANONYM, 2002b: Betriebszweigabrechnung eines Mähdruschbetriebes. In: Aktuelles aus dem Ökologischen Landbau 2002, Hrsg. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Jespersen Produktion, Hamburg, Kiel, 46-48.
- ANONYM, 2002c: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2002, Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- BLUMÖHR, T., 2002: Ökologischer Landbau 2001: Ergebnisse und Weiterentwicklung der statistischen Erfassung. *Wirtschaft und Statistik* **6**, 471-479.
- BLUMÖHR, T. & WALSEMANN, U., 2004: Landwirtschaft in Deutschland 2003. *Wirtschaft und Statistik* **2**, 173-183.
- BMVEL, 2005: Meilensteine der Agrarpolitik, Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland, Hrsg. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Frank Druck GmbH & Co.KG, Berlin 1-153.
- BRÜMMER, J.-M. & SEIBEL, W., 1992: Extensivierter Weizenanbau und seine Auswirkungen auf Verarbeitungseigenschaften und Gebäckqualität. *Getreide, Mehl und Brot: technologische Zeitschrift für Getreide, Mehl & Backwaren* **46** [6], 187-191.
- BULSON, H., WELSH, J., STOPES, C. & WOODWARD, L., 1996: Stockless organic farming in the UK: Potential and limits, 1988-1995. In: *New Research in Organic Agriculture*, Ed. N. H. Kristensen & H. Høgh-Jensen, 17-22.
- CRAWFORD, N., 1995: Nitrate: Nutrient and Signal for Plant Growth. *The Plant Cell* **7**, 859-868.
- CREWS, T. & PEOPLES, M. B., 2004: Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **102**, 279-297.
- DREESMANN, S., 1993: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzerne-gras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste. Dissertation, Institut für Organischen Landbau der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- ESSER, J. & LÜTKE ENTRUP, E., 1981: Ackerfutterbau und Gründüngung haben Zukunft. Die Arten und ihr Wert, Anbauformen und Nutzung, *Landwirtschaftliche Schriftenreihe: Boden - Pflanze - Tier*, Hrsg. B. Ruhr-Stickstoff AG, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 1-120.
- FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2004: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Luzerne (Schnitt- und Grünbrachennutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen

- Standortbedingungen in Ostösterreich. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **16**, 67-68.
- FARBENDER, K., 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Klee grasumbruch. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- FRAME, J., HARKESS, R. D. & HUNT, I. V., 1972: The effect of a ryegrass companion grass and the variety of red clover on the productivity of red-clover swards. Journal of British Grassland Society, **27**, 241-249.
- HAAS, G., 2001: Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements, Habilitationsschrift, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Hrsg. U. Köpke, Verlag: Dr. Hans-Joachim Köster, Berlin, 1-152.
- HANUS, H. & SCHÖNBERGER, H., 1977: Anbautechnische Voraussetzungen für die Maximierung der Weizenerträge. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel **56**, 38-49.
- HESS, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HEUWINKEL, H., KAISER, M., SCHMIDHALTER, U. & GUTSER, R., 2002: Mulchen von Klee gras vermindert den N-Gewinn: Ausmaß und Ursachen. In: VDLUFA Kongressband "Ressourcenschutz & Produktsicherheit - Qualitätssicherung in der Landwirtschaft" 114. VDLUFA-Kongreß, VDLUFA Schriftenreihe **58**, 24-25.
- HØGH-JENSEN, H., 1997: Biological nitrogen fixation in clover-ryegrass systems. Dissertation, Department of Agricultural Sciences, Plant Nutrition and Soil Fertility Laboratory, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJOERRING, J., 1997: Residual nitrogen effect of clover-ryegrass swards on yield and N uptake of a subsequent winter wheat crop as studied by use of ¹⁵N methodology and mathematical modelling. European Journal of Agronomy **6**, 235-243.
- ISERMANN, K., 2002: Die Stickstoff-Flüsse im Ernährungsbereich von Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Landwirtschaft. In: Emissionen der Tierhaltung Grundlagen, Wirkungen und Minderungsmaßnahmen, Hrsg. KTBL, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 28-47.
- KASKE, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 17, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- KUMAR, K. & GOH, K., 2002: Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake,

- soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *European Journal of Agronomy* **16**, 295-308.
- LIDLAW, A. S. & MCBRATNEY, J. M., 1980: The effect of companion perennial ryegrass cultivars on red clover productivity when timing of the first cut is varied. *Grass and Forage Science* **35**, 257-265.
- LINDEN, B. & WALLGREN, B., 1993: Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research* **23**, 77-89.
- LOGES, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotkleeegrasbeständen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 9, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- LOGES, R., KASKE, A. & TAUBE, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: *Designing and testing crop rotations for organic farming*, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 181-190.
- MEINSEN, C., 1983: Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotkleeegras. Dissertation, Arbeit aus der Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Wissenschaftsbereich Pflanzenbau und Grünland, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- MUELLER, T. & THORUP-KRISTENSEN, K., 2001: N-Fixation of Selected Green Manure Plants in an Organic Crop Rotation. *Biological Agriculture and Horticulture* **18**, 345-363.
- MYLONA, P., PAWLOWSKI, K. & BISSELING, T., 1995: Symbiotic Nitrogen Fixation. *The Plant Cell* **7**, 869-885.
- NEETESON, J., SCHRÖDER, J. & JAKOBSSON, C., 2004: Drivers towards sustainability: why change? In: *Controlling nitrogen flows and losses*, Ed. D. Hatch, D. Chadwick, S. C. Jarvis & J. Roker, Wageningen Academic Publishers, 29-38.
- NESSLER, H., 1931: Der Rotklee, *Trifolium pratense*. Dissertation, Landwirtschaftliche Hochschule, Hohenheim.
- NITSCH, H. & OSTERBURG, B., 2004: Cross Compliance als Instrument der Agrarumweltpolitik. *Landbauforschung Völkenrode* **54** [3], 171-185.
- OLESEN, J., RASMUSSEN, I., ASKEGAARD, M. & KRISTENSEN, K., 2002: Whole-rotation dry matter and nitrogen grain yields from the first course of an organic farming crop rotation experiment. *Journal of Agricultural Science* **139**, 361-370.
- PÄTZOLD, H., 1958: Dreijährige Untersuchungen über die Nachfruchtwirkung von Rotklee, verschiedenen Gräsern und Kleeegrasgemischen. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **105**, 50-60.
- PIORR, A., 1992: Zur Wirkung von residualem Kleeegras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Dissertation, Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

- PIORR, A., 1995: Zum N-Mineralisationsverhalten von Klee grasresiduen in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und Möglichkeiten der Regulation der Mineralisationsintensität durch Wirtschaftsdüngeranwendung. *Agribiological Research* **48** [3-4], 207-218.
- RAUHE, K., 1965: Humusersatzwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Düngung und des Ackerflächenverhältnisses. *Albrecht-Thaer-Archiv* **9** [4], 349-364.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Manz Crossmedia GmbH & Co KG, Wien, 97-100.
- SCHMIDT, H., 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau, Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation, Fachbereich Landwirtschaft, internationale Agrarentwicklung und ökologische Umweltsicherung der Universität Gesamthochschule Kassel.
- SCHMIDT, H., PHILIPPS, L., WELSH, J. P. & FRAGSTEIN, P. V., 1999: Legume breaks in stockless organic farming rotations: nitrogen accumulation and influence on the following crops. *Biological Agriculture and Horticulture* **17**, 159-170.
- SCHMIDT, H., 2004: Viehloser Öko-Ackerbau Beiträge Beispiele Kommentare, Hrsg. H. Schmidt, Offset-Druckerei Gerhard Weinert GmbH, Berlin, 1-207.
- SCHMIDTKE, K., 1997: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiontische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II Professur für Organischen Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- SOON, Y. K., CLAYTON, G. W. & RICE, W. A., 2001: Tillage and previous crop effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. *Agronomy Journal* **93**, 842-849.
- STEIN-BACHINGER, K. & WERNER, W., 1997: Effect of Manure on Crop Yield and Quality in an Organic Agricultural System. *Biological Agriculture and Horticulture* **14**, 221-235.
- STINNER, P.-W., MÖLLER, K. & LEITHOLD, G., 2004: Pflanzenbauliche Systemwirkungen der Vergärung von Klee gras und pflanzlichen Koppelprodukten in einem Betriebssystem der ökologischen Landwirtschaft ohne Viehhaltung. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **16**, 109-110.
- STOCK, H.-G., 1971: Mehrjährige Untersuchungen über den Witterungseinfluss auf die Ertragsbildung von Rotklee und Luzerne. *Abhandlungen des meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik* **101** [XIII], 1-73.
- STOPE, C., MILLINGTON, S. & WOODWARD, L., 1996: Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **57**, 189-196.

-
- TAYLOR, B., WATSON, C., STOCKDALE, E., MCKINLAY, R., YOUNIE, D. & CRANSTOUN, D., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. *HGCA research review* **45**.
- VOIGTLÄNDER, G. & JACOB, H., 1987: *Grünlandwirtschaft und Futterbau*, G. Voigtländer u. H. Jacob im Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1-480.
- WALLGREN, B. & LINDÉN, B., 1991: Residual nitrogen effects of green manure crops and fallow. *Swedish Journal of Agricultural Research* **21**, 67-77.
- WHITEHEAD, D., 1995: *Grassland Nitrogen*, CAB International, Wallingford/UK, 1-397.

Kapitel 2

Sprossmasseproduktivität und N-Haushalt von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung

*Impact of defoliation system on dry matter productivity and
N-accumulation of red clover and grass
in pure stands and mixtures*

2 Sprossmasseproduktivität und N-Haushalt von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung

2.1 Einleitung

In gemäßigten Klimaräumen kann durch Rotklee in Reinsaat oder im Gemenge mit Gras hochwertiges Rauhfutter produziert werden (SIMON 1960; McBRATNEY 1981; MEINSEN 1983). Der Anbau dieser Futterleguminose ist jedoch bis Mitte der achtziger Jahre aufgrund von niedrigen Mineraldüngerpreisen und intensivem Maisanbau stark zurückgegangen (TAYLOR & QUESENBERRY 1996). Seit einigen Jahren besteht wieder ein zunehmendes Interesse an der kostengünstig und weitgehend ohne fossilen Energieeinsatz produzierbaren Klee- bzw. Klee gras-Biomasse (FRAME et al. 1998), die neben der Verwertung als Wiederkäuerfutter auch als Substrat zur Vergärung in Biogasanlagen eingesetzt wird (MÖLLER 2004).

Rotklee bzw. Rotklee gras-Bestände leisten einen großen Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit (RAUHE 1965; ESSER & LÜTKE ENTRUP 1981; ASMUS 1991) und vermögen hohe Mengen atmosphärischen Stickstoffs (N_2) in pflanzlicher Biomasse zu binden und die Ertragsleistung von Gemengepartnern und von Folgefrüchten zu erhöhen (PEOPLES & CRASWELL 1992; PEOPLES et al. 1995).

Bundesweit ist der Anbau anderer Ackerfutterpflanzen als Mais sehr gering, während im Ökologischen Landbau aufgrund der richtlinienbedingten Zukaufsbeschränkung von N-Düngemitteln Futterleguminosen eine zentrale Bedeutung zu kommt (ANONYM 1991; BLUMÖHR & WALSEMANN 2004). Ökologische Fruchtfolgen Norddeutschlands enthalten zu 25-33% Klee gras (HOLLE & UNTIEDT 1999), das als Ackerfutter oder als Gründüngung genutzt wird. Seit dem Wirtschaftsjahr 2001/02 ist es im Rahmen der Agenda 2000 ökologisch wirtschaftenden Betrieben erlaubt, Stilllegungsflächen für den Anbau von Futterleguminosen zu nutzen und den Aufwuchs zu verwerten (ANONYM 2002).

Entgegen der traditionellen Wirtschaftsweise ist ein beachtlicher Teil der ökologischen Betriebe viehlos und erzielt das Einkommen ausschließlich aus dem Verkauf von Marktfrüchten. Der Anteil dieser Betriebe nimmt innerhalb der EU weiterhin zu und wird für Deutschland je nach Region mit 20-50% angegeben (VON FRAGSTEIN 1996; SCHMIDT et al. 1999; MUELLER & THORUP-KRISTENSEN 2001). In der

Regel wird in den viehlos wirtschaftenden Betrieben der Aufwuchs mehrmalig gemulcht und verbleibt auf der Fläche (STOPES et al. 1996). In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass das Mulchen von Klee- bzw. Klee gras umweltrelevante N_2O - und NH_3 -Ausgasungen (LARSSON et al. 1998; MCGINN & JANZEN 1998; WEBER et al. 2002; HELMERT et al. 2003) hervorrufen kann und die akkumulierten N-Mengen einem Auswaschungsrisiko in Form von Nitrat unterliegen (KÖPKE 1995; RUHE et al. 2003). Neben den genannten N-Verlustquellen trägt eine deutlich verringerte N_2 -Fixierungsleistung gemulchter Klee- bzw. Klee gras-Bestände im Vergleich zu denen mit Schnittgutabfuhr zu einem wesentlich geringeren Betriebs-N-Input bei (LOGES 1998; HEUWINKEL 2001). Aber auch nach Schnittgutabfuhr und anschließendem Bestandesumbruch besteht ein N-Verlustrisiko durch Mineralisation von Ernterückständen (HEß 1989; BELAU et al. 1995; FAßBENDER 1998).

In der aktuellen Literatur ist eine Vielzahl an Ergebnissen zur Ertragsleistung und zum N-Haushalt verschiedener Klee- bzw. Klee gras-Bestände in Abhängigkeit von Standort, Art, Sorte, Nutzungs- oder Düngungsintensität zu finden (PAECH 1995; WACHENDORF 1995; STOPES et al. 1996; NYKÄNEN et al. 2000; HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 2001; JUNG 2003; HAAS et al. 2003). Gemeinsam ist diesen Untersuchungen, dass sie unter einer der klassischen Nutzungsformen Schnitt *oder* Gründüngung durchgeführt wurden und die Ergebnisse demzufolge nur auf diese übertragbar sind. Ein Vergleich von verschieden bewirtschafteten Futterleguminosen-Beständen hinsichtlich der Ertragsleistung und des N-Haushaltes liegt nur in wenigen Quellen vor (LOGES 1998; KASKE 2000; FARTHOFER et al. 2003; RUHE et al. 2003). So kann die Variation der Nutzung in Verbindung mit dem Saatmischungs kleeanteil im kühl-humiden Klima Norddeutschlands eine sinnvolle Steuergröße sein, um die Ertragsleistung und den N-Haushalt von Leguminosen-Beständen zu beeinflussen (LOGES 1998; KASKE 2000), während dies unter trockenen Witterungsbedingungen nur begrenzt gilt (FARTHOFER et al. 2003). Die Untersuchungen von LOGES (1998) und KASKE (2000) dokumentieren uneingeschränkt den verminderten Betriebs-N-Input durch Gründüngung im Vergleich zur Schnittgutabfuhr, prüfen jedoch kein alternatives Klee gras-Nutzungssystem, dass aber gerade im Hinblick auf die stetige Zunahme viehlos wirtschaftender ökologischer Betriebe notwendig wird. Die Kooperation von spezialisierten Vieh- und Ackerbaubetrieben kann die Produktivität und die Umweltwirkung beider Betriebsformen positiv beeinflussen (VAN KEULEN et al. 1998; PRINS et al. 2004). Daher besteht ein zunehmendes Interesse an der Klee gras-

Verwertung von Brachen, es entbehrt aber noch einer wissenschaftlichen Prüfung im norddeutschen Klimaraum.

Mit dieser Untersuchung soll im Rahmen eines Feldversuches ermittelt werden, inwieweit sich eine aus den klassischen Nutzungen Schnitt *und* Mulchen kombinierte Bewirtschaftung in Abhängigkeit vom Saatmischungs-kleeanteil auf die Sprossmasseproduktivität, N₂-Fixierungsleistung sowie den Boden-N-Haushalt und Brutto-N-Gewinn auswirkt und von den herkömmlichen Klee-gras-Nutzungen unterscheidet. Darüber hinaus werden für das Schnittsystem (3-Schnitte + 1x Mulchen) und für die Gründüngung (4x Mulchen) Nutzungsintensitäten geprüft, die sich von den an einem vergleichbaren Standort geprüften Varianten unterscheiden (LOGES 1998; KASKE 2000).

Die Zielsetzung dieser Studie ist es, insbesondere für marktfruchtorientierte Betriebe eine Klee-gras-Bewirtschaftung zu ermitteln, die sich positiv im Hinblick auf den Betriebs-N-Gewinn und auf die Umwelt auswirkt.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Standort und Versuchsanlage

Der Feldversuch wurde auf dem Versuchsgut für Ökologischen Landbau und extensive Landnutzungssysteme „Lindhof“ der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in den Jahren 1998 und 1999 durchgeführt. Der Versuchsstandort befindet sich im nordöstlichen Teil der holsteinischen Jungmoränenlandschaft direkt an der Eckernförder Bucht und baut sich aus weichselzeitlichen Ablagerungen sandigen bzw. lehmigen Geschiebemergels auf. Vorherrschende Bodenart ist ein schwach humoser sandiger Lehm (sL) bzw. lehmiger Sand (IS) mit einer Bodenwertzahl von 40 bis 45. Die Bodentypen Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley und Kolluvisol sind in oft wechselnden kleinräumigen Bodengesellschaften anzutreffen (ZIOGAS 1995; JANETZKO & SCHMIDT 1996). Durch seine Lage an der Ostsee weist der Lindhof ein ozeanisch gemäßigt mildes Klima auf.

Die Witterungsdaten des Untersuchungszeitraumes wurden auf dem Versuchsgut erhoben, während das langjährige Mittel von der 20 km entfernt liegenden Messstation des Deutschen Wetterdienstes Kiel-Holtenau stammt (Tab. 1). Im Versuchsjahr 1998 liegt die Jahresniederschlagssumme deutlich über dem langjährigen Mittel, hervorgerufen durch starke Niederschlagsereignisse in den Monaten April, Juni, Juli und November. Dagegen ist die Niederschlagssumme des Jahres 1999 vergleichbar mit dem langjährigen Mittel und die Vegetationsperiode ist durch eine unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge gekennzeichnet. Das Versuchsjahr 1999 war überdurchschnittlich warm, bedingt durch höhere Tagestemperaturen im Winter als auch innerhalb der Vegetationsperiode.

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen der Versuchsjahre 1998 und 1999 (Witterungsdaten des Versuchsstandortes) und im langjährigen Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau)

Mean annual temperature and annual rainfall of experimental years 1998 and 1999 and long-term averages of temperature and rainfall

	1998	1999	langjähriges Mittel (1980-2003)
Temperatur [°C]	8,8	9,6	8,7
Niederschlag			
Jahressumme	922	711	774
[mm]			
Summe März bis Oktober	578	384	516

In den folgenden Ausführungen werden die Bestände von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge als Klee/Gras-Bestände bezeichnet. Für die Untersuchung der Ertragsleistung und des N-Haushaltes unterschiedlich bewirtschafteter Klee/Gras-Bestände diente eine zweifaktorielle Streifenanlage in dreifacher Wiederholung. Die Klee/Gras-Bestände wurden im August 1997 und 1998 nach abtragendem Getreide als Blanksaat in verschiedenen Saatmischungen (horizontaler Streifen) angelegt und im folgenden Jahr unterschiedlich bewirtschaftet (Nutzungssysteme, vertikaler Streifen). Die Parzellen hatten im Jahr 1998 eine Größe von 9 m x 15 m und im Jahr 1999 eine Größe von 6 m x 12 m. Betriebsüblich wurde für die überjährigen Klee/Gras-Bestände Rotklee (*Trifolium pratense* L. cv. Maro) und Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne* L. cv. Mandat) gewählt. Das Saatmischungsverhältnis der Klee-gras-Gemenge bezieht sich auf die Reinsaatmenge der Gemengepartner und ist nach dem substitutiven Design bemessen. Als Referenzbestand diente ein nicht zusätzlich mit Stickstoff versorgter Gras-Reinbestand. Tabelle 2 zeigt die Versuchsfaktoren und deren Abstufungen.

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage

Factors and levels of factors of the experimental design

Faktor	Faktorstufe		
1. Saatmischung	1.1	100% Rotklee (RK)	12 kg ha ⁻¹
	1.2	67% Rotklee + 33% Dt. Weidelgras	8 kg ha ⁻¹ + 10 kg ha ⁻¹
	1.3	33% Rotklee + 67% Dt. Weidelgras	4 kg ha ⁻¹ + 20 kg ha ⁻¹
	1.4	100% Dt. Weidelgras (DW)	30 kg ha ⁻¹
2. Nutzungssystem	2.1	Schnittgutabfuhr (S)	3 Schnitte + 1x Mulchen
	2.2	Schnittgutabfuhr + Gründüngung (S+GD)	2 Schnitte + 2x Mulchen
	2.3	Gründüngung (GD)	4x Mulchen
3. Versuchsjahr	3.1	1998	1. Hauptnutzungsjahr
	3.2	1999	1. Hauptnutzungsjahr

Die Schnittnutzung (S) erfolgte mit einem Kreiselmäher auf 5 cm Stoppelhöhe und das Aufwuchsmaterial wurde von der Fläche entfernt. Zeitgleich wurde mit einem Schlegelmäher gemulcht und das auf gleicher Höhe gemähte Grünstreu verblieb auf der Fläche. Die Klee/Gras-Bestände wurden insgesamt viermal bewirtschaftet: Im Nutzungssystem S erfolgte eine Schnittgutabfuhr der ersten drei und im Nutzungssystem S+GD der ersten zwei Aufwüchse. Beim Nutzungssystem S wurde der vierte Aufwuchs und bei S+GD der dritte und der vierte Aufwuchs gemulcht, während im System GD alle vier Aufwüchse gemulcht wurden. Die erste Nutzung erfolgte Ende Mai zum Zeitpunkt „späte Siloreife“. Mit jeweils sechswöchigem

Abstand wurde die zweite (Anfang Juli) und dritte Nutzung (Ende August) sowie abschließend Ende September die Nutzung des vierten Aufwuchses kurz vor dem Umbruch der Bestände durchgeführt.

2.2.2 Probenahme und Untersuchung

Zur Bestimmung der Ertragsleistung und der Ertragsanteile der Gemengepartner wurde parallel zum jeweiligen Klee/Gras-Nutzungstermin die Sprossmasse von Hand mit einer Rasenkantenschere in einer Höhe von 5 cm über der Bodenoberfläche beerntet. Aufwüchse, die sich zum Zeitpunkt der Beprobung hinsichtlich ihrer Nutzungsform nicht unterschieden, wurden in zweifacher Messwiederholung à 0,25 m² beprobt. Der Beprobungsumfang der Klee/Gras-Bestände wurde sukzessiv mit dem Nutzungstermin erweitert. Die Messwiederholungen gehen als Mittelwert in die statistische Analyse ein und sind repräsentativ für Klee/Gras-Bestände gleicher Nutzung. Die Frischmasse der Gesamtprobe wurde umgehend im Labor erfasst und eine repräsentative Unterprobe - im Falle der Gemenge fraktioniert in Klee und Gras - wurde bei 65°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurde der Trockensubstanzgehalt bestimmt.

Zur Bestimmung der Jahres-N₂-Fixierungsleistung mit der erweiterten Differenzmethode ist die Kenntnis des in Mulch, Stoppeln, Wurzeln und Boden-N_{min} gebundenen Stickstoffs notwendig. Dafür wurde das nicht erntbare Pflanzenmaterial und der Boden-N_{min}-Gehalt kurz vor Umbruch der Klee/Gras-Bestände ermittelt. Nach der Beprobung des vierten Aufwuchses wurden von der gleichen Probefläche direkt über der Bodenoberfläche Klee/Gras-Stoppeln abgeschnitten und von der Fläche entfernt, wobei in den mulchgenutzten Parzellen zusätzlich abgestorbenes Pflanzenmaterial der vorherigen Aufwüchse (Mulch) erfasst wurde. Von den freigeräumten Probenahmeflächen wurden Wurzelproben mit einem Wurzelbohrer (Durchmesser 8 cm, Fa. Eijkelkamp) in einer Tiefe von 0-30 cm in 6-facher Messwiederholung je Parzelle genommen. Die Klee/Gras-Wurzeln wurden unter Einwirkung von Druckluft und Wasserstrahlen in einer Wurzelwaschanlage aus dem Erdzylinder ausgespült und mit einem Sieb (1 mm) aufgefangen. Klee/Gras-Stoppel- und Wurzelproben wurden zur Bestimmung der Trockensubstanzgehalte bei 65°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Nach Vermahlen der getrockneten Pflanzenproben mit einer Labormühle (Fa. Tecator, 1 mm Sieb) wurde das Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie-Verfahren

(NIRS) angewendet, um die Qualitätsparameter Stickstoff, Kohlenstoff und Asche zu bestimmen (NIRS-Gerät 5000, Fa. FOSS). Die Auswertung der Reflexionswerte erfolgte mit dem Programmpaket WINISI (Fa. Infrasoftware International). Die qualitative Laboranalyse der Kalibrations- und der Validationsproben wurde mit dem C/N-Analyser Vario MAX CN (Fa. Elementar Analysensysteme) nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung nach DUMAS durchgeführt. Die Bestimmung der Aschegehalte in den Klee/Gras-Stoppel- und in den Wurzelproben erfolgte nach Veraschung im Muffelofen bei 550°C. Der folgenden Tabelle 3 sind die statistischen Kennzahlen der erstellten Kalibrations- und Validationsgleichungen zu entnehmen.

Tab. 3: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r²C: Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation)

Statistical characteristics of NIRS-calibration for N, C and ash (n: number of samples; MW: mean; SD: standard deviation; SEC: standard error of calibration; r²C: coefficient of determination of calibration; SEV: standard error of validation)

		Parameter	n	MW	Spannbreite	SD	SEC	r ² C	SEV
Klee/Gras	> 5 cm	N	134	2,77	0,94-4,99	0,99	0,10	0,99	0,16
		C	142	44,67	42,23-46,86	0,95	0,46	0,76	0,49
	< 5 cm	N	172	1,73	0,41-3,68	0,80	0,10	0,98	0,13
		C	174	37,60	15,57-46,58	6,33	1,31	0,96	1,74
		Asche	172	24,48	5,00-69,50	13,63	2,83	0,96	3,84
	Wurzeln	N	116	1,30	0,24-2,42	0,50	0,07	0,98	0,07
		C	113	30,89	6,31-45,06	8,43	0,98	0,99	0,95
		Asche	107	40,48	4,84-85,85	17,20	2,75	0,98	2,74

Die Bodenprobennahme zur Untersuchung des mineralischen Bodenstickstoffs (N_{min}) erfolgte am 23.07.1998 und in der ersten Oktoberdekade beider Versuchsjahre kurz vor Umbruch der Bestände. Je Parzelle wurden Bodenproben aus drei Einstichen mit einem Pürckhauer Bohrstock in einer Tiefe von 0-90 cm entnommen und bis zur Analyse bei -24 °C gelagert. Die Extraktion der Proben erfolgte feldfeucht mit einer 0,0125 mol CaCl₂-Lösung. Anschließend wurden die Nitrat- und die Ammonium-Konzentrationen mit einem Spektralphotometer (Fa. HITACHI) bestimmt und unter Berücksichtigung der Lagerungsdichte des Bodens die N_{min}-Menge pro Hektar ermittelt.

Die Bestimmung der Jahres-N₂-Fixierungsleistung erfolgte nach der erweiterten Differenzmethode (HAUSER 1987; LOGES 1998) unter Berücksichtigung des erntbaren (Sprossmasse) und des nicht erntbaren Pflanzen-Stickstoffs (Mulch, Stoppeln und

Wurzeln) sowie des mineralischen Boden-N-Gehaltes (N_{\min}) (Gleichung 3). Als nicht- N_2 -fixierender Referenzbestand diente ein gleich bewirtschafteter Deutsches Weidelgras-Reinbestand.

$$N_{\text{Leg-Ganzpflanze}} = N_{\text{Leg-Ertrag}} + N_{\text{Leg-Stoppeln/Mulch}} + N_{\text{Leg-Wurzeln}} \quad (1)$$

$$N_{\text{Ref-Ganzpflanze}} = N_{\text{Ref-Ertrag}} + N_{\text{Ref-Stoppeln/Mulch}} + N_{\text{Ref-Wurzeln}} \quad (2)$$

$$N_{\text{fix-erw}} = N_{\text{Leg-Ganzpflanze}} - N_{\text{Ref-Ganzpflanze}} + (N_{\min\text{-Leg}} - N_{\min\text{-Ref}}) \quad (3)$$

2.2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS[®] (ANONYM 1999) auf der Basis eines gemischten Modells (Prozedur MIXED) mit den Faktoren Klee/Gras-Saatmischung, Klee/Gras-Nutzung und Versuchsjahr sowie deren Interaktionen.

Vor Beginn der statistischen Datenanalyse wurde mit Hilfe eines Residuen-Schätzwertplots überprüft, ob Varianzhomogenität vorliegt. Für die in der Versuchspartizelle wiederholten, aber zeitlich versetzten Messungen der Klee/Gras-Einzelaufwüchse wurden heterogene Varianzen ermittelt. Es erfolgte eine Analyse mit getrennt berechneten Fehlervarianzen für die Einzelaufwüchse mit der SAS-Option „group“ im Statement „repeated“. Da die zeitliche Messwiederholung eine Abhängigkeit der Beobachtungen erwarten ließ, wurde die Kovarianzstruktur des Datensatzes überprüft (WOLFINGER 1993). Zwischen den einzelnen Klee/Gras-Aufwüchsen wurde jedoch kein korrelativer Zusammenhang ermittelt.

Mit der Anweisung „random“ wurde die Wiederholung innerhalb der Versuchsjahre ‚wdh(jahr)‘ als zufälliger Effekt in das statistische Modell aufgenommen. Die Varianzen wurden mittels F-Test bzw. Test of Effect Slices und die multiplen Mittelwertsvergleiche mittels T-Test mit anschließender Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach dem Bonferroni-Holm-Prinzip (HORN & VOLLANDT 1995) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% auf Signifikanz geprüft. Bei den angegebenen Mittelwerten handelt es sich um Least Square Means (LSM).

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Jahressprossmasse von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge

In den folgenden Ausführungen wird zwischen der potenziell erntbaren und der geernteten Sprossmasse unterschieden. Während sich die potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse aus der Summe der vier Aufwüchse zusammensetzt, beschreibt die geerntete Jahres-Sprossmasse das tatsächlich von der Fläche abgefahrenere Erntegut. Die Darstellung der Sprossmasse erfolgt als Trockenmasse (TM). Der Jahres-TM-Kleeanteil bezieht sich auf die potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse und stellt das gewogene Mittel aus Einzelaufwuchs-Kleeanteil und entsprechender Einzelaufwuchs-Trockenmasse dar.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen signifikante Effekte der Hauptfaktoren Saatmischung und Nutzungssystem auf nahezu alle betrachteten Parameter (Tab. 4). Ohne Einfluss ist lediglich der Faktor Saatmischung auf den Kleeanteil und der Faktor Nutzungssystem auf die potenziell erntbare Gras-Jahres-Sprossmasse bzw. auf die Gras-Jahres-N-Menge.

Tab. 4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Jahres-Sprossmasse (TM) und für die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras

F-values and levels of significance of ANOVA for shoot dry matter and for nitrogen in the shoot of red clover and grass

Varianz- ursache	Jahres-Sprossmasse (TM)				geerntet Gesamt	Jahres-N-Menge			geerntet Gesamt
	Gesamt	potenziell erntbar		Kleeanteil		Gesamt	Klee	Gras	
mi	216,1***	68,9***	10,8**	ns	109,9***	358,1***	158,8***	62,9***	206,3***
sys	21,9***	34,2***	ns	44,0***	536,7***	14,4***	18,3***	ns	614,3***
j	ns	ns	29,8**	10,8*	ns	ns	ns	12,8*	ns
mi*sys	3,4*	ns	ns	ns	36,9***	3,0*	ns	ns	51,2***
mi*j	ns	ns	6,0*	ns	ns	ns	4,5*	11,2***	ns
sys*j	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
mi*sys*j	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

TM= Trockenmasse, mi= Saatmischung, sys= Nutzungssystem, j= Jahr;
Signifikanzniveaus aus dem F-Test mit ns: nicht signifikant ($P \geq 5\%$), *: signifikant ($5\% > P \geq 1\%$), **: hoch signifikant ($1\% > P \geq 0,1\%$), ***: höchst signifikant ($P < 0,1\%$)

In den Tabellen 5 und 6 sind die Schätzwerte (Least Squares Means) zur Jahres-Sprossmassebildung bzw. zur Jahres-N-Akkumulation in der Sprossmasse dargestellt. Ausführungen zum Jahreseinfluss werden vernachlässigt, da die Mehrfachwechselwirkung zwischen Jahr, Nutzung und Saatmischung nicht gesichert ist.

Im Mittel der Nutzungsformen unterscheiden sich die Saatmischungen mit Klee nicht in ihrer potenziell erntbaren Gesamt-Jahres-Sprossmasse, wohl aber hinsichtlich ihrer potenziell erntbaren Gesamt-Jahres-N-Menge (Tab. 5). Während die potenzielle Gesamt-Jahres-Sprossmasse der kleehaltigen Saatmischungen durchschnittlich 1408 g TM m⁻² ergibt und sich gleichgerichtet signifikant von der Produktivität der Dt. Weidelgras-Bestände abhebt, sinkt mit abnehmenden Saatmischungskleeanteil die potenzielle Gesamt-Jahres-N-Menge. Die Gesamt-N-Akkumulation in der Sprossmasse der kleehaltigen Saatmischungen ist im Vergleich zu der Gras-Reinsaat um ein Vielfaches erhöht (Tab. 5).

Tab. 5: Einfluss der Saatmischung auf die Jahres-Sprossmasse (TM) bzw. auf die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras im Mittel der Nutzungssysteme und der Jahre

Effect of seed-mixture on shoot dry matter and on nitrogen in the shoot of red clover and grass averaged by defoliation system and year

Faktor / Faktorstufe		potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				potenziell erntbare Jahres-N-Menge [g N m ⁻²]		
		Gesamt (n= 72)	Klee (n= 54)	Gras (n= 54)	Kleeanteil ¹⁾ [%] (n= 36)	Gesamt (n= 72)	Klee (n= 54)	Gras (n= 54)
Saat- mischung	100% RK	1447,8 ^a	1447,8 ^a	-	-	46,53 ^a	46,53 ^a	-
	67% RK + 33% DW	1420,1 ^a	780,9 ^b	639,2 ^a	54,25	36,82 ^b	24,48 ^b	12,24 ^a
	33% RK + 67% DW	1356,9 ^a	803,6 ^b	553,4 ^b	58,30	33,59 ^c	24,32 ^b	9,25 ^b
	100% DW	519,4 ^b	-	519,4 ^b	-	6,34 ^d	-	6,34 ^c
	SE / Sign.	30,4 ^{***}	46,5 ^{***}	21,4 ^{**}	2,39 ^{ns}	1,20 ^{***}	1,32 ^{***}	0,43 ^{***}

¹⁾Kleeanteil in % der Trockenmasse, gewogene Mittelwerte aus vier Aufwüchsen; SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) mit Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach Bonferroni-Holm, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit P < 5%

Auch bezüglich der Gemengepartnerleistung („Teilerträge“) zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Saatmischungen (Tab. 5). Der Gemengepartner Gras erzielt in der kleebetonten Ansaat gegenüber der grasbetonten Saatmischung sowohl eine höhere Sprossmassebildung als auch eine höhere N-Menge in der Sprossmasse. Die Variation des Kleeanteils in der Saatmischung hat jedoch keinen Einfluss auf den realisierten Kleeanteil in der Sprossmasse, der im Mittel der beiden Klee-gras-Saatmischungen 56% beträgt. Ebenso unterscheiden sich Klee-Sprossmasse und Klee-N-Menge der beiden Gemenge nicht voneinander.

Die Betrachtung des Faktors Nutzungssystem im Mittel der Saatmischungen in Tabelle 6 zeigt, dass sich die 3-Schnitt/1x Mulch-genutzten Bestände (S) und die, die nur im ersten und im zweiten Aufwuchs schnittgenutzt wurden (S+GD) hinsichtlich

der Parameter potenziell erntbare Gesamt-Jahres-Sprossmasse bzw. Gesamt-Jahres-N-Menge, Klee-Sprossmasse bzw. Klee-N-Menge und Kleeanteil nicht unterscheiden, gegenüber den ausschließlich gemulchten Gründungs-Beständen (GD) aber ausnahmslos eine höhere Produktivität erzielen. So ist in den Varianten mit Schnitvorgängen (S und S+GD) die Gesamt-Jahres-Sprossmasse bzw. die -N-Menge um 16% und der Kleeanteil mit durchschnittlich 61% um 14 Prozentpunkte höher im Vergleich zu GD. Währenddessen ist die Gras-Sprossmasse bzw. deren N-Menge von der Nutzungsform unbeeinflusst.

Tab. 6: Einfluss des Nutzungssystems auf die Jahres-Sprossmasse (TM) bzw. auf die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras im Mittel der Saadmischungen und der Jahre

Effect of defoliation system on shoot dry matter and on nitrogen in the shoot of red clover and grass averaged by seed-mixture and year

Faktor / Faktorstufe		Jahres-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				geerntet
		potenziell erntbar				
		Gesamt (n= 72)	Klee (n= 54)	Gras (n= 54)	Kleeanteil ¹⁾ [%] (n= 36)	Gesamt (n= 48)
Nutzungs- system	S	1260,0 ^a	1124,2 ^a	555,9	61,40 ^a	1206,3 ^a
	S+GD	1244,1 ^a	1099,3 ^a	559,5	60,39 ^a	889,9 ^b
	GD	1054,0 ^b	808,8 ^b	596,6	47,04 ^b	-
	SE / Sign.	25,1 ^{***}	37,0 ^{***}	20,8 ^{ns}	2,26 ^{***}	20,3 ^{***}

Faktor / Faktorstufe		Jahres-N-Menge [g N m ⁻²]			geerntet
		potenziell erntbar			
		Gesamt (n= 72)	Klee (n= 54)	Gras (n= 54)	Gesamt (n= 48)
Nutzungs- system	S	32,90 ^a	34,92 ^a	8,95	30,76 ^a
	S+GD	32,19 ^a	33,84 ^a	9,12	21,91 ^b
	GD	27,36 ^b	26,57 ^b	9,77	-
	SE / Sign.	1,11 ^{***}	1,35 ^{***}	0,43 ^{ns}	0,81 ^{***}

¹⁾Kleeanteil in % der Trockenmasse, gewogene Mittelwerte aus vier Aufwüchsen; SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Während durch die Nutzungsform S (3-Schnitte + 1x Mulchen) 96% der potenziell erntbaren Jahres-Sprossmasse (1206 g m⁻²) und 94% der potenziell erntbaren Jahres-N-Menge (30,8 g m⁻²) von der Fläche geerntet werden, können durch das Nutzungssystem S+GD (2-Schnitte + 2x Mulchen) noch 72% der potenziell erntbaren Jahres-Sprossmasse (890 g m⁻²) und 68% der potenziell erntbaren Jahres-N-Menge (21,9 g m⁻²) konserviert werden.

Die in der Hauptfaktorwirkung festgestellte Unabhängigkeit der Grasproduktivität vom Nutzungssystem spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Wechselwirkung

Saatmischung*Nutzungssystem bezüglich der Gesamt-Jahres-Sprossmassebildung wieder (Abb. 1). Die Nutzungsform GD, die hinsichtlich der Sprossmasseproduktivität negativ wirkt, beeinflusst nicht die Gras-Reinbestände und ist auf die kleehaltigen Saatmischungen beschränkt. Dabei ist die Ausprägung der Sprossmasse-Abnahme unter Gründüngung in den Klee-Gras-Gemengen stärker (-313 g TM m⁻²) als bei den Rotklee-Reinsaaten (-182 g TM m⁻²).

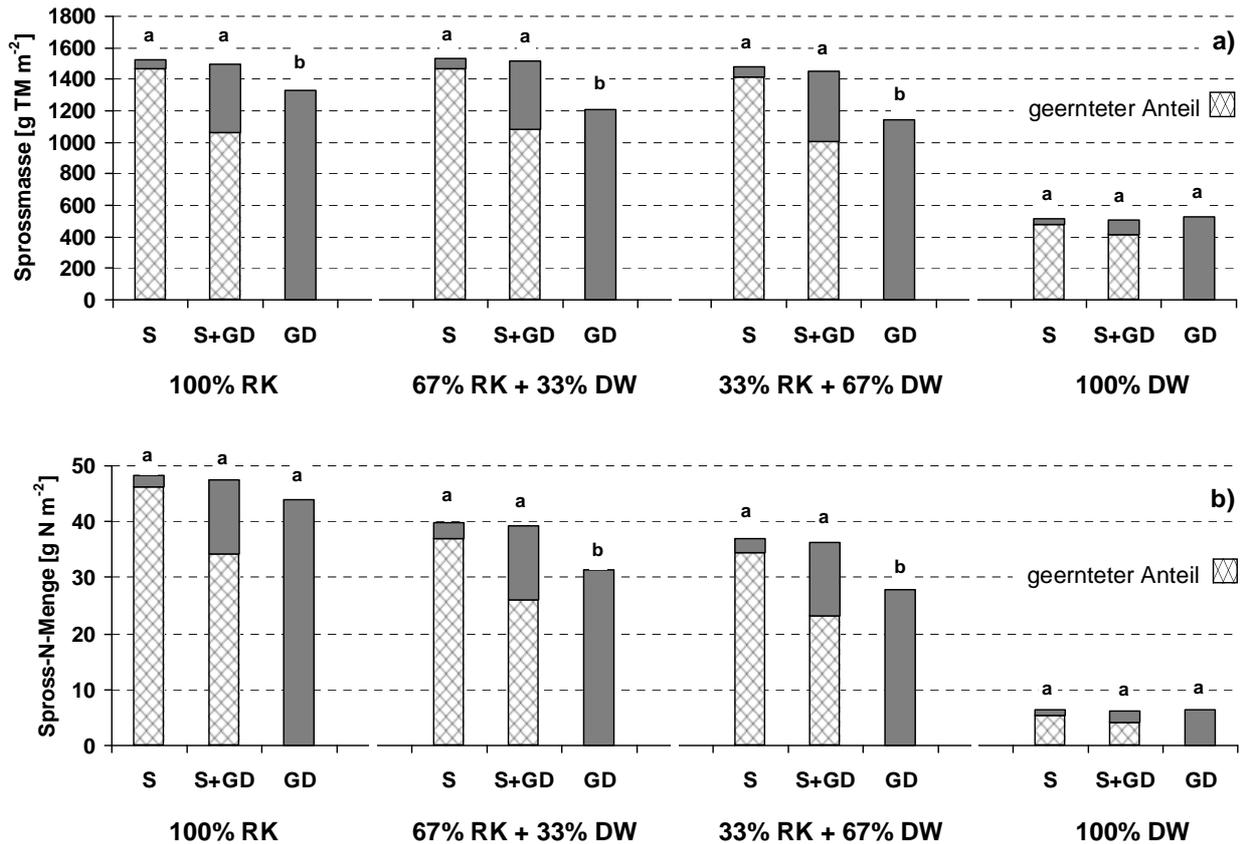


Abb. 1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) Jahres-Sprossmasse ($P= 0,0112$, $SE= 50,2$) und b) Jahres-N-Menge in der Sprossmasse ($P= 0,0170$, $SE= 1,7$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$

*Impact of seed-mixture*defoliation system interaction on a) dry matter ($P= 0.0112$, $SE= 50.2$) and b) N-accumulation in the shoot ($P= 0.0170$, $SE= 1.7$); comparison of mean values (T-Test) within seed-mixture, bars with different letters are significantly different at $P < 5\%$*

Hinsichtlich der Gesamt-Jahres-N-Menge zeigt die Darstellung der Wechselwirkung zwischen Nutzungssystem und Saatmischung (Abb. 1), dass sowohl die Rotklee-Reinsaaten als auch die Gras-Reinsaaten in ihrer N-Akkumulation nicht durch die Variation der Bewirtschaftung beeinflusst werden, wohl aber die Klee-Gras-Gemenge.

Durch ausschließliches Mulchen (GD) der Gemenge konnte rund 8,6 g m⁻² weniger N im Jahresaufwuchs festgestellt werden.

Festzuhalten ist, dass die Nutzungsform Gründüngung (GD) gegenüber Nutzungen mit Schnitvorgängen (S und S+GD) in Beständen mit Klee zu einer verringerten Jahres-Sprossmassebildung führt und in Klee-gras-Gemengen eine niedrigere Jahres-N-Menge in der Sprossmasse erzeugt.

2.3.2 Sprossmasse der Einzelaufwüchse

Der Tabelle 7 ist der Einfluss des Aufwuchses und der Versuchsfaktoren sowie deren Interaktionen auf die Varianz der untersuchten Parameter zu entnehmen. In der statistischen Analyse wurden aufgrund von Varianzheterogenität unterschiedliche Fehlervarianzen je Aufwuchs berechnet. Wegen der Vollständigkeit des statistischen Modells werden in der Tabelle 7 auch die Ergebnisse aufgeführt, die den Einfluss der Versuchsfaktoren auf die untersuchten Merkmale im arithmetischen Mittel der Aufwüchse beschreiben, obwohl sie pflanzenbaulich nicht relevant sind.

Tab. 7: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge und den Kleeanteil der Einzelaufwüchse

Source of variance and levels of significance for dry matter, N-accumulation in the shoot and clover content related to growth

Varianz- ursache	Einzelaufwuchs-Produktivität						
	potenziell erntbare Sprossmasse (TM)				potenziell erntbare N-Menge		
	Gesamt	Klee	Gras	Kleeanteil	Gesamt	Klee	Gras
aufw	3076,4***	770,7***	463,1***	97,8***	1156,0***	814,2***	180,0***
aufw*j	144,3***	48,5***	12,2***	11,1***	131,3***	67,0***	19,1***
aufw*sys	9,0***	11,1***	ns	8,8***	7,8***	10,2***	ns
aufw*mi	84,4***	37,7***	2,8*	3,8*	104,3***	43,3***	8,3***
aufw*j*sys	ns	ns	ns	ns	ns	ns	3,0*
aufw*j*mi	13,1***	8,8***	ns	ns	20,0***	13,4***	2,54*
aufw*sys*mi	2,04*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
aufw*j*sys*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
mi	243,8***	118,6***	8,1***	ns	320,4***	125,7***	49,1***
sys	21,5***	25,4***	ns	24,6***	13,2***	15,9***	ns
j	ns	8,1**	41,3***	91,6***	ns	10,9**	12,1*
mi*sys	3,3**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
mi*j	ns	4,0*	4,5*	ns	ns	3,6*	8,8***
sys*j	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
mi*sys*j	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

TM= Trockenmasse, mi= Saatmischung, sys= Nutzungssystem, j= Jahr, aufw= Aufwuchs, Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4)

Die Saatmischung beeinflusst die Sprossmasse- und N-Produktivität der Klee/Gras-Bestände in den einzelnen Aufwüchsen (Tab. 8). Im ersten Aufwuchs ist die Gesamt-Sprossmasse der Klee gras-Gemenge (583 g TM m⁻² bzw. 547 g TM m⁻²) größer als die der Rotklee- bzw. Gras-Reinsaaten, gleichzeitig ist jedoch die N-Menge niedriger als bei den Rotklee-Reinsaaten. Im zweiten Aufwuchs erreichen die Rotklee-Reinsaaten ihre höchste TM- bzw. N-Produktivität (571 g TM m⁻² bzw. 17,8 g N m⁻²).

Tab. 8: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwüchse von Rotklee und Gras für den Faktor Saatmischung im Mittel der Nutzungssysteme und der Jahre (Interaktion Saatmischung* Aufwuchs)

Dry matter and N-accumulation in the shoot of red clover and grass related to growth and seed-mixture averaged by defoliation system and year (seed-mixture growth interaction)*

Gesamt (n= 288)	Gesamt-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gesamt-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
100% RK	454,5 ^c	571,7 ^a	385,1 ^a	36,5 ^b	15,72 ^a	17,84 ^a	11,35 ^a	1,62 ^c
67% RK + 33% DW	583,1 ^a	429,5 ^b	346,2 ^a	61,3 ^a	13,82 ^b	10,82 ^b	9,79 ^b	2,39 ^a
33% RK + 67% DW	546,9 ^b	416,0 ^b	340,0 ^a	53,9 ^a	11,48 ^c	10,76 ^b	9,31 ^b	2,04 ^b
100% DW	320,8 ^d	99,1 ^c	69,6 ^b	29,8 ^b	3,22 ^d	1,06 ^c	1,24 ^c	0,83 ^d
SE / Sign.	9,2 ^{***}	22,6 ^{***}	14,5 ^{***}	3,0 ^{***}	0,39 ^{***}	0,80 ^{***}	0,39 ^{***}	0,09 ^{***}

Gras (n= 216)	Gras-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gras-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
100% RK	-	-	-	-	-	-	-	-
67% RK + 33% DW	352,4	178,4 ^a	75,7	32,7	5,88 ^a	3,22 ^a	1,98 ^a	1,16
33% RK + 67% DW	332,5	123,8 ^b	65,7	31,4	4,50 ^b	2,04 ^b	1,63 ^{ab}	1,08
100% DW	320,8	99,1 ^b	69,6	29,8	3,22 ^c	1,06 ^c	1,24 ^b	0,83
SE / Sign.	14,6ns	14,1 ^{**}	6,5ns	3,2ns	0,25 ^{***}	0,30 ^{***}	0,15 ^{**}	0,12ns

Klee (n= 216)	Klee-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Klee-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
100% RK	454,5 ^a	571,7 ^a	385,1 ^a	36,5 ^a	15,72 ^a	17,84 ^a	11,35 ^a	1,62 ^a
67% RK + 33% DW	230,8 ^b	251,1 ^b	270,5 ^b	28,6 ^b	7,93 ^b	7,47 ^b	7,81 ^b	1,26 ^b
33% RK + 67% DW	214,5 ^b	292,3 ^b	274,3 ^b	22,5 ^c	6,98 ^b	8,72 ^b	7,66 ^b	0,96 ^c
100% DW	-	-	-	-	-	-	-	-
SE / Sign.	16,6 ^{***}	26,7 ^{***}	14,9 ^{***}	1,5 ^{***}	0,52 ^{***}	0,92 ^{***}	0,38 ^{***}	0,07 ^{***}

Kleeanteil (n= 144)	Kleeanteil [% d. TM]			
	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
100% RK	-	-	-	-
67% RK + 33% DW	38,81	59,06 ^b	75,64	53,66 ^a
33% RK + 67% DW	37,87	69,92 ^a	76,98	47,11 ^b
100% DW	-	-	-	-
SE / Sign.	3,07ns	3,02 [*]	1,94ns	2,28 [*]

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (slice= Aufwuchs) (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich für jeden Aufwuchs vgl. Tab. 5

Charakteristisch für den ersten Aufwuchs ist die gegenüber den folgenden Aufwüchsen wesentlich höhere Gras-Sprossmasse und -N-Menge und der zugleich niedrigste Klee-TM-Anteil (38%). Im ersten und im dritten Aufwuchs ist der Klee-TM-Anteil unbeeinflusst von dem Saatmischungskleeanteil. Allerdings wird im dritten Aufwuchs mit 76% ein doppelt so hoher Klee-TM-Anteil erzielt.

Die beiden Klee-gras-Gemenge unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihrer Klee-Sprossmasse und -N-Menge in den die Jahresproduktivität bestimmenden ersten drei Aufwüchsen. Jedoch ist im zweiten Aufwuchs der Klee-TM-Anteil der kleebetonten Saatmischung (67% RK + 33% DW) signifikant niedriger (59%) als der des grasbetonten Gemenges (33% RK + 67% DW) (70%), bedingt durch eine größere Gras-Sprossmasse in der kleestarken Saatmischung. Die TM- und die N-Produktivität der Rotklee-Reinsaaten hebt sich in allen vier Aufwüchsen signifikant von der Klee-Teilproduktivität der Gemenge ab.

In der Tabelle 9 ist die Bedeutung des Nutzungssystems für die Sprossmasse- und für die N-Produktivität der Klee/Gras-Bestände dargestellt. Bis zur Nutzung des ersten Aufwuchses unterscheiden sich die Klee/Gras-Bestände nur hinsichtlich ihrer Saatmischung, jedoch nicht in der Bewirtschaftung. Insofern wird die Sprossmasse- und die N-Produktivität des ersten Aufwuchses durch einen mittleren, repräsentativen Wert beschrieben. Gleiches gilt für den zweiten und den dritten Aufwuchs der Bewirtschaftungsformen mit Schnittvorgängen (S und S+GD). Das Nutzungssystem S+GD differenziert sich erst durch das Mulchen des dritten Aufwuchses vom Nutzungssystem S, dessen dritter Aufwuchs schnittgenutzt wird.

Die schnittgenutzten Varianten erzeugen mit dem ersten und zweiten Aufwuchs 890 g TM m⁻² bzw. 21,9 g N m⁻² und demzufolge 71% bzw. 67% der potenziell erntbaren Gesamt-Jahres-Sprossmasse bzw. der -N-Menge. Sowohl im zweiten als auch im dritten Aufwuchs ist die Gesamt-TM- und die -N-Produktivität der gemulchten Klee/Gras-Bestände (GD) gegenüber den schnittgenutzten signifikant niedriger. Während die Variante GD im zweiten Aufwuchs 310 g TM m⁻² und 8,7 g N m⁻² erzeugt und damit gegenüber den schnittgenutzten Beständen 25% weniger Gesamt-TM bzw. 20% weniger Gesamt-N bildet, vermindert sich die Gesamt-TM- bzw. die N-Produktivität im dritten Aufwuchs sogar um 30% bzw. 31%. Auch im ertragsschwachen vierten Aufwuchs, der nur 4% bzw. 6% der Gesamt-Jahres-Sprossmasse bzw. der -N-Menge ausmacht, dokumentiert sich die geringere Leistungsfähigkeit gemulchter Klee/Gras-Bestände im Vergleich zu schnittgenutzten.

Nach Mulchen des dritten Aufwuchses im bislang ausschließlich schnittgenutzten Nutzungssystem S+GD ist im vierten Aufwuchs nicht nur die Gesamt-Sprossmassebildung, sondern auch die Gesamt-N-Menge um rund ein Drittel gegenüber der weiterhin schnittgenutzten Variante (S) signifikant erniedrigt. Die TM- und die N-Bildung der Bestände mit kombinierter Nutzung S+GD entspricht somit im vierten Aufwuchs der Produktivität der Gründüngung (GD).

Tab. 9: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwüchse von Rotklee und Gras für den Faktor Nutzungssystem im Mittel der Saatmischungen und der Jahre (Interaktion Nutzungssystem*Aufwuchs)

*Dry matter and N-accumulation in the shoot of red clover and grass related to growth and defoliation system averaged by seed-mixture and year (defoliation syst. *growth interaction)*

Gesamt (n= 288)	Gesamt-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gesamt-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
S	476,3	413,6 ^a	316,4 ^a	53,7 ^a	11,06	10,85 ^a	8,84 ^a	2,15 ^a
S+GD	476,3	413,6 ^a	316,4 ^a	37,8 ^b	11,06	10,85 ^a	8,84 ^a	1,45 ^b
GD	476,3	310,1 ^b	222,9 ^b	44,6 ^b	11,06	8,66 ^b	6,08 ^b	1,56 ^b
SE/sign.	8,0ns	19,6***	12,6***	2,6***	0,33ns	0,69*	0,33***	0,09***

Gras (n= 216)	Gras-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gras-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
S	335,2	129,7	65,7	25,3 ^b	4,54	2,03	1,56	0,82 ^b
S+GD	335,2	129,7	65,7	28,9 ^b	4,54	2,03	1,56	0,99 ^{ab}
GD	335,2	141,9	79,7	39,8 ^a	4,54	2,26	1,72	1,26 ^a
SE / Sign.	14,6ns	14,1ns	6,5ns	3,2**	0,25ns	0,30ns	0,15ns	0,12*

Klee (n= 216)	Klee-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Klee-N-Menge [g N m ⁻²]			
	Aufwuchs				Aufwuchs			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
S	299,9	421,7 ^a	356,2 ^a	46,4 ^a	10,21	12,44 ^a	10,23 ^a	2,04 ^a
S+GD	299,9	421,7 ^a	356,2 ^a	21,5 ^b	10,21	12,44 ^a	10,23 ^a	0,96 ^b
GD	299,9	271,6 ^b	217,5 ^b	19,7 ^b	10,21	9,15 ^b	6,37 ^b	0,84 ^b
SE / Sign.	16,6ns	26,7***	14,9***	1,5***	0,52ns	0,92***	0,38***	0,07***

Kleeanteil (n= 144)	Kleeanteil [% d. TM]			
	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
S	38,34	69,83 ^a	83,03 ^a	71,04 ^a
S+GD	38,34	69,83 ^a	83,03 ^a	43,59 ^b
GD	38,34	53,83 ^b	62,88 ^b	36,52 ^b
SE / Sign.	3,81ns	3,75**	2,45***	2,86***

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (slice= Aufwuchs) (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich für jeden Aufwuchs vgl. Tab. 5

Primär sind die TM- bzw. die N-Produktivitätseinbußen unter Mulchnutzung auf den Rückgang der Klee-Produktivität zurückzuführen. Während die Gras-Sprossmasse im zweiten und im dritten Aufwuchs nicht signifikant vom Nutzungssystem beeinflusst

wird, ist die Klee-Sprossmasse unter Gründüngung (GD) im zweiten und im dritten Aufwuchs um 36% bzw. 39% und die Klee-Spross-N-Menge um 27% bzw. 38% im Vergleich zu den schnittgenutzten Varianten (S und S+GD) verringert. Parallel dazu ist auch der Klee-TM-Anteil reduziert: im zweiten Aufwuchs um 16 Prozentpunkte und im dritten Aufwuchs um 20 Prozentpunkte. Der höchste Klee-TM-Anteil wird für die Varianten S bzw. S+GD im dritten Aufwuchs realisiert (83%). Im vierten Aufwuchs liegt die Klee-TM- und die -N-Produktivität sowie der Klee-TM-Anteil der bislang schnittgenutzten Bestände (S) signifikant über der Produktivität der Bestände, die bis zu diesem Termin einen oder mehrere Mulchvorgänge erfahren haben (S+GD, GD). Wenn auch im zweiten und im dritten Aufwuchs der Einfluss der Nutzungssysteme auf die Gras-Teilleistungen nicht gesichert ist (Tab. 9), zeigt sich dennoch ein Trend zu eher höheren Gras-TM- und -N-Mengen unter Gründüngung (GD), der schließlich im vierten Aufwuchs statistisch abgesichert werden kann und sich auch in der Jahresproduktivität widerspiegelt (Tab. 6). Abbildung 2 veranschaulicht den Einfluss der Nutzung auf die Klee- und auf die Gras-TM-Anteile der einzelnen Aufwüchse.

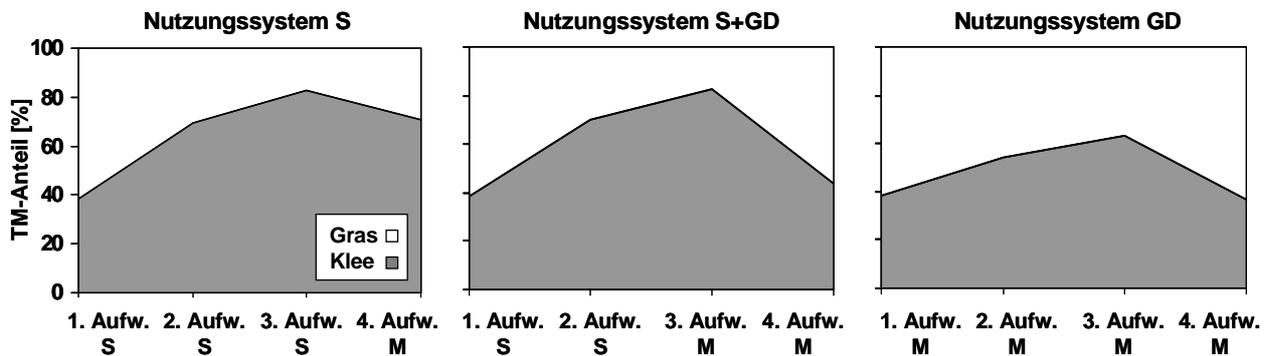


Abb. 2: Darstellung der Klee- und Gras-TM-Anteile [%] der Klee-Gras-Gemenge in Abhängigkeit von dem Aufwuchs (Aufw.) und von der Nutzung (S= Schnittgutabfuhr, M= Mulchen)

Grass and clover contents [%] of grass-clover mixtures affected by growth and defoliation system (S= cut; M= mulched)

Die zuvor beschriebene eindeutige Wirkung der Hauptfaktoren auf die TM- und auf die N-Produktivität zeigt sich auch in der Dreifachwechselwirkung zwischen Nutzungssystem, Saatmischung und Aufwuchs. Dabei wird durch die Darstellung dieser Mehrfachwechselwirkung in der Abbildung 3 bzw. in der Anhangstabelle 2 erst deutlich, dass der Faktor Nutzungssystem in keinem Aufwuchs einen Effekt auf die Ertragsleistung der Deutsch Weidelgras-Reinsaaten ausübt, sondern dessen Wirkung in unterschiedlicher Ausprägung ausschließlich Saatmischungen mit Klee betrifft (Tab. A2). So ist die in Tabelle 9 bereits festgestellte Abnahme der Gesamt-

TM- und der -N-Produktivität unter Gründüngung bei den Rotklee-Reinsaaten erst im vierten Aufwuchs signifikant, während schon im zweiten Aufwuchs die kleebetonte Mischung (67% RK + 33% DW) und im dritten Aufwuchs beide Klee gras-Gemenge mit einem signifikanten TM- und N-Mengenrückgang reagieren (Tab. A2).

Tabelle 8 zufolge bewirkt der Hauptfaktor Saatmischung im Hinblick auf die Gesamt-Sprossmasse im dritten Aufwuchs keine Unterschiede zwischen den Saatmischungen mit Klee. Hinsichtlich der Mehrfachinteraktion (Abb. 3) gilt dieses allerdings nur für die schnittgenutzten Varianten (S & S+GD) und nicht für die Gründüngung (GD), da sich hier die Rotklee-Reinsaat signifikant von der grasbetonten Mischung (33% RK + 67% DW) in ihrer Gesamt-TM unterscheidet.

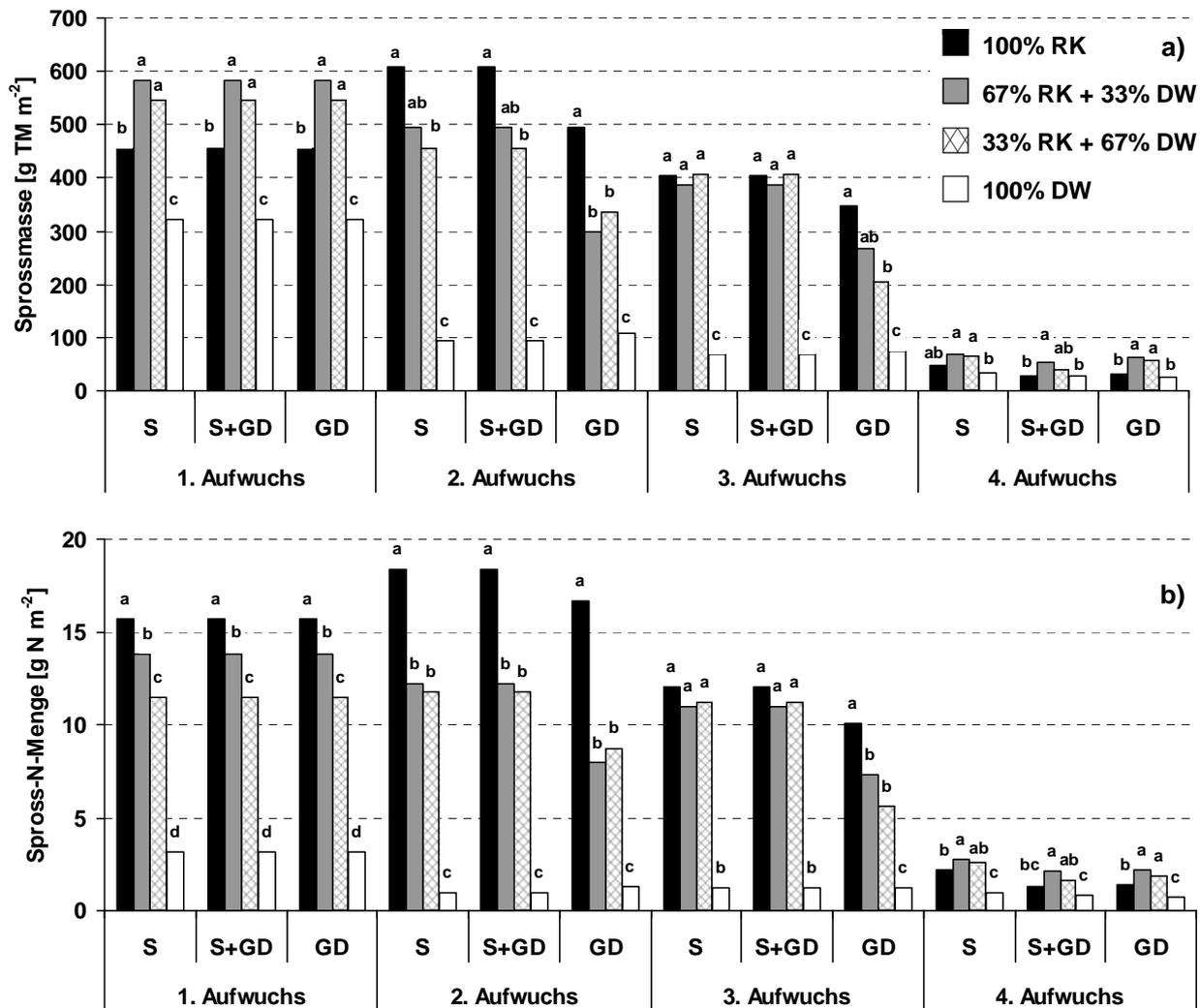


Abb. 3: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzung*Aufwuchs für die a) potenziell erntbare Sprossmasse (P= 0,0237) und b) Spross-N-Menge (P= 0,0618); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jedes Nutzungssystem innerhalb eines Aufwuchses (SE s. Tab. A2)

*Impact of seed-mixture*defoliation system*growth interaction on a) dry-matter (P= 0.0237) and b) shoot-N-accumulation (P= 0.0618); comparison of means (T-Test) for each defoliation system within growth*

Im Hinblick auf die Gesamt-N-Menge zeigt der Faktor Saatmischung im dritten Aufwuchs einen signifikanten Unterschied zwischen der Rotklee-Reinsaat und den Gemengen (Tab. 8), der in Bezug auf die Mehrfachwechselwirkung nur innerhalb der Nutzungsform Gründüngung wiederzufinden ist (Abb. 3).

2.3.3 N₂-Fixierungsleistung und nicht erntbarer Stickstoff

Im folgenden wird die Jahres-N₂-Fixierungsleistung, die Stickstoff-(N)-Menge der gemulchten Aufwüchse (Mulch-N-Menge), die N-Menge der Residuen und der Boden-N_{min}-Gehalt zum Herbstumbruch (Oktober) dargestellt. Die Parameter Mulch-N-Menge, Residuen-N-Menge und Boden-N_{min}-Gehalt charakterisieren den auf der Fläche verbliebenen, nicht erntbaren Stickstoff. Während die Mulch-N-Menge die zu den Nutzungszeitpunkten anfallende N-Menge im gemulchten Aufwuchs beschreibt (S: 4. Aufwuchs; S+GD: 3. + 4. Aufwuchs; GD: Summe der vier Aufwüchse), stellt die Residuen-N-Menge die zum Zeitpunkt des Herbstumbruchs auf der Fläche ermittelte N-Menge der Klee/Gras-Rückstände (gemulchter 4. Aufwuchs + Stoppeln + Wurzeln und je nach Nutzungssystem auch Altmulch vorheriger Aufwüchse) dar. In der statistischen Analyse werden aufgrund von Varianzheterogenität für die Mulch-N-Mengen unterschiedliche Fehlervarianzen je Nutzungssystem berechnet.

Tab. 10: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die N₂-Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N_{min}-Gehalt

Source of variance and levels of significance for N₂-fixation, amount of nitrogen in mulch and residues and mineral soil N

Varianzursache	Jahres-N ₂ -Fixierung	Mulch-N-Menge	Residuen-N-Menge	Boden-N _{min} -Gehalt
mi	15,4***	89,5***	10,24***	33,4***
sys	208,2***	531,2***	8,48**	ns
j	ns	ns	42,93***	301,2***
mi*sys	6,9***	46,1***	ns	2,7*
mi*j	ns	ns	ns	ns
sys*j	ns	ns	4,44*	ns
mi*sys*j	ns	ns	ns	ns

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), mi= Saatmischung, sys= Nutzungssystem, j= Jahr

Die Ergebnisse der ANOVA in Tabelle 10 zeigen, dass die Varianz der untersuchten Parameter sowohl durch die Hauptfaktoren Saatmischung und Nutzungssystem als auch durch deren Interaktion signifikant beeinflusst wird. Eine Ausnahme bildet die Wirkung des Hauptfaktors Nutzungssystem auf den Boden-N_{min}-Gehalt und der Einfluss der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem auf die Residuen-N-Menge.

Die nach der erweiterten Differenzmethode ermittelten Jahres-N₂-Fixierungsleistungen der beiden Klee gras-Gemenge unterscheiden sich nicht (Tab. 11). Dagegen hebt sich die Jahres-N₂-Fixierungsleistung der Rotklee-Reinsaaten mit 28,4 g N m⁻² signifikant um 6,0 g N m⁻² von der mittleren Fixierungsleistung der Klee gras-Gemenge ab. Allerdings zeigt die Interaktion zwischen Saatmischung und Nutzungssystem (Abb. 4a), dass Rotklee-Reinsaaten nur in Verbindung mit Schnittvorgängen in der Nutzung (S und S+GD) signifikant höhere N₂-Fixierungsleistungen erzielen. So werden von Rotklee-Reinsaaten in der Variante S (3-Schnitte + 1x Mulchen) 7,0 g N m⁻² und in S+GD (2-Schnitte + 2x Mulchen) 10 g N m⁻² mehr fixiert als von den entsprechend bewirtschafteten Klee gras-Gemengen. Unter Gründung (GD) ist die Jahres-N₂-Fixierungsleistung aller Saatmischungen deutlich erniedrigt und liegt mit 6,5 g N m⁻² auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau (Tab. 11 und Abb. 4a).

Tab. 11: Bedeutung der Hauptfaktoren für die N₂-Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N_{min}-Gehalt im zweijährigen Mittel

Impact of main effects on the amount of N₂-fixation, nitrogen in mulch and residues and mineral soil N

Faktor / Faktorstufe		N ₂ - Fixierung [g m ⁻²] (n= 54)	Mulch- N-Menge [g m ⁻²] (n= 72)	Residuen- N-Menge [g m ⁻²] (n= 72)	Boden- N _{min} -Gehalt [kg ha ⁻¹] (n= 72)
Saat- mischung	100% RK	28,38 ^a	19,80 ^a	13,62 ^{bc}	53,58 ^a
	67% RK + 33% DW	23,12 ^b	15,77 ^b	15,78 ^{ab}	35,17 ^b
	33% RK + 67% DW	21,62 ^b	14,33 ^b	16,60 ^a	30,64 ^{bc}
	100% DW	-	3,15 ^c	11,52 ^c	26,50 ^c
	SE / Sign.	1,09 ^{***}	0,75 ^{***}	0,72 ^{***}	2,07 ^{***}
Nutzungs- system	S	37,03 ^a	2,15 ^c	13,07 ^b	33,42
	S+GD	29,59 ^b	10,29 ^b	14,33 ^{ab}	38,42
	GD	6,50 ^c	27,36 ^a	15,75 ^a	37,57
	SE / Sign.	1,20 ^{***}	¹⁾ ***	0,52 ^{**}	1,79 ^{ns}

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5; ¹⁾Berechnung verschiedener Standardfehler für S (SE= 0,07), S+GD (SE= 0,35) und GD (SE= 1,07)

Im Mittel der Nutzungssysteme bewirkt das Saatmischungsverhältnis, dass Rotklee-Reinsaaten signifikant mehr Mulch-N als Klee gras-Gemenge produzieren, während Klee gras-Gemenge indessen ein Vielfaches an Mulch-N gegenüber Gras-Reinsaaten produzieren (Tab. 11). In der Wechselwirkung zeigt sich dieses Bild jedoch nur für das Nutzungssystem GD (Abb. 4b), dessen vier Aufwüchse die Mulch-N-Menge bilden. Die im System S+GD aus zwei Aufwüchsen stammende Mulch-N-Menge ist

in den Saatmischungen mit Klee gleich. Sie beinhaltet durchschnittlich $13,1 \text{ g N m}^{-2}$ und ist gegenüber der Gras-Reinsaat ($2,0 \text{ g N m}^{-2}$) signifikant erhöht. Die Mulch-N-Menge der Nutzungsform S (4. Aufwuchs) beträgt lediglich 8% der Mulch-N-Menge von GD (Tab. 11).

Auch wenn in der Tabelle 11 der Hauptfaktor Saatmischung für die Rotklee-Reinsaat die höchste Mulch-N-Menge ausweist ($19,8 \text{ g N m}^{-2}$), ist die schließlich festgestellte Residuen-N-Akkumulation deutlich geringer ($13,6 \text{ g N m}^{-2}$) und sogar gegenüber der Residuen-N-Menge der grasbetonten Mischung (33% RK + 67% DW) signifikant erniedrigt. Dagegen hebt sich der zum selben Zeitpunkt festgestellte Boden- N_{\min} -Gehalt unter Rotklee-Reinsaat deutlich von den Saatmischungen mit Gras ab.

Obwohl sich die durch verschiedene Nutzungssysteme erzeugten Mulch-N-Mengen deutlich unterscheiden und gegenüber dem System S je nach Anzahl der Mulchvorgänge um den Faktor 5 bzw. 10 höhere Mulch-N-Mengen festgestellt werden (Tab. 11), kann zum Zeitpunkt des Umbruchs in der Residuen-N-Menge nur ein vergleichsweise geringer Unterschied zwischen den beiden extremen Nutzungsformen (S vs. GD) abgesichert werden (Tab. 11). Im System GD ist die zum Herbstumbruch vorliegende Residuen-N-Menge gegenüber der während der Vegetationsperiode erfassten Mulch-N-Menge um 42% erniedrigt. Aus der Wechselwirkung mit der Saatmischung geht hervor (Abb. 4c), dass sich die Residuen-N-Menge der Rotklee-Reinsaat unter den geprüften Nutzungen einerseits nicht von der Residuen-N-Menge der Klee-gras-Gemenge und andererseits nicht von der durch Gras-Reinsaat hinterlassenen N-Menge differenziert. Lediglich die Klee-gras-Mischungen hinterlassen gegenüber der Grasreinsaat signifikant höhere Residuen-N-Mengen.

Trotz der Tatsache, dass vom Hauptfaktor Nutzungssystem kein Effekt auf den Boden- N_{\min} -Gehalt zum Umbruchtermin ausgeht (Tab. 11) und sich in der Wechselwirkung mit der Saatmischung (Abb. 4d) die Hauptfaktorwirkung, wonach Rotklee-Reinsaaten gegenüber Saatmischungen mit Gras signifikant höhere N_{\min} -Gehalte bewirken, bestätigt, weist die Rotklee-Reinsaat unter der Nutzung S einen signifikant geringeren N_{\min} -Gehalt auf (Tab. A4). Im Vergleich zu Klee-gras-Gemengen liegen nach Rotklee-Reinsaat unter S um 13 kg ha^{-1} , unter S+GD um 21 kg ha^{-1} und unter GD um 28 kg ha^{-1} höhere N_{\min} -Gehalte vor (Abb. 4d & Tab. A4). Gleichzeitig unterscheiden sich die Saatmischungen mit Gras nicht bezüglich des N_{\min} -Gehaltes zwischen den Nutzungssystemen (Tab. A4).

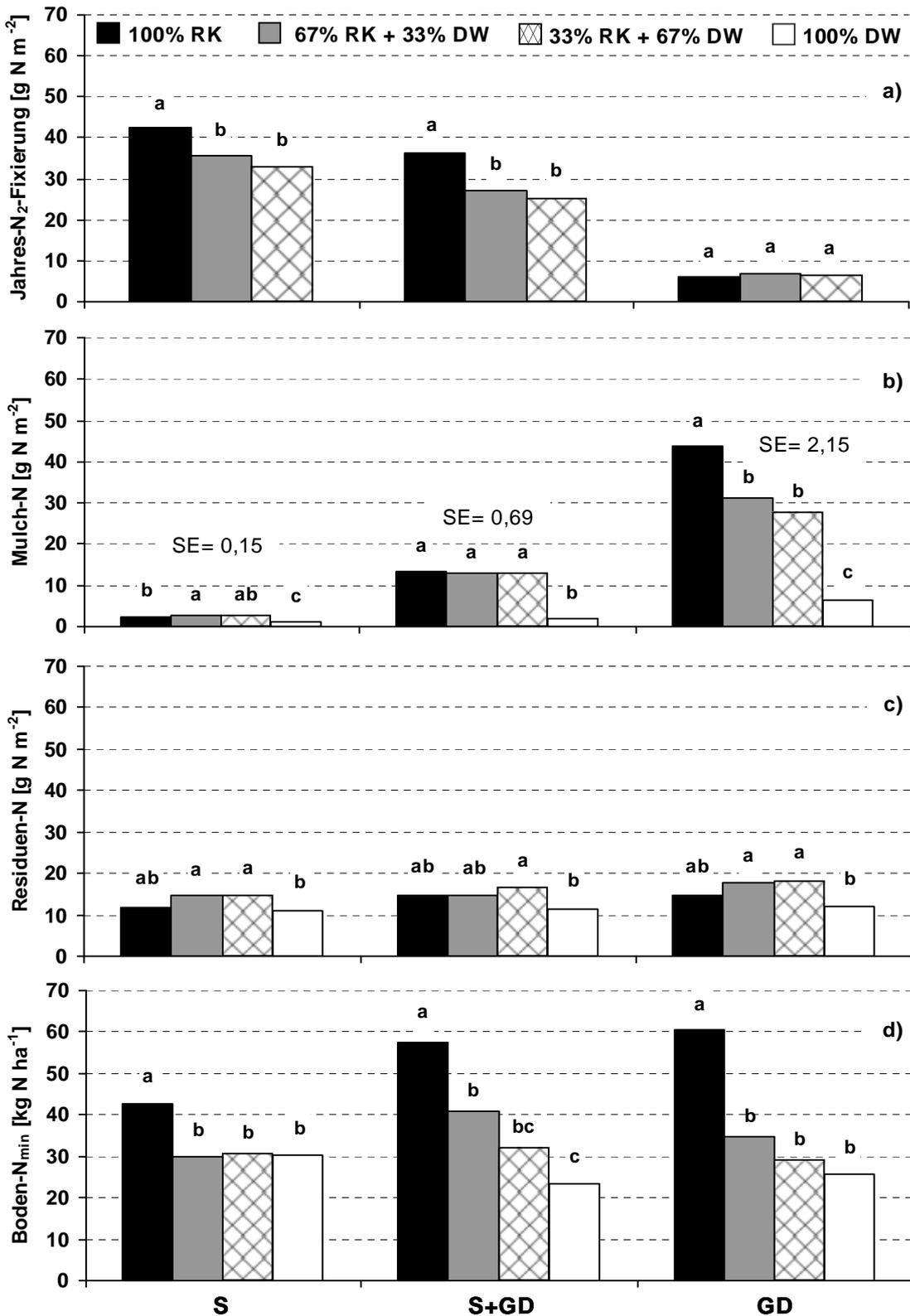


Abb. 4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) N₂-Fixierung (erw. Differenzmethode, P= 0,0006, SE= 1,65), den b) Mulch-N (P= <0,0001) und den c) Residuen-N (P= 0,4292, SE= 1,03) sowie den d) Boden-N_{min}-Gehalt (Oktober, 0-90 cm, P= 0,0227, SE= 3,58); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems

*Impact of seed-mixture*defoliation system interaction on a) N₂-fixation (extended difference method, P= 0.0006, SE= 1.65), b) mulch N (P= <0.0001), c) residual N (P= 0.4292, SE= 1.03) and d) mineral soil N (October, 0-90 cm, P= 0.0227, SE= 3.58); comparison of mean values (T-Test) within defoliation system*

2.4 Diskussion

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die geprüften Versuchsfaktoren eine hohe Bedeutung für die Sprossmasseproduktivität und für den Stickstoff-(N)-Haushalt von Klee/Gras-Beständen haben. Die Bewirtschaftungsform (Schnittgutabfuhr und/oder Mulchen) zeigt in der Interaktion mit der Saatmischung einen Effekt auf die Spross-N-Menge, auf die N₂-Fixierungsleistung, auf die Mulch-N-Menge und auf den Boden-N_{min}-Gehalt. Die Ergebnisse verdeutlichen die Relevanz einer vergleichenden Untersuchung üblicher Klee/Gras-Bewirtschaftungen im Hinblick auf die N-Flüsse in N-limitierten Anbausystemen.

2.4.1 Sprossmassebildung und Bestandeszusammensetzung

In den Feldversuchen wurde von den 3-Schnitt genutzten Rotklee- bzw. Rotklee-gras-Beständen (S) im zweijährigen Mittel eine Jahressprossmasse von 145 dt TM ha⁻¹ geerntet (Abb. 1). Sowohl die ältere als auch die aktuellere Literatur bestätigt das hohe Sprossmassebildungsvermögen von Rotklee bzw. Rotklee-gras mit Schnittgutmengen zwischen 120-170 dt TM ha⁻¹ (ZÜRN 1963; ALDRICH 1984; PAECH 1995; WACHENDORF 1995; LOGES 1998; KASKE 2000; TISSERAND 2002; JUNG 2003). Gegenüber den unter vergleichbaren Standortbedingungen (sandiger Lehm, Parabraunerde) durchgeführten Untersuchungen von LOGES (1998) und KASKE (2000) erzielen die eigenen Rotklee-Reinsaaten eine höhere Sprossmasse (Tab. 5). Dagegen erreichen die hier geprüften Gemenge zu den genannten Studien ein vergleichbares Ergebnis. Zur Erzielung von hohen Rotklee-Ertragsleistungen ist insbesondere ein feucht-kühles Klima wichtig (STOCK 1971; KREIL et al. 1983; MEINSEN 1983). Der Untersuchungsstandort Lindhof weist für den Rotklee-anbau optimale Klimaverhältnisse auf und das Ertragspotential der Rotkleepflanzen, die in Reinsaat ohne grasbedingten Konkurrenzeinfluss angebauten wurden, konnte nahezu ausgeschöpft werden. Die von TETEN & KORNHER (1995) auf einem Grenzstandort für den Anbau von Rotklee (humoser Sand, Podsol) ermittelte Rotklee- bzw. Rotklee-gras-Schnittgutmenge von ca. 90 dt TM ha⁻¹ liegt trotz vorteilhafter Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsjahren unter dem Ertragbildungsvermögen und spiegelt die Bedeutung der Bodengüte zur Realisierung hoher Sprossmassen wieder (KREIL et al. 1983).

Die in dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse bestätigen das hohe Potential von Rotklee und Rotklee-Gras-Gemengen zur Biomasseproduktion. Die Sprossmasse-Erträge sind vergleichbar mit Gras-Reinsaaten, die unter vergleichbaren Standortverhältnissen mit 300 kg ha^{-1} mineralischem Stickstoff gedüngt wurden (KASKE 2000). Die futterbaulich bedeutsamsten ersten beiden Aufwüchse produzierten bereits 70% der potenziell erntbaren Gesamt-Jahres-Sprossmasse (Tab. 9 & Tab. A2).

Bedeutung der Saatmischung

Artengemeinde aus Leguminosen und Gras können Wachstumsfaktoren effektiver ausnutzen als Reinsaaten (KEATING & CARBERRY 1993; FUKAI & TRENBATH 1993; MORRIS & GARRITY 1993). Durch den Wechsel von Rotklee-Reinsaaten zu Klee-Gras-Gemengen werden häufig höhere Gesamt-TM-Erträge ermittelt (ZÜRN 1963; FRAME et al. 1972; LAIDLAW & MCBRATNEY 1980; FRAME et al. 1985; FRANKOW-LINDBERG 1989; KASKE 2000; TISSERAND 2002), unterdessen finden andere Autoren (MCBRATNEY 1981; WACHENDORF 1995; LOGES 1998) keine generelle Ertragsüberlegenheit der Gemeinde. In der vorliegenden Studie wird im Mittel der Nutzungssysteme keine höhere Gesamt-Jahressprossmasse der Gemeinde gegenüber den Reinsaaten festgestellt (Tab. 5). Die Betrachtung der Einzelaufwüchse zeigt jedoch (Abb. 3), dass die Gemeinde im ersten Aufwuchs gegenüber den Rotklee-Reinsaaten eine höhere Sprossmasse erzielen, während im zweiten Aufwuchs die Rotklee-Reinsaaten produktiver sind. Wie vielfach für Klee-Gras-Blankansaaten (LOGES 1998; JAHNS et al. 1999; KASKE 2000) aber auch für Untersaaten (PAECH 1995; NYKÄNEN et al. 2000) sowie generell (FAGERBERG & EKBOHM 1995; RINNE & NYKÄNEN 2000; HEUWINKEL et al. 2003) berichtet, enthält auch in der eigenen Untersuchung der erste Gemeindeaufwuchs niedrige Kleeanteile und hohe Gras-Teilsprossmassen (Tab. 8). Relativ hohe Gras-N-Mengen und niedrigere Kleeanteile im ersten Aufwuchs deuten einerseits auf hohe Boden-N-Nachlieferungen zum Anfang der Wachstumsperiode und andererseits auf suboptimale Temperaturverhältnisse für das Wachstum und die N_2 -Fixierung der Leguminosen hin (HAYNES 1980; MACDUFF & DHANOA 1990; KESSLER et al. 1990). Im zweiten Aufwuchs bildet Rotklee in Reinsaat mehr Sprossmasse als die Gemeinde aus Gras und Klee insgesamt (Tab. 8), da seine Etablierungsphase abgeschlossen ist und kein interspezifischer Konkurrenzeinfluss auftritt (LOGES 1998). Die ab dem

zweiten Aufwuchs in den Gemengen zunehmenden Klee-Teilsprossmassen sind neben der größeren Klee-Konkurrenzkraft auch mit der abnehmenden Wettbewerbsfähigkeit des Grases zu begründen. Nach TAUBE (1986) und WULFES (1993) hat der Schnittzeitpunkt im ersten Aufwuchs einen großen Einfluss auf die Ertragsbildung im Nachwuchs. Da in dieser Untersuchung die Nutzung relativ spät erfolgt („späte Siloreife“), bilden überwiegend vegetative Grastriebe, die hinsichtlich des Sprossmasse-Bildungsvermögens generativen unterlegen sind (TAUBE 1986; WULFES 1993), die Sprossmasse der Folgeaufwüchse. Weiterhin trägt die während der Vegetationsperiode zurückgehende Boden-N-Nachlieferung zur nachlassenden Konkurrenzkraft von Gras bei (BOLLER & NÖSBERGER 1987; LOGES 1998). Klee-Aufwuchsanteile von über 80% in der TM (Tab. 9) dokumentieren Rotklee als konkurrenzstarken Gemenge-Partner (LEHMANN & MEISTER 1982).

Einfluss der Nutzung in der Interaktion mit der Saadmischung

In dieser Studie reagieren die als Gründüngung (GD) genutzten, kleehaltigen Saadmischungen im Vergleich zu schnittgenutzten generell mit einer verminderten Sprossmasseproduktivität (Abb. 1), welches auch von anderen Autoren grundsätzlich bestätigt wird (LOGES 1998; HEUWINKEL et al. 2002). Während die Gras-Jahressprossmasse nicht durch die Variation der Nutzung beeinflusst wird, senkt die ausschließliche Mulchnutzung (GD) den Kleeanteil um 14 Prozentpunkte und die Klee-Jahressprossmasse um 27% (Tab. 6). Die für gemulchte gegenüber schnittgenutzten Klee- bzw. Klee-gras-Beständen festgestellte signifikant niedrigere Gesamt-Jahressprossmasse bestätigt Ergebnisse von LOGES et al. (1999). Die Abnahme des Kleeanteils bzw. der Kleesprossmasse wird entscheidend vom freigesetzten Mulch-N hervorgerufen (Abschnitt 2.4.2). Auch für moderat mit N gedüngte Klee-gras-Bestände wird ein Rückgang von Kleeanteilen bzw. von Kleesprossmasse festgestellt (SCHMUDE & MEINSEN 1991; WACHENDORF 1995). Erst N-Gaben ab 260 kg N ha⁻¹ erzeugen nach WACHENDORF (1995) signifikante TM-Ertragssteigerungen. Unterdessen bewirkt die Bewirtschaftungsform Gründüngung einen Trend zu höherer Gras-Sprossmasse schon ab dem zweiten Aufwuchs gegenüber den weiterhin schnittgenutzten Beständen (Tab. 9), der sich im vierten Aufwuchs als signifikant erweist und mit der Düngewirkung vorheriger, gemulchter Aufwüchse begründen lässt (LOGES 1998; HEUWINKEL 2001).

Die Betrachtung der Einzelaufwüchse zeigt, dass sich schon der erste Mulchvorgang (GD) gegenüber der Schnittgutabfuhr (S bzw. S+GD) negativ auf die Gesamt-Sprossmassebildung des Folgeaufwuchses auswirkt (Abb. 3 & Tab. A2). Diese Beobachtung bestätigt sich im vierten Aufwuchs für die Variante S+GD, die im dritten Aufwuchs erstmalig gemulcht wurde (Tab. A2). Im Vergleich zu den Gemengen reagiert die Rotklee-Reinsaat erst spät mit einem signifikanten Sprossmasserückgang (Tab. A2). In diesem Bestand übt kein Gemengepartner Konkurrenzeinflüsse aus und der aus Mulch freigesetzte N unterdrückt weniger die Klee-Stoffproduktion, sondern substituiert vielmehr den fixierten N (DILZ & MULDER 1962; FRAME 1976). Folglich wird die Sprossmassenreduktion sowohl direkt als auch indirekt von der durch Mulchwirtschaft auf der Fläche verbleibenden Biomasse hervorgerufen: Nach einer Mulchnutzung kann die Mulchauflage den Wiederaustrieb und das Wachstum direkt durch Beschattung und Phytotoxizität, die durch Residuenabbau hervorgerufen wird, behindern (DILZ & MULDER 1962; JELMINI & NÖSBERGER 1978; HAGMEIER 1986; FRAME et al. 1998; LOGES 1998; AN et al. 2002; SINKKONEN 2003). In Gemengen ist zusätzlich eine indirekte Klee-Verdrängung anzutreffen. Wie die eigene Untersuchung zeigt, bewirkt die Mulchwirtschaft in den Gemengen einen höheren Gras- bzw. geringeren Kleeanteil (Tab. 9), womit ein höherer interspezifischer Konkurrenzdruck um Licht und Wasser einhergeht. Unter Gründüngung ergeben sich im grasbetonten Gemenge (33% RK + 67% DW) gegenüber der Rotklee-Reinsaat sogar signifikant niedrigere Gesamt-Jahreserträge (Tab. A1), die primär auf eine geringere Sprossmassebildung im dritten Aufwuchs (Abb. 3) infolge von reduzierter Klee-Teilsprossmassebildung (ohne Darstellung) zurückzuführen sind. Dies entspricht den Ergebnissen von LOGES (1998), nach denen gemulchter Rotklee eine um ein Drittel verminderte Einzelpflanzen-TM-Produktivität sowie eine um ein Drittel geringere Pflanzenzahl m⁻² im Vergleich zur Schnittgutabfuhr aufweist.

Festzuhalten ist, dass die in dieser Untersuchung ermittelte Sprossmassereduktion unter Gründüngung für Klee-gras-Gemenge ausgeprägter ist als für Rotklee-Reinsaaten, da im Gemengeanbau neben den direkten negativen Mulchwirkungen auch die interspezifischen Konkurrenzeinflüsse des Gemengepartners Gras zum Tragen kommen. Ein Mindestkleeanteil in der Saatmischung von Gemengen ist somit notwendig, um die Kleeteilsprossmasse unter Gründüngung zu sichern. Wie auch an

anderer Stelle für Klee gras-Brachen beobachtet (SCHULTHEIß et al. 1993), ist das Erscheinungsbild der hier betrachteten gemulchten Bestände lückig.

2.4.2 Parameter des N-Haushaltes

Rotklee kann durch sein Luftstickstoffbindevermögen dem landwirtschaftlichen Betriebskreislauf hohe Stickstoff-(N)-Mengen zuführen und einen großen Beitrag zur Ressourcenschonung in der Landwirtschaft leisten (PEOPLES et al. 1995).

Die in dieser Studie ermittelten Klee- bzw. Klee gras-Sprossmasse-N-Mengen werden auch in der Literatur abgebildet. Je nach Standort werden für den Mittel- bzw. den Nordeuropäischen Raum für Rotklee-Reinsaaten N-Mengen in der erntbaren Sprossmasse mit umgerechnet 140-520 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und für Klee gras-Gemenge mit 90-500 kg N ha⁻¹ a⁻¹ angegeben, wobei die Spross-N-Mengen der Gemenge häufiger im unteren Bereich der Variationsbreite ermittelt werden (MEINSEN 1983; BOLLER & NÖSBERGER 1987; DREESMANN 1993; HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 1994; LOGES 1998; CORMACK 1999; JUNG 2003; HAAS et al. 2003). In Abhängigkeit vom Standort und von der Erhebungsmethode werden für Rotklee-Reinsaaten N₂-Fixierungsleistungen von 150-510 kg N ha⁻¹ a⁻¹ angegeben, die sich häufiger im oberen Teil der Bandbreite befinden, während N₂-Fixierungsleistungen von Klee gras-Gemengen zwischen 40-500 kg N ha⁻¹ a⁻¹ vielfach im unteren Bereich der Variationsbreite anzutreffen sind und nur in wenigen Arbeiten mehr als 400 kg N ha⁻¹ a⁻¹ festgestellt werden (HEICHEL 1989; HEICHEL & HENJUM 1991; FARNHAM & GEORGE 1993; NESHEIM & ØYEN 1994; LOPOTZ 1996; LOGES 1998; LOGES et al. 1999; REITER et al. 2002; JUNG 2003).

Einfluss der Saatmischung auf die Spross-N-Menge

Die N-Akkumulationen im Sprossmaterial von Rotklee-Reinsaaten sind gegenüber Gemengen oftmals erhöht, da mit zunehmendem Kleeanteil bzw. Kleeertrag im erntbaren Aufwuchs sowohl die fixierte als auch die akkumulierte N-Menge steigt (LEDGRAD & STEELE 1992; KRISTENSEN et al. 1995; LOGES 1998; LOGES et al. 1999; SCHMIDTKE & RAUBER 2000; LOCHER & HEUWINKEL 2001; HEUWINKEL et al. 2003). In dieser Untersuchung ist die Gesamt-Jahres-N-Menge in der Sprossmasse der Rotklee-Reinsaat gegenüber den Gemengen signifikant erhöht (Tab. 5). Auch die Gesamt-Jahres-N-Mengen der Gemenge unterscheiden sich, obwohl der Kleeanteil

in der Sprossmasse gleich ist. Bei gleicher Klee-Spross-N-Menge wird die signifikant höhere Gesamt-N-Menge der kleestarken gegenüber der kleearmen Mischung indessen durch deutlich höhere Gras-Spross-N-Mengen hervorgerufen (Tab. 5). Gegenüber der Gras-Reinsaat liefert auch die kleearme Saatmischung höhere Gras-N-Mengen im Sprossmaterial. Diese Ergebnisse werden in den ersten drei Aufwüchsen festgestellt (Tab. 8) und bestätigen den vielfach nachgewiesenen N-Transfer von der Leguminose zum Begleitgras sowie die Bedeutung von intra- und interspezifischen Konkurrenzbeziehungen im Gemengebestand. Nach WHITEHEAD (1995) können 0-75% des durch die Leguminose fixierten N zum Begleitgras transferiert werden. Die Angaben zu den transferierten N-Mengen bewegen sich häufig im Bereich von 5-50 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (BOLLER & NÖSBERGER 1987; HEICHEL & HENJUM 1991; DUBACH & RUSSELLE 1994; PEOPLES et al. 1995). In der eigenen Untersuchung wird in der Variante S für die gras- bzw. für die kleebetonte Saatmischung ein scheinbarer N-Transfer von umgerechnet 24 bzw. 54 kg N ha⁻¹ festgestellt (Tab. A3).

Bei abnehmendem Gras-Saatmischungsanteil ist eine Zunahme der N-Menge in der Gras-Sprossmasse zu verzeichnen (Tab. 5). Diese Beziehung kann darin begründet liegen, dass bei niedrigem Gras-Saatmischungsanteil eine geringere intraspezifische Konkurrenz unter den Graspflanzen auftritt, bzw. dass der einzelnen Graspflanze mehr Boden-N zur Verfügung steht sowie anteilig mehr N durch die höhere Kleepflanzensaatdichte transferiert werden kann. LEHMANN et al. (1978) und LEHMANN & MEISTER (1982) stellen fest, dass sowohl Triebanzahl und Triebgewicht als auch die Internodienlänge von Graseinzelpflanzen in Gemengen mit Rotklee größer ist. In diesem Zusammenhang fand LOGES (1998) bei gleicher Gras-Sprossmasseleistung höhere Grasstoppelmengen unter Reinsaat als unter Klee-gras-Gemengen und konnte damit den Nachweis erbringen, dass Graseinzelpflanzen bei geringerer Anzahl pro Flächeneinheit produktiver sein können. In der eigenen Studie führt die relativ größere Gras-N-Versorgung im 2. Aufwuchs der kleebetonten Saatmischung sogar zu signifikant höherer Gras-Sprossmasse (Tab. 8).

Insgesamt ist in der kleebetonten gegenüber der grasbetonten Saatmischung trotz vorwiegend gleicher Sprossmasseleistungen (Gesamt-TM, Klee-TM, Klee-N-Menge, Kleeanteil; Tab. 8) sowie bei gleichen N₂-Fixierungsleistungen (Tab. 11) ein positiver Gemengeeffekt hinsichtlich der Gesamt-Jahres-N-Menge in der Sprossmasse zu verzeichnen. Das Gras aus der kleebetonten Ansaat kann den im Boden

auftretenden mineralischen N besser in Pflanzen-N umsetzen und damit die N-Akkumulation in der Sprossmasse erhöhen.

Einfluss der Nutzung und der Saatmischung auf die Spross-N-Menge

Die Variation der Klee/Gras-Nutzung wirkt als Hauptfaktor wesentlich auf die TM- und auf die N-Produktivität des Rotklee, nicht jedoch auf die des Deutschen Weidelgrases (Tab. 6 & Tab. 9). Dabei zeigt sich in der Interaktion mit der Saatmischung (Abb. 1), dass sowohl die Rotklee- als auch die Dt. Weidelgras-Reinsaaten hinsichtlich der N-Akkumulation in der Sprossmasse nicht beeinflusst werden, sondern nur die Klee-gras-Gemenge. Dieser Effekt ist bereits ab dem 2. Aufwuchs signifikant festzustellen (Tab. A2) und weist auf einen veränderten N-Haushalt gemulchter Klee-gras-Gemenge gegenüber schnittgenutzten schon durch den ersten Nutzungsvorgang hin. Erst im 4. Aufwuchs zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Mulchnutzung auf die Rotklee-Reinsaat. Einerseits beeinflusst das Mulchmaterial den Bestand direkt, andererseits verstärkt die Freisetzung von N aus Mulch die interspezifischen Konkurrenzeinflüsse (Abschnitt 2.4.1). Da das N-Aneignungsvermögen von Gras höher ist als von Klee (HØGH-JENSEN et al. 1997), verhält sich Gras im Gemenge als N-Senke (LOPOTZ 1996) und mit zunehmendem N-Angebot verstärkt sich die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren, wodurch der Klee verdrängt wird. Von LOGES (1998) wird eine hohe Wiederverwertung der N-Menge des ersten Mulchaufwuchses durch einen höheren N-Transfer des Klees zum Begleitgras des zweiten Gründüngungsaufwuchses im Vergleich zur Schnittnutzung ermittelt. HEUWINKEL (2001) weist ebenso auf die große Bedeutung des Rückflusses von Mulch-N hin und dokumentiert einen N-Fluss von 10% vom gemulchten Voraufwuchs zu dem aktuell wachsenden Aufwuchs und führt 20% der Gras-N-Menge auf die Herkunft aus Mulch zurück.

Einfluss der Nutzung und der Saatmischung auf die N₂-Fixierungsleistung

Die auf der Basis des erntbaren N, der ober- und unterirdischen Residuen-N-Menge und des Boden-N_{min}-Gehaltes mit der erweiterten Differenzmethode berechnete N₂-Fixierungsleistung ist für die Rotklee-Reinsaat um ca. 27% höher als für die Gemenge, die sich untereinander nicht unterscheiden (Tab. 11). BOLLER (1988) und LOGES (1998) berichten über enge Beziehungen zwischen Klee-TM-Ertrag bzw.

Kleeanteil im Aufwuchs und fixierter N-Menge, die sich auch in dieser Untersuchung bestätigen. Die fixierte N-Menge verhält sich gleichgerichtet zur Klee-N-Menge und zum Kleeanteil in der Sprossmasse (Tab. 5 und Tab. 11). Obwohl die grasbetonte Saatmischung weniger Rotkleepflanzen pro Flächeneinheit enthält, ist die fixierte N-Menge gegenüber der kleebetonten Ansaat nicht geringer. Die Annäherung von Jahres-N₂-Fixierungsleistungen unterschiedlicher Klee gras-Bestände am gleichen Standort auf ein Niveau kann sowohl auf ein hohes Kompensationsvermögen der Klee-Einzelpflanze als auch auf Verschiebungen in der Bestandszusammensetzung zurückgeführt werden (LOGES 1998; HEUWINKEL et al. 2003).

Rotklee zeigt allerdings nur in schnittgenutzter Reinsaat (S bzw. S+GD) eine um 70 bzw. 100 kg N ha⁻¹ höhere N₂-Fixierungsleistung gegenüber Gemengen (Abb. 4), während die Fixierungsleistung aller klee haltiger Saatmischungen unter Gründüngung (GD) mit ca. 65 kg N ha⁻¹ auf einem wesentlich niedrigeren Niveau liegt. Auch die im 1. und 2. Aufwuchs schnittgenutzten Bestände (S+GD) führen durch das Mulchen des 3. Aufwuchses zu einer signifikant niedrigeren Fixierungsleistung gegenüber der 3-Schnittnutzung (S) (Tab. A4). Während HEUWINKEL (2001) durch Mulchen von Klee gras eine um 30% reduzierte N₂-Fixierungsleistung findet, misst LOGES (1998) sogar eine um 50% niedrigere Fixierungsleistung der Rotklee-Einzelpflanzen. Beide Autoren führen dies insbesondere auf die Mineralisierung von N aus Mulchmaterial zurück. In der weiteren Literatur werden verschiedene Gründe für die negative Wirkung mineralischen Stickstoffs auf die N₂-Fixierungsleistung von Leguminosen genannt. Nach HÖFLICH (1989) und SCHULZE (2004) werden Prozesse zur Regulierung der Nitrogenaseaktivität auf Basis von innerpflanzlichen Substanzumsätzen hervorgehoben, während an anderer Stelle neben der Verringerung der N₂-Bindungsaktivität zu gleichen Teilen die Bedeutung des Leguminosenanteils, des Ertrages und der Schattenwirkung angeführt wird (HAYNES 1980; LOGES 1998; LOCHER & HEUWINKEL 2001; HEUWINKEL et al. 2003).

Nach dem ausschließlichen Mulchen (GD) der Klee gras-Gemenge enthält das Aufwuchsmaterial gegenüber den Nutzungsformen mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) ca. 80-90 kg N ha⁻¹ weniger N (Abb. 1 und Tab. A1), während die N₂-Fixierungsleistung der Gemenge unter Gründüngung um 190-280 kg N ha⁻¹ vermindert ist (Tab. A4). Die Sprossmasse-N-Akkumulation wird durch Mulchen weniger reduziert als die N₂-Fixierung. Nach FRAME (1976) unterdrückt der aus Mulch

freigesetzte N nicht die Stoffproduktion, sondern ersetzt vornehmlich den fixierten N und wird von den Leguminosen aus der Bodenlösung aufgenommen (TOMM et al. 1995). Die Ausprägung der N₂-Fixierungsleistungsabnahme in GD ist für die Rotklee-Reinsaat allerdings größer (-300 bis -360 kg N ha⁻¹), weil keine Nichtleguminose den N abschöpfen kann.

Nicht erntbarer Stickstoff in Rotklee-/Rotkleeergras-Residuen und Boden

In der Literatur wird beim Vergleich von schnitt- und von mulchgenutzten Leguminosen/Gras-Beständen häufig eine um ca. 50% höhere Residuen-N-Menge für gemulchte Bestände festgestellt (LOGES 1998; KASKE 2000; FRIEDEL et al. 2001). In einzelnen Varianten findet LOGES (1998) allerdings auch deutlich geringere Unterschiede, wie sie auch in dieser Untersuchung anzutreffen sind (Tab. 11 und Tab. A4). Lediglich 22-27% (ca. 33 kg N ha⁻¹) mehr Residuen-N wird für kleehaltige, schnittgenutzte Saatmischungen zum Herbstumbruch gegenüber viermalig gemulchten Beständen (GD) abgesichert (Tab. A4), während die akkumulierte Mulch-N-Menge der Gründüngung (GD) gegenüber den schnitt-genutzten Varianten (S und S+GD) um das 2- bis 20-fache (150-420 kg N ha⁻¹) höher ist (Abb. 4 und Tab. A4). Diese Diskrepanz ist darauf zurückzuführen, dass die Methode zur Erfassung der Residuen ein hohes Verlustpotential durch Auswaschung besonders feiner Wurzeln in sich birgt. Darüber hinaus wurden niedermolekulare N-Verbindungen im Boden nicht erfasst. Beachtliche N-Mengen eines gemulchten Aufwuchses können mineralisiert und vom wachsenden Folgeaufwuchs aufgenommen werden und sind zu Vegetationsende nicht mehr dokumentierbar (HEUWINKEL 2001). Parallel dazu kann N durch Denitrifikation entweichen (AULAKH et al. 1991; MCKENNEY et al. 1993) oder durch die wachsende Mikroorganismenmasse bzw. durch Humifizierung im organischen Boden-Pool festgelegt werden (AVNIMELECH 1986).

Obwohl in dieser Studie die überaus wichtigen niedermolekularen organischen N-Verbindungen aus der Rhizodeposition (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 2001) unberücksichtigt bleiben, spiegelt der Boden-N_{min}-Gehalt den Einfluss der Versuchsfaktoren deutlich wieder. Während der Vegetationszeit werden unter Gründüngung (GD) auffallend hohe N_{min}-Gehalte nachgewiesen (Abb. 5), deren Differenz zum N_{min}-Gehalt unter Schnittnutzung (S) für alle kleehaltigen Saatmischungen statistisch abgesichert ist (Tab. A6). In der Tiefe 0-30 cm ist dieser Unterschied für die Rotklee-Reinsaat und kleebetonten Saatmischung am größten

und setzt sich nur für die Rotklee-Reinsaat bis in die Tiefe 60-90 cm signifikant fort. Auch HELMERT et al. (2003) fanden bei gemulchtem Klee gras bereits während der Vegetation einen höheren N_{\min} -Gehalt im Boden als unter geschnittenen Beständen. Diese wiesen, hervorgerufen durch ein stabiles Gleichgewicht zwischen Boden-N-Nachlieferung und Pflanzen-N-Aufnahme, verhältnismäßig konstante N_{\min} -Gehalte auf (HELMERT et al. 2003).

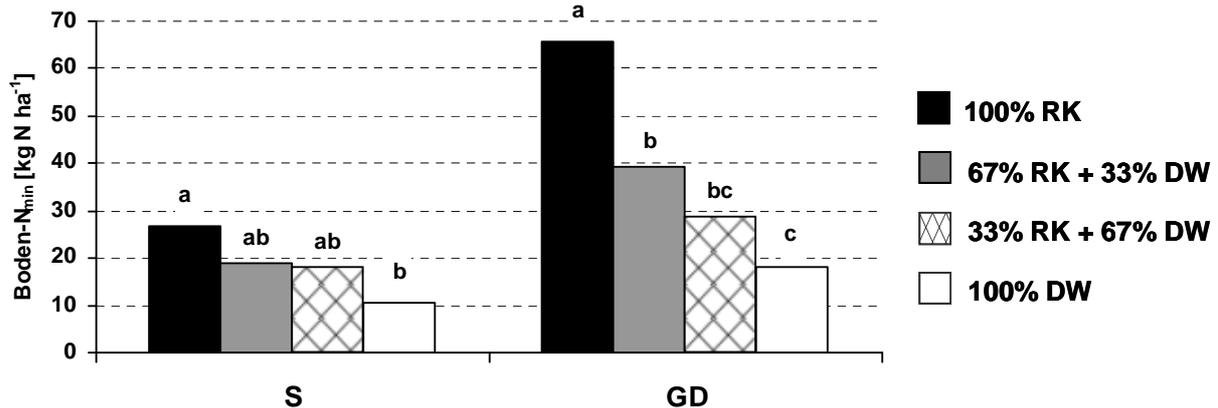


Abb. 5: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den Boden- N_{\min} -Gehalt (0-90 cm, $P= 0,0031$, $SE= 3,76$) nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems

*Effect of interaction grass-clover defoliation system*seed-mixture on mineral soil N (0-90 cm, $P= 0.0031$, $SE= 3.76$) after second defoliation (23.07.1998); comparison of mean values (T-Test) within defoliation system*

Obwohl sich die Rotklee-Reinsaat hinsichtlich der zum Umbruch festgestellten Residuen-N-Mengen weder von den Klee gras-Gemengen noch von der Gras-Reinsaat unterscheidet, hebt sie sich bezüglich des mineralischen Boden-N-Gehaltes deutlich von den grasshaltigen Mischungen ab (Abb. 4). Sogar in den Nutzungssystemen, in denen nur ein geringer Aufwuchsanteil als Mulch auf der Fläche verblieb (S bzw. S+GD), sind höhere N_{\min} -Gehalte abzusichern. Neben dem aus Mulch stammenden N werden aus Rhizodeposition sowie aus abgestorbenem Klee gewebe und aus Wurzelknöllchen beachtliche N-Mengen freigesetzt (WACQUANT et al. 1989; HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 2001), umgehend mineralisiert (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 1998; WIVSTAD 1999) und im Falle von Gemengen vom Mischungspartner Gras abschöpft (HEUWINKEL et al. 2003). Offensichtlich weisen daher die grasshaltigen Mischungen unabhängig von der Nutzung gegenüber der Rotklee-Reinsaat zum Umbruchtermin signifikant niedrigere N_{\min} -Gehalte auf (Abb. 4). Auch der Vergleich der grasshaltigen Saatmischungen unter verschiedenen

Nutzungen (Tab. A4) zeigt keinen Einfluss auf den N_{\min} -Gehalt, während für die Rotklee-Reinsaat nach 3-Schnittnutzung (S) signifikant niedrige N_{\min} -Gehalte ermittelt werden.

Bei der Betrachtung des N-Haushaltes von Klee-Gras-Beständen nimmt der Bodenwasserhaushalt eine zentrale Rolle ein. So gelten die erzielten Ergebnisse insbesondere für das kühl-humide Klima Norddeutschlands, während FARTHOFER et al. (2003) unter trockenen Witterungsbedingungen keinen Einfluss unterschiedlicher Luzerne/Gras-Saatmischungen und -Nutzungen auf die Höhe der N_{\min} -Gehalte feststellten. Hohe Boden- N_{\min} -Gehalte stehen in engem Zusammenhang zu Nitrat-Auswaschungsverlusten durch Sickerwasser (FAßBENDER 1998; WACHENDORF et al. 2004) und sind daher für die Bewertung von Umwelt- und von Wirtschaftlichkeits-effekten von großer Bedeutung.

N-Flächenbilanzsaldo

Im ökologischen Ackerbau bestehen Fruchtfolgen zum größten Teil aus Nicht-Leguminosen und N wird mit dem Erntegut von der Fläche exportiert. Leguminosen können die N-Abfuhr wieder ausbalancieren (PEOPLES et al. 1995), wenn der durch N_2 -Fixierung assimilierte N im Betriebskreislauf bleibt (LOGES & HEUWINKEL 2004). Der einfache N-Flächenbilanzsaldo (N_2 -Fixierungsleistung – Sprossmasse-N-Abfuhr) ist für ausschließlich gemulchtes Klee/Gras (GD) deutlich größer als für die Bestände mit Schnittgutabfuhr (Tab. 12). Während die Abfuhr der Sprossmasse im Nutzungssystem S (3-Schnitte + 1x Mulchen) einen negativen Flächenbilanzsaldo erzeugt, ist dieser für S+GD (2-Schnitte + 2x Mulchen) positiv.

Tab. 12: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) sowie Bedeutung des Nutzungssystems für den einfachen Flächenbilanzsaldo [$g N m^{-2}$] im zweijährigen Mittel

Results of analysis of variance and effect of grass-clover defoliation system on N balance [$g N m^{-2}$]

a)	Varianzursache	jahr	sys	jahr*sys	mi	jahr*mi	sys*mi	jahr*sys*mi
		1,72ns	39,43***	1,22ns	0,22ns	0,77ns	0,63ns	1,06ns
b)	Nutzungssystem	S			S + GD		GD	SE / Sign.
	N-Saldo [$g N m^{-2}$]	-2,18 ^c			1,77 ^b		6,50 ^a	0,72***

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, mi= Saatmischung;
 b) N-Saldo [$g N m^{-2}$] = N_2 -Fixierungsleistung – Sprossmasse-N-Abfuhr; SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveau aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Für rein schnittgenutztes Klee gras nennen andere Autoren ebenso negative N-Flächenbilanzsalden (RAUBER & SCHMIDTKE 1999; JUNG 2003). Dennoch ist gerade bei Schnittnutzung von einem Betriebs-N-Gewinn auszugehen, da geernteter Sprossmasse-N nach der Verwertung (Verfütterung bzw. Vergärung) in Form von Wirtschaftsdünger zum größten Teil zur Verfügung steht. Eine Kalkulation, nach der für Klee gras-Gemenge durch 3-Schnitte (S) 360 kg N ha⁻¹ bzw. durch 2-Schnitte (S+GD) 250 kg N ha⁻¹ geerntet werden können (Tab. A2), zeigt, dass nach der Verfütterung rund 220 bzw. 160 kg N ha⁻¹ in Form von Wirtschaftsdünger zur Verfügung stehen. In dieser Kalkulation werden die auftretenden N-Verluste mit 20% durch das Tier (VAN VUUREN & MEIJS 1987; JARVIS 1992) und mit 20-30% durch Lagerungs-NH₃-Emmissionen (LAEGREID et al. 1999; BERG et al. 2002) berücksichtigt. Folglich mindert Mulchen den Netto-N-Gewinn des Betriebes, da neben dem geringeren N-Input durch N₂-Fixierung die Residuen-N-Menge ausschließlich flächengebunden ist und im maritimen Klimaraum der Auswaschungsgefahr unterliegen kann (RUHE et al. 2003). Darüber hinaus werden aus N-reichhaltigem und sich zersetzendem Pflanzenmaterial klimarelevante N₂O- und NH₃-Ausgasungsverluste festgestellt (LARSSON et al. 1998; MCGINN & JANZEN 1998; WEBER et al. 2002; HELMERT et al. 2003).

2.5 Zusammenfassung

In einem zweijährigen Feldversuch wurden Bestände von Rotklee (RK, *Trifolium pratense* L.) und Deutschem Weidelgras (DW, *Lolium perenne* L.) in Reinsaat und im Gemenge hinsichtlich der Sprossmassebildung und des Stickstoff-(N)-Haushaltes jeweils im ersten Hauptnutzungsjahr untersucht. Als Versuchsfaktoren wurden die Saatmischung (100% RK; 67% RK + 33% DW; 33% RK + 67% DW; 100% DW) und die Bewirtschaftung (Nutzungssystem S: 3-Schnitte + 1x Mulchen, S+GD: 2-Schnitte + 2x Mulchen, GD: 4x Mulchen) variiert. Die Bestände wurden in Bezug auf die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge, den Kleeanteil und die N₂-Fixierungsleistung sowie auf den nicht erntbaren N und den N-Flächenbilanzsaldo geprüft.

Die Nutzung hatte in der Interaktion mit der Saatmischung einen Einfluss auf nahezu alle betrachteten Parameter. So verminderte das Mulchen das Sprossmassebildungsvermögen aller kleehaltigen Saatmischungen gegenüber den Varianten mit Schnittgutabfuhr. Das Mulchen führte je nach Saatmischungskleeanteil und Zeitpunkt im Folgeaufwuchs zu einer Reduktion der Sprossmasse und darin enthaltener N-Menge von bis zu 50%. Bezogen auf die Jahresproduktivität verringerte ausschließliches Mulchen (GD) a) die Sprossmasse der Rotklee-Reinsaat um 12%, b) den Gemenge-Kleeanteil um 14 Prozentpunkte, c) die Klee-Teilsprossmasse in den Gemengen um 27% und d) die Gesamt-Sprossmasse der Gemenge um 21% gegenüber schnittgenutzten Beständen (S und S+GD).

Innerhalb der Vegetationsperiode wiesen kleehaltige Bestände, die gemulcht wurden, signifikant höhere Boden-N_{min}-Gehalte auf als Bestände mit Schnittgutabfuhr (S). Dagegen waren die Jahres-N₂-Fixierungsleistungen der gemulchten Bestände deutlich erniedrigt: die ausschließlich gemulchten Bestände (GD) fixierten unabhängig vom Saatmischungskleeanteil umgerechnet nur 65 kg N ha⁻¹, während durch die Abfuhr der ersten zwei Aufwüchse in der Nutzungsvariante S+GD 365 kg N ha⁻¹ (Reinsaat) bzw. 260 kg N ha⁻¹ (Gemenge) und durch die 3-Schnittnutzung (S) 425 kg N ha⁻¹ (Reinsaat) bzw. 343 kg N ha⁻¹ (Gemenge) fixiert wurden.

Im Hinblick auf die Residuen-N-Mengen zeigte sich der Hauptfaktor Nutzung als signifikant und zum Herbstumbruch wurde für die Bestände nach ausschließlicher Gründüngung im Vergleich zur 3-Schnittnutzung eine um ca. 20% (27 kg N ha⁻¹) höhere residuale N-Menge festgestellt. Für die Boden-N_{min}-Gehalte zum Herbstumbruch war die Interaktion mit der Saatmischung signifikant: die Rotklee-

Reinsaat wies innerhalb einer Nutzungsform den höchsten N_{\min} -Gehalt auf. Im Gegensatz zur Rotklee-Reinsaat wurde der N_{\min} -Gehalt von grashaltigen Beständen nicht durch die Nutzung beeinflusst. Der vereinfachte N-Flächenbilanzsaldo ergab für die Bestände, die ausschließlich gemulcht wurden (GD) 65 kg N ha^{-1} und für Bestände mit Schnittgutabfuhr 18 kg N ha^{-1} (S+GD) bzw. -22 kg N ha^{-1} (S). Folglich zeigt diese Untersuchung, dass die Kombination der klassischen Nutzungsformen Schnitt und Mulchen zum Nutzungssystem S+GD einen positiven N-Flächenbilanzsaldo bei gleichzeitig hohen N_2 -Fixierungsleistungen ermöglicht. Durch die Schnittgutabfuhr der futterbaulich bedeutsamen ersten beiden Aufwüchse im System S+GD konnten rund 70% der potenziell erntbaren Jahres-Sprossmasse und rund 70% der Jahres-Spross-N-Menge von Klee- bzw. Klee gras-Beständen einer Verwertung zugeführt und damit zu einer variabel einsetzbaren N-Quelle transferiert werden.

Aus den Untersuchungsergebnissen ist abzuleiten, dass sich eine Kooperation von ökologisch wirtschaftenden Acker- und Futterbaubetrieben positiv auf den N-Haushalt des Marktfruchtbetriebes auswirkt. Darüber hinaus wird gezeigt, dass im Gegensatz zur Rotklee-Reinsaat im Rotklee gras-Gemenge unabhängig von der Anzahl der Mulchvorgänge (2 bzw. 4) der Gemengepartner Gras den freiwerdenden N im Boden abschöpft und damit N-Verlusten vorbeugt.

2.6 Literaturverzeichnis

ALDRICH, D., 1984: Lucerne, red clover and sainfoin - herbage production. In: Forage legumes. Occasional Symposium No. 16, Ed. D. J. Thomson, British Grassland Society, Hurley, 126-131.

AN, M., JOHNSON, I. & LOVETT, J., 2002: Mathematical modelling of residue allelopathy: the effects of intrinsic and extrinsic factors. *Plant and Soil* **246** [1], 11-22.

ANONYM, 1991: Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24.06.1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 198.

ANONYM, 1999: Statistical Analysis System (SAS©, 1999-2001), 8.02 edn., Cary, NC: SAS Institute.

ANONYM, 2002: Agenda 2000. Pflanzlicher Bereich; Agrarumweltmaßnahmen.

ASMUS, F., 1991: Einfluß organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. *Berichte über Landwirtschaft* **206**, 127-139.

AULAKH, M., DORAN, J., WALTERS, D., MOSIER, A. & FRANCIS, D., 1991: Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Science Society of America Journal* **55**, 1020-1025.

AVNIMELECH, Y., 1986: Organic residues in modern agriculture. Ed. Y. Chen & Y. Avnimelech, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Boston Lancaster, 1-10.

BELAU, L., HONERMEIER, B. & MATHEIS, F., 1995: Modelluntersuchungen zur Einschätzung der potentiellen N-Freisetzung nach Kleeergrasumbruch. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **39**, 37-43.

BERG, M., HÖRNIG, G. & WANKA, U., 2002: Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen. In: Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen, Hrsg. Umweltbundesamt & KTBL, 151-162.

BLUMÖHR, T. & WALSEMANN, U., 2004: Landwirtschaft in Deutschland 2003. *Wirtschaft und Statistik* **2**, 173-183.

BOLLER, B. C., 1988: Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiss- und Rotklee unter Feldbedingungen. *Landwirtschaft Schweiz* **1** [4], 251-253.

BOLLER, B. C. & NÖSBERGER, J., 1987: Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of ¹⁵N-fertilization. *Plant and Soil* **104**, 219-226.

CORMACK, W. F., 1999: Testing a stockless arable organic rotations on a fertile soil. In: Designing and testing crop rotations for organic farming, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 115-123.

- DILZ, K. & MULDER, E. G., 1962: The effect of soil-pH, stable manure and fertilizer nitrogen on the growth of red clover and of red clover associations with perennial ryegrass. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **10** [1], 1-22.
- DREESMANN, S., 1993: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzerne-gras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben – Winterweizen - Wintergerste. Dissertation, Institut für Organischen Landbau der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- DUBACH, M. & RUSSELLE, M. P., 1994: Forage legume roots and nodules and their role in nitrogen transfer. *Agronomy Journal* **86**, 259-266.
- ESSER, J. & LÜTKE ENTRUP, E., 1981: Ackerfutterbau und Gründüngung haben Zukunft. Die Arten und ihr Wert, Anbauformen und Nutzung, Hrsg. B. Ruhr-Stickstoff AG, 1-120. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- FAGERBERG, B. & EKBOHM, G., 1995: Variation of clover content and in nutritional value of grass-clover leys, Department of Crop Production Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, *Crop Production Science* **23**.
- FARNHAM, D. E. & GEORGE, J. R., 1993: Dinitrogen fixation and nitrogen transfer among red clover cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* **73** [4], 1047-1054.
- FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2003: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Futterleguminosen (Schnitt- und Mulchnutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Österreich. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Wien, 513-514.
- FAßBENDER, K., 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Klee-gras-umbruch. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- FRAME, J., 1976: The potential of tetraploid red clover and its role in the United Kingdom. *Journal of British Grassland Society* **31**, 139-152.
- FRAME, J., CHARLTON, J. & LAIDLAW, A., 1998: *Temperate Forage Legumes*, Cab International, Oxon, UK, New York, USA, 1-327.
- FRAME, J., HARKESS, R. D. & HUNT, I. V., 1972: The effect of a ryegrass companion grass and the variety of red clover on the productivity of red-clover swards. *Journal of British Grassland Society* **27**, 241-249.
- FRAME, J., HARKESS, R. D. & HUNT, I. V., 1985: Effect of seed rate of red clover and of companion timothy or tall fescue on herbage production. *Grass and Forage Science* **40**, 459-465.
- FRANKOW-LINDBERG, B. E., 1989: The effect of nitrogen and clover proportion on yield of red clover-grass mixtures. XVI. International Grassland Congress, Nice, France, 173-174.

- FRIEDEL, J. K., FARTHOFER, R., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2001: Nitrogen in forage legume crop residues, soil N balances, subsequent nitrogen mineralisation and nitrate leaching in organic farming in the pannonical region of Eastern Austria. 11th Nitrogen Workshop, Book of Abstracts, 9-12 September 2001, INRA, Reims, France, 293-294.
- FUKAI, S. & TRENBATH, B., 1993: Processes determining intercrop productivity. *Field Crops Research* **34**, 247-271.
- HAAS, G., SCHLONSKI, A. & KÖPKE, U., 2003: Rotklee gras im Organischen Landbau: Einfluss von Arten- und Sortenwahl auf Ertrag und Entwicklung. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL **109**, 1-67.
- HAGMEIER, H. U., 1986: Über die Stickstoffversorgung von Winter-Weizen und Winter-Roggen durch Leguminosen-Vorfrüchte, dargestellt anhand von Experimenten auf einem viehlos bewirtschafteten organisch-biologischen Ackerbaubetrieb auf der Schwäbischen Alb. Dissertation.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., NEERGAARD, D. A., JENSEN, L., HØGH-JENSEN, H. & MAGID, J., 1998: A field study of nitrogen dynamics and spring barley growth as affected by the quality of incorporated residues from white clover and ryegrass. *Plant and Soil* **203**, 91-101.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Dissertation, Universität Göttingen.
- HAYNES, R., 1980: Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy* **33**, 227-261.
- HEICHEL, G. H., 1989: Dinitrogen fixation and nitrogen transfer in temperate legume-grass communities. XIV. International Grassland Congress, 4.-11. Oct. 1989, Nice, France, 131-132.
- HEICHEL, G. H. & HENJUM, K. I., 1991: Dinitrogen fixation, nitrogen transfer and productivity of forage legume-grass communities. *Crop Science* **31**, 202-208.
- HELMERT, M., HEUWINKEL, H., GUTSER, R. & SCHMIDHALTER, U., 2003: Verändert Mulchen von Klee gras die N-Flüsse in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus? In: Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 47. Jahrestagung 28.-30. August 2003 in Braunschweig, 79-82.
- HEß, J., 1989: Klee gras umbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras - Klee gras - Weizen - Roggen. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HEUWINKEL, H., 2001: N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 6.-8. März 2001 Freising-Weißenstephan, Hrsg. H. J. Reents, 183-186.

- HEUWINKEL, H., KAISER, M., SCHMIDHALTER, U. & GUTSER, R., 2002: Mulchen von Klee gras vermindert den N-Gewinn: Ausmaß und Ursachen. In: VDLUFA Kongressband "Ressourcenschutz & Produktsicherheit - Qualitätssicherung in der Landwirtschaft" 114. VDLUFA-Kongreß, VDLUFA Schriftenreihe 58, 24-25.
- HEUWINKEL, H., LOCHER, F., GUTSER, R. & SCHMIDHALTER, U., 2003: Ausmaß und Ursachen der schlaginternen Variabilität der N₂-Fixierung von Klee gras. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 75-78.
- HOLLE, R. & UNTIEDT, H., 1999: Crop rotations on organic farms in Northern Germany and development of the wide row system. In: Designing and testing crop rotations for organic farming, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 159-162.
- HORN, M. & VOLLANDT, R., 1995: Biometrie: Multiple Tests und Auswahlverfahren, Gustav Fischer Verlag Stuttgart-Jena.
- HÖFLICH, G., 1989: N-Toleranz und Effektivität von *Rhizobium meliloti*- und *Rhizobium trifolii*-Isolaten bei Luzerne bzw. Rotklee. Zentralblatt für Mikrobiologie: Landwirtschaft, Technologie und Umweltschutz **144**, 363-371.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJOERRING, J. K., 1994: Measurement of biological dinitrogen fixation in grassland: Comparison of the enriched ¹⁵N dilution and the natural ¹⁵N abundance methods at different nitrogen application rates and defoliation frequencies. Plant and Soil **166**, 153-163.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJOERRING, J. K., 2001: Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. Soil Biology and Biochemistry **33**, 439-448.
- HØGH-JENSEN, H., WOLLENWEBER, B. & SCHJOERRING, J. K., 1997: Kinetics of nitrate and ammonium absorption and accompanying H⁺ fluxes in roots of *Lolium perenne* L. and N₂ fixing *Trifolium repens* L. Plant, Cell and Environment **20**, 1184-1193.
- JAHNS, U., WULFES, R., KORNER, A. & TAUBE, F., 1999: Einfluß der Begleitgrasart und des Kleeanteils auf Nichtstrukturkohlenhydratfraktionen in Rotklee gras gemengen. 43. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Bremen, Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen 108-111.
- JANETZKO, P. & SCHMIDT, R., 1996: Norddeutsche Jungmoränenlandschaften. In: Handbuch der Bodenkunde - Böden als Teile von Landschaften, Hrsg. Blume H.-P., Felix-Henningsen P., Fischer W.R., Frede H.-G., Horn R. & Stahr K., ecomed, 1-36.
- JARVIS, S. C., 1992: Grazed grassland management and nitrogen losses: an overview. In: Nitrate and Farming Systems, Ed. J. R. Archer, K. W. T. Goulding, S. C. Jarvis, C. M. Knott, E. Lord, S. E. Ogilvy, J. Orson, K. A. Smith & B. Wilson, Aspects of Applied Biology **30**, 207-214.
- JELMINI, G. & NÖSBERGER, J., 1978: Einfluß der Lichtintensität auf die Ertragsbildung und den Gehalt an nichtstruktur bildenden Kohlenhydraten und Stickstoff von *Festuca pratensis* Huds., *Lolium multiflorum* Lam., *Trifolium pratense* L. und *Trifolium repens* L. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau **146**, 154-163.

- 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. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Georg-August-Universität Göttingen.
- KASKE, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 17, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- KEATING, B. & CARBERRY, P., 1993: Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Research* **34**, 273-301.
- KESSLER, W., BOLLER, B. & NÖSBERGER, J., 1990: Distinct Influence of Root and Shoot Temperature on Nitrogen Fixation by White Clover. *Annals of Botany* **65**, 341-346.
- KÖPKE, U., 1995: Nutrient Management in Organic Farming Systems: the Case of Nitrogen. *Biological Agriculture and Horticulture* **11**, 15-29.
- KREIL, W., SIMON, W. & WOJAHN, E., 1983: Futterpflanzenbau. Empfehlungen, Richtwerte, Normative. Band 2: Ackerfutter, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1-255.
- KRISTENSEN, E., HØGH-JENSEN, H. & SILLEBAK KRISTENSEN, I., 1995: A simple model for estimation of atmospherically-derived nitrogen in grass-clover systems. *Biological Agriculture and Horticulture* **12**, 263-276.
- LAEGREID, M., BOCKMAN, O. & KAARSTADT, O., 1999: *Agriculture Fertilizers & the Environment*, Cabi Publishing, Wallingford, 1-294.
- LAIDLAW, A. S. & MCBRATNEY, J. M., 1980: The effect of companion perennial ryegrass cultivars on red clover productivity when timing of the first cut is varied. *Grass and Forage Science* **35**, 257-265.
- LARSSON, L., FERM, M., KASIMIR-KLEMEDTSSON, Å. & KLEMEDTSSON, L., 1998: Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient cycling in agroecosystems* **51** [1], 41-46.
- LEDGRAD, S. F. & STEELE, K. W., 1992: Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil* **141**, 137-153.
- LEHMANN, J., BACHMANN, F. & GUYER, H., 1978: Die gegenseitige Beeinflussung einiger Klee- und Grasarten in bezug auf das Wachstum und den Nährstoff- und Mineralstoffgehalt. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **146**, 178-196.
- LEHMANN, J. & MEISTER, E., 1982: Die gegenseitige Beeinflussung von Klee und Gräsern bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung in bezug auf Wachstum, Eiweiß-, Rohfaser- und Mineralstoffgehalt. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **151**, 24-41.

- LOCHER, F. & HEUWINKEL, H., 2001: Differenzierung der N₂-Bindung von Klee gras in bodenkundlich heterogenen Schlägen: Intensität und Ursachen. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 6.-8. März 2001 Freising-Weihenstephan, Hrsg. H. J. Reents, 187-190.
- LOGES, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 9, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- LOGES, R. & HEUWINKEL, H., 2004: Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras - Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare, 21-25.
- LOGES, R., KASKE, A. & TAUBE, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: Designing and testing crop rotations for organic farming, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 181-190.
- LOPOTZ, H.-W., 1996: Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Dissertation, Agrikulturchemisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- MACDUFF, J. & DHANOA, M., 1990: N₂-Fixation and Nitrate Uptake by White Clover Swards in Response to Root Temperature in Flowing Solution Culture. *Annals of Botany* **65**, 325-335.
- MCBRATNEY, J. M., 1981: Productivity of red clover grown alone and with companion grasses over a four-year period. *Grass and Forage Science* **36**, 267-279.
- MCGINN, S. & JANZEN, H., 1998: Ammonia sources in agriculture and their measurement. *Canadian Journal of Soil Science* **78** [1], 139-148.
- MCKENNEY, D., WANG, S., DRURY, C. & FINDLAY, W., 1993: Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues. *Soil Science Society of America Journal* **57**, 1013-1020.
- MEINSEN, C., 1983: Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotklee gras. Dissertation, Arbeit aus der Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Wissenschaftsbereich Pflanzenbau und Grünland, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- MORRIS, R. A. & GARRITY, D., 1993: Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrients. *Field Crops Research* **34**, 319-334.
- MÖLLER, K., 2004: Neue Möglichkeiten der Nutzung von Klee gras aufwüchsen und Koppelprodukten in viehlosen Betrieben. Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare, 32-33.
- MUELLER, T. & THORUP-KRISTENSEN, K., 2001: N-Fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. *Biological Agriculture and Horticulture* **18**, 345-363.

- NESHEIM, L. & ØYEN, J., 1994: Nitrogen fixation by red clover (*Trifolium pratense* L.) grown in mixtures with timothy (*Phleum pratense* L.) at different levels of nitrogen fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica* **44**, 28-34.
- NYKÄNEN, A., GRANSTEDT, A., LAINE, A. & KUNTTU, S., 2000: Yields and clover contents of leys of different ages in organic farming in Finland. *Biological Agriculture and Horticulture* **18** [1], 55-66.
- PAECH, E., 1995: Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung verschiedener Rotklee-typen in Gemengen mit Gräsern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Dissertation, Agrarwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock.
- PEOPLES, M. B. & CRASWELL, E. T., 1992: Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and Soil* **141**, 13-39.
- PEOPLES, M., HERRIDGE, D. & LADHA, J., 1995: Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* **174**, 3-28.
- PRINS, U., DE WIT, J. & BAARS, T., 2004: Partner farms: understanding the importance of grass-clover in both livestock and arable production. Occasional Symposium No. 37 British Grassland Society, 2004, Arrowhead Books Ltd, Reading, 149-152.
- RAUBER, R. & SCHMIDTKE, K., 1999: Nutzung der symbiontischen Stickstoff-Fixierleistung bei Leguminosen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **12**, 1-6.
- RAUHE, K., 1965: Humusersatzwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Düngung und des Ackerflächenverhältnisses. *Albrecht-Thaer-Archiv* **9** [4], 349-364.
- REITER, K., SCHMIDTKE, K. & RAUBER, R., 2002: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* **238**, 41-55.
- RINNE, M. & NYKÄNEN, A., 2000: Timing of primary growth harvest affects the yield and nutritive value of timothy-red clover mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland* **9** [2], 121-134.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24. - 26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Wien, 97-100.
- SCHMIDT, H., PHILIPPS, L., WELSH, J. P. & FRAGSTEIN, P. V., 1999: Legume breaks in stockless organic farming rotations: nitrogen accumulation and influence on the following crops. *Biological Agriculture and Horticulture* **17**, 159-170.
- SCHMIDTKE, K. & RAUBER, R., 2000: Stickstoffeffizienz von Leguminosen im Ackerbau. In: Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Hrsg. C. Möllers, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 48-69.

- SCHMUDE, D. & MEINSEN, C., 1991: Stickstoffdüngung zu Rotklee gras - Einfluss auf Ertrag, Stickstoffentzug und N₂-Fixierung sowie die NO₃-Dynamik im Boden. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, **4**, 147-150.
- SCHULTHEIß, U., SCHMÜCKER, M., APPEL, T. & HARRACH, T., 1993: Untersuchungen zur Stickstoffproblematik auf stillgelegten Ackerflächen in Wasserschutzgebieten. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, **6**, 221-224.
- SCHULZE, J., 2004: How are nitrogen fixation rates regulated in legumes? Journal of Plant Nutrition and Soil Science **167**, 125-137.
- SIMON, W., 1960: Luzerne, Klee und Klee gras, 2. Aufl., Deutscher Bauernverlag, Berlin, 1-311.
- SINKKONEN, A., 2003: A model describing chemical interference caused by decomposing residues at different densities of growing plants. Plant and Soil **250** [2], 315-322.
- STOCK, H.-G., 1971: Mehrjährige Untersuchungen über den Witterungseinfluß auf die Ertragsbildung von Rotklee und Luzerne. Abhandlungen des meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik **101** [XIII], 1-73.
- STOPE, C., MILLINGTON, S. & WOODWARD, L., 1996: Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. Agriculture, Ecosystems and Environment **57**, 189-196.
- TAUBE, F., 1986: Wachstumsanalytische Untersuchungen an Deutschem Weidelgras und Knautgras im Vegetationsablauf unter besonderer Berücksichtigung des Schnittzeitpunktes im 1. Aufwuchs. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Lehrstuhl Grünland und Futterbau CAU Kiel.
- TAYLOR, N. L. & QUESENBERRY, K. H., 1996: Red clover science, ed. by N. L. Taylor & K. H. Quesenberry, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1-226.
- TETEN, J.-H. & KORNER, A., 1995: Ertrag und Qualität von Rotklee und Rotklee-Gras-Gemengen unter den Anbaubedingungen der Geest. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **8**, 439-442.
- TISSERAND, J. L., 2002: Productivity of some grasses and legume cultivation in pure stands or in mixture in the French Cote d'Or region. Multi-Function Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation La Rochelle, France 27-30 May 2002, Duderstadt, 146-147.
- TOMM, G. O., WALLEY, F. L., VAN KESSEL, C. & SLINKARD, A. E., 1995: Nitrogen cycling in an alfalfa and brome grass sward via litterfall and harvest losses. Agronomy Journal **87**, 1078-1085.
- VAN KEULEN, H., LANTINGA, E. & VAN LAAR, H., 1998: Mixed Farming Systems in Europe Workshop Proceedings, Dronten, The Netherlands 25-28 May 1998. Wageningen, APMinderhoudhoeve-reeks **2**.

- VAN VUUREN, A. M. & MEIJS, J. A. C., 1987: Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing dairy cows. In: *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?* Ed. H. v. d. Meer, R. Unwin, T. v. Dijk & G. Ennik, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, 17-25.
- VON FRAGSTEIN, 1996: Organic arable farming - a contradiction? In: *Perspectives for agronomy - adopting ecological principles and managing resource use: selected papers of the Fourth Congress of the ESA*, Ed. M. van Ittersum, G. Venner, S. van de Geijn & T. Jetten, Veldhoven-Wageningen, The Netherlands, 438-439.
- WACHENDORF, M., BÜCHTER, M. & TAUBE, F., 2004: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass and Forage Science* **59** [1], 56-68.
- WACHENDORF, M., 1995: Untersuchungen zur Ertrags- und Qualitätsentwicklung von Rotklee und Rotklee gras in Abhängigkeit von der Nutzungsfrequenz, der Stickstoffdüngung und der Grasart. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Lehrstuhl Grünland und Futterbau CAU Kiel.
- WACQUANT, J., OUKNIDER, M. & JACQUARD, P., 1989: Evidence for a periodic excretion of nitrogen by roots of grass-legume associations. *Plant and Soil* **116**, 57-68.
- WEBER, A., HEUWINKEL, H. & GUTSER, R., 2002: Emissionen N-haltiger Spurengase aus Klee gras-Beständen mit Schnitt- und Mulchnutzung. In: *VDLUFA-Kongress*, 92-93. Leipzig.
- WHITEHEAD, D., 1995: *Grassland Nitrogen*, CAB International, Wallingford/UK, 1-397.
- WIVSTAD, M., 1999: Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. *Plant and Soil* **208**, 21-31.
- WOLFINGER, R. D., 1993: Covariance Structure Selection In General Mixed Models. *Communications in Statistics, Simulation and Computation* **22** [4], 1079-1106.
- WULFES, R., 1993: Wachstumsanalytische Untersuchungen zur Dynamik der Qualitätsentwicklung von Deutschem Weidelgras und Knaulgras im Vegetationsablauf in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und vom Standort. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Lehrstuhl Grünland und Futterbau CAU Kiel.
- ZIOGAS, G., 1995: Geologie und Böden der Versuchsbetriebe Lindhof und Hohen-schulen der Christian-Albrechts-Universität Kiel. Quartärgeologische und bodenkundliche Kartierung, Genese, Vergesellschaftung, Ökologie, Funktionen. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- ZÜRN, F., 1963: Steigerung der Feldfuttererträge durch Übergang vom Rotklee zum Klee gras. *Das Wirtschaftseigene Futter* **9** [3], 209-218.

2.7 Anhang

Tab. A1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Gesamt-Sprossmasse und die Gesamt-N-Menge in der Sprossmasse

Saatmischung	Gesamt-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gesamt-N-Menge [g N m ⁻²]			
	S	S+GD	GD	SE	S	S+GD	GD	SE
100%RK	1518,5 ^a	1498,1 ^a	1326,8 ^a	50,2	48,28 ^a	47,39 ^a	43,92 ^a	1,69
67% RK 33% DW	1530,2 ^a	1517,1 ^a	1213,0 ^{ab}		39,92 ^b	39,16 ^b	31,36 ^b	
33% RK 67% DW	1474,0 ^a	1450,3 ^a	1146,5 ^b		37,07 ^b	36,06 ^b	27,65 ^b	
100% DW	517,5 ^b	510,9 ^b	529,7 ^c		6,36 ^c	6,19 ^c	6,49 ^c	
Sign.	***	***	***		***	***	***	

SE= Standardfehler, Sign.=Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4), multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems (vgl. Tab. 5)

Tab. A2: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem*Aufwuchs für die Sprossmasse und die N-Menge in der Sprossmasse

Aufwuchs	Nutzungssystem	Gesamt-Sprossmasse [g TM m ⁻²]					Gesamt-N-Menge [g N m ⁻²]				
		100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE
1.	S	454,5	583,1	546,9	320,8	16,0	15,72	13,82	11,48	3,22	0,66
	S+GD	454,5	583,1	546,9	320,8		15,72	13,82	11,48	3,22	
	GD	454,5	583,1	546,9	320,8		15,72	13,82	11,48	3,22	
	Sign.	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	
2.	S	609,9	494,3 ^a	455,7	94,3	39,1	18,39	12,23 ^a	11,82	0,96	1,37
	S+GD	609,9	494,3 ^a	455,7	94,3		18,39	12,23 ^a	11,82	0,96	
	GD	495,3	299,7 ^b	336,7	108,8		16,74	7,98 ^b	8,66	1,25	
	Sign.	ns	***	ns	ns		ns	*	ns	ns	
3.	S	404,8	385,8 ^a	407,3 ^a	67,8	25,1	11,97	11,02 ^a	11,17 ^a	1,21	0,66
	S+GD	404,8	385,8 ^a	407,3 ^a	67,8		11,97	11,02 ^a	11,17 ^a	1,21	
	GD	345,8	267,0 ^b	205,6 ^b	73,2		10,11	7,34 ^b	5,59 ^b	1,29	
	Sign.	ns	**	***	ns		ns	***	***	ns	
4.	S	49,3 ^a	67,0	64,1 ^a	34,6	5,2	2,20 ^a	2,84 ^a	2,61 ^a	0,97	0,17
	S+GD	28,9 ^b	53,8	40,4 ^b	28,0		1,31 ^b	2,09 ^b	1,59 ^b	0,80	
	GD	31,2 ^b	63,2	57,3 ^a	26,9		1,35 ^b	2,23 ^b	1,92 ^b	0,73	
	Sign.	*	ns	**	ns		***	**	***	ns	

Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4), multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung (vgl. Tab. 5)

Tab. A3: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Klee- bzw. Gras-Sprossmasse und die N-Menge in der Klee- bzw. Gras-Sprossmasse

Nutzungssystem	Klee-Sprossmasse [g TM m ⁻²]				Gras-Sprossmasse [g TM m ⁻²]			
	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	SE	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE
S	1518,5 ^a	907,4 ^a	946,7 ^a	60,4	622,9	527,2	517,5	32,9
S+GD	1498,1 ^{ab}	883,4 ^a	916,5 ^a		633,7	533,9	510,9	
GD	1326,8 ^b	552,0 ^b	547,5 ^b		661,0	599,0	529,7	
Sign.	*	***	***		ns	ns	ns	
Nutzungssystem	Klee-N-Menge [g N m ⁻²]				Gras-N-Menge [g N m ⁻²]			
	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	SE	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE
S	48,28	28,15 ^a	28,33 ^a	1,85	11,75	8,74	6,36	0,68
S+GD	47,39	27,08 ^a	27,04 ^a		12,14	9,03	6,19	
GD	43,92	18,20 ^b	17,60 ^b		12,84	10,00	6,49	
Sign.	ns	***	***		ns	ns	ns	

Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung (vgl. Tab. 5)

Tab. A4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Mulch-N- und die Residuen-N-Menge, den Boden-N_{min}-Gehalt und die N₂-Fixierungsleistung

Nutzungssystem	Mulch-N-Menge [g N m ⁻²]					Residuen-N-Menge [g N m ⁻²]				
	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE
S	2,20 ^c	2,84 ^c	2,61 ^c	0,97 ^b	0,15	11,55 ^b	14,92 ^{ab}	14,84 ^b	10,95	
S+GD	13,28 ^b	13,11 ^b	12,76 ^b	2,00 ^{ab}	0,69	14,60 ^{ab}	14,59 ^b	16,71 ^{ab}	11,42	1,03
GD	43,92 ^a	31,36 ^a	27,65 ^a	6,49 ^a	2,15	14,72 ^a	17,82 ^a	18,26 ^a	12,19	
Sign.	***	***	***	*		*	*	*	ns	

Nutzungssystem	Boden-N _{min} [kg N ha ⁻¹]					N ₂ -Fixierung [g N m ⁻²]				
	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE	100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE
S	42,80 ^b	29,89	30,60	30,42		42,51 ^a	35,60 ^a	32,98 ^a	-	
S+GD	57,49 ^a	40,69	32,21	23,29	3,58	36,52 ^b	26,96 ^b	25,31 ^b	-	1,65
GD	60,44 ^a	34,94	29,12	25,79		6,12 ^c	6,80 ^c	6,58 ^c	-	
Sign.	**	ns	ns	ns		***	***	***	-	

Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4), multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung (vgl. Tab. 5)

Tab. A5: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Boden-N_{min}-Gehalt nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998)

Varianzursache	Boden-N _{min} -Gehalt [kg ha ⁻¹]			
	Tiefe 0-30 cm	Tiefe 30-60 cm	Tiefe 60-90 cm	Tiefe 0-90 cm
mi	27,97***	10,38**	4,56*	26,67***
sys	49,01**	34,69***	15,21**	84,84***
mi*sys	10,67**	ns	ns	11,20**

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), mi= Saatmischung, sys= Nutzungssystem

Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Boden-N_{min}-Gehalte in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm sowie 0-90 cm nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998)

Tiefe [cm]	Nutzungssystem	Boden-N _{min} -Gehalt [kg ha ⁻¹]					
		100% RK	67% RK 33% DW	33% RK 67% DW	100% DW	SE	
0-30	S	13,16	8,72	9,45	4,97		
	GD	34,02	19,25	14,06	7,83		2,26
	Sign.	***	**	ns	ns		
30-60	S	9,51	6,72	6,32	3,62		
	GD	20,88	14,03	10,74	6,62		1,71
	Sign.	***	*	ns	ns		
60-90	S	4,17	3,54	2,33	2,21		
	GD	10,58	6,06	4,05	3,75		1,23
	Sign.	**	ns	ns	ns		
0-90	S	26,85	18,98	18,10	10,80		
	GD	65,49	39,33	28,85	18,21		3,76
	Sign.	***	**	*	ns		

Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4), paarweiser Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung (vgl. Tab. 5)

Kapitel 3

Einfluss der Bewirtschaftung der Vorfrucht Rotklee/ Rotklee gras und einer organischen Düngung auf die Ertragsleistung von Winterweizen

*Impact of defoliation system of red clover and grass-red clover
and organic manure on yield performance
of succeeding winter wheat*

3 Einfluss der Bewirtschaftung der Vorfrucht Rotklee/ Rotklee gras und einer organischen Düngung auf die Ertragsleistung von Winterweizen

3.1 Einleitung

Im Ökologischen Landbau wird auf den Einsatz mineralischer N-Düngemittel verzichtet und der N-Input in die Fruchtfolge erfolgt im wesentlichen über den Anbau von Leguminosen. Unter norddeutschen Klimaverhältnissen wird insbesondere Rotklee (*Trifolium pratense* L.), der ein hohes N₂-Fixierungspotential besitzt, in Reinsaat bzw. im Gemenge mit Weidelgräsern als tragendes Fruchtfolgeglied angebaut. Für die Höhe der fixierten N-Menge ist neben der Bewirtschaftungsdauer und der Ansaatmischung insbesondere die Nutzungsform der Bestände von Bedeutung (LOGES 1998). Traditionell werden Klee gras-Bestände futterbaulich genutzt und die Sprossmasse wird in der Wiederkäuerfütterung verwertet (MEINSEN 1983) bzw. in jüngster Zeit auch zunehmend als Kosubstrat in Biogasanlagen eingesetzt (MÖLLER 2004). Beide Verwertungsmöglichkeiten ermöglichen die Bereitstellung von Wirtschaftsdüngern, die gezielt in der Fruchtfolge zur Optimierung der Ertragsleistung von Marktfrüchten eingesetzt werden können. Dagegen sind die Klee gras-Bestände auf viehlos wirtschaftenden Betrieben in der Regel als Rotationsbrachen in die Fruchtfolge integriert: der Aufwuchs wird mehrmalig gemulcht und musste bis zum Jahr 2000 im Rahmen der konjunkturellen Flächenstilllegung auf der Fläche verbleiben. Jedoch ist seit dem Wirtschaftsjahr 2001/02 auch die Schnittgutabfuhr von ökologischen Stilllegungsflächen erlaubt (ANONYM 2002). Das Mulchen führt im Vergleich zur Schnittgutabfuhr zu einem geringeren Betriebs-N-Input, da einerseits erhöhte N-Verluste (MCGINN & JANZEN 1998; RUHE et al. 2003; HELMERT et al. 2003) und andererseits wesentlich geringere N₂-Fixierungsleistungen zu verzeichnen sind (LOGES 1998).

Als direkte Klee gras-Folgefrucht wird häufig Winterweizen angebaut, da er eine Kulturart mit hohem Vorfruchtanspruch ist (HANUS & SCHÖNBERGER 1977) und eine hohe Marktleistung erzielt (ANONYM 2004). Durch den zusätzlichen Einsatz von Wirtschaftsdüngern (z.B. Gülle oder Jauche) kann der Kornertrag und der Qualitätsparameter Kornrohprotein-Gehalt von Winterweizen positiv beeinflusst

werden. Neben der Düngerart und der applizierten Menge ist insbesondere der Zeitpunkt der Düngung von Bedeutung (PIORR 1995; RUHE 2000).

Obwohl mit der Ausdehnung der ökologischen Anbaufläche auch der Anbau von Winterweizen stetig zu nimmt (BLUMÖHR 2004) und ein großer Anteil der Betriebe viehlos wirtschaftet (SCHMIDT 2004), gibt es nur wenige wissenschaftliche Studien, die die Bedeutung der Klee gras-Nutzung im Hinblick auf die N-Versorgung der Folgefrucht Winterweizen untersuchen: FARTHOFER et al. (2002) prüfen unter kontinentalen Klimaverhältnissen den Einfluss unterschiedlich genutzter Luzerne- bzw. Luzerne gras-Bestände auf Winterweizen und DREESMANN (1993) gibt die Wirkung verschieden genutzter Leguminosengras-Gemenge auf die Sprossmasse von Winterweizen zu einem Zeiterntetermin (Mitte Mai) an. In umfassenden Untersuchungen konnten LOGES (1998) und KASKE (2000) zeigen, dass die Variation des Kleeanteils in der Saatmischung und die Nutzungsform (Schnittgutabfuhr vs. Gründüngung) die N-Lieferung aus den Ernterückständen und folglich die Ertragsleistung von Winterweizen beeinflusst. Jedoch wird in diesen Untersuchungen nicht das praxisüblich häufige Mulchen, sondern eine geringere Mulchintensität (2x Mulchen) geprüft (LOGES 1998; KASKE 2000). Darüber hinaus wird in keiner der genannten Untersuchungen die Wirkung eines kombinierten Nutzungssystems aus Schnittgutabfuhr *und* Gründüngung geprüft, das aber gerade auch für viehlose Betriebe den Bezug von Wirtschaftsdüngern ermöglicht: in der Kooperation mit einem viehhaltenden Betrieb können Teilschnittgutmengen von Rotationsbrachen mit äquivalenten Wirtschaftsdüngermengen gehandelt werden.

In dieser Studie soll der Einfluss i) einer 3-Schnittnutzung, ii) einer kombinierten Nutzungsform (Schnittgutabfuhr & Mulchen) und iii) das praxisübliche mehrmalige Mulchen von Rotklee- bzw. Rotklee gras auf die Ertragsleistung und die N-Verwertung der Folgefrucht Winterweizen in Abhängigkeit von einer unterschiedlich terminierten organischen Düngung untersucht werden.

Die Zielsetzung dieser Untersuchung ist es, die Ertragsleistung von Winterweizen im marktfrucht orientierten ökologischen Anbau zu optimieren.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Standort

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen eines Feldversuches auf dem Versuchsgut für Ökologischen Landbau und extensive Landnutzungssysteme „Lindhof“ der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in den Zeiträumen 1998/99 und 1999/2000 durchgeführt. Der Versuchsstandort wurde aus wechselzeitlichen Ablagerungen sandigen bzw. lehmigen Geschiebemergels gebildet und liegt in der ostholsteinischen Jungmoränenlandschaft direkt an der Eckernförder Bucht. Die Bodentypen Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley und Kolluvisol sind vorherrschend und wechseln oft kleinräumig (ZIOGAS 1995; JANETZKO & SCHMIDT 1996). Als Bodenart ist ein schwach humoser sandiger Lehm (sL) bzw. lehmiger Sand (IS) mit einer Bodenwertzahl von 40 bis 45 anzutreffen (bodenchemische Kenngrößen der Versuchsflächen: $C_t = 1,04\%$, $N_t = 0,10\%$, $pH = 6,3$).

Der Versuchsstandort weist ein ozeanisch gemäßigt mildes Klima auf. Die Witterungsdaten der Untersuchungszeiträume wurden auf dem Versuchsbetrieb erhoben und das langjährige Mittel stammt von der 20 km entfernt liegenden Messstation des Deutschen Wetterdienstes Kiel-Holtenau (Tab. 1). Das Versuchsjahr 1998 war durch überdurchschnittlich hohe Niederschlagsereignisse in den Monaten April, Juni und Juli sowie November gekennzeichnet, die zu einer deutlich über dem langjährigen Mittel liegenden Jahresniederschlagssumme führten. Dagegen war die Niederschlagssumme des Jahres 1999 vergleichbar mit dem langjährigen Mittel und die Vegetationsperiode 1999 wies unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen auf. Im Versuchsjahr 2000 fiel sowohl während der Vegetationszeit als auch in den Wintermonaten äußerst wenig Niederschlag.

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen der Versuchsjahre 1998, 1999 und 2000 (Witterungsdaten des Versuchsstandortes) sowie im langjährigen Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau)

Mean annual temperature and annual rainfall of experimental years 1998, 1999 and 2000 and long-term averages of temperature and rainfall

	1998	1999	2000	langjähriges Mittel (1980-2003)
Temperatur [°C]	8,8	9,6	9,6	8,7
Niederschlag				
Jahressumme	922	711	472	774
[mm]				
Summe März bis Oktober	578	384	277	516

3.2.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

In den folgenden Ausführungen werden die Bestände von Rotklee und Gras in Reinsaat und im Gemenge als Klee/Gras-Bestände bezeichnet. Die Versuchsfaktoren Saatmischung, Bewirtschaftung (Nutzungssystem) und organische Düngung wurden in einer 3-faktoriellen Streifen-/Spaltanlage (strip-split plot) in dreifacher Wiederholung geprüft. In einer Streifenanlage wurden Klee/Gras-Bestände als Blanksaat in verschiedenen Saatmischungen (horizontaler Streifen, Kleinparzelle) angelegt und im folgenden Jahr unterschiedlichen Nutzungsformen (vertikaler Streifen, Großparzelle) unterzogen. Der vertikale Streifen wurde im nachfolgenden Jahr für die organische Düngung zum Winterweizen unterteilt (split-plot), so dass für diesen Faktor eine Spaltanlage vorlag. Die Parzellengröße betrug in den Untersuchungszeiträumen 1998/1999 für Klee/Gras 9 m x 15 m und für Winterweizen 9 m x 3 m sowie in der Versuchsperiode 1999/2000 6 m x 12 m bzw. 6 m x 3 m. Für die überjährigen Klee/Gras-Bestände wurde Rotklee (*Trifolium pratense* L. cv. Maro) und Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne* L. cv. Mandat) gewählt. Das Saatmischungsverhältnis der Klee gras-Gemenge ist nach dem substitutiven Design bemessen und bezieht sich auf die Reinsaatmenge der Gemengepartner. Als Referenzbestand diente ein nicht zusätzlich mit Stickstoff versorgter Dt. Weidelgras-Bestand. Tabelle 2 zeigt die Versuchsfaktoren und deren Abstufungen.

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage

Factors and levels of factors of the experimental design

Faktor	Faktorstufe	
1. Klee/Gras-Saatmischung	1.1 100% Rotklee (RK)	12 kg ha ⁻¹
	1.2 67% Rotklee + 33% Dt. Weidelgras	8 kg ha ⁻¹ + 10 kg ha ⁻¹
	1.3 33% Rotklee + 67% Dt. Weidelgras	4 kg ha ⁻¹ + 20 kg ha ⁻¹
	1.4 100% Dt. Weidelgras (DW)	30 kg ha ⁻¹
2. Klee/Gras-Nutzungssystem	2.1 Schnittgutabfuhr (S)	3 Schnitte + 1x Mulchen
	2.2 Schnittgutabfuhr+Gründüngung (S+GD)	2 Schnitte + 2x Mulchen
	2.3 Gründüngung (GD)	4x Mulchen
3. organische Düngung zum Winterweizen	1.1 Kontrolle (N ₀)	0 kg N ha ⁻¹
	1.2 Mitte Bestockung (N ₅₀ EC 25)	50 kg N ha ⁻¹
	1.3 Anfang Schossen (N ₅₀ EC 30)	50 kg N ha ⁻¹
	1.4 Mitte Ährenschwellen (N ₅₀ EC 45)	50 kg N ha ⁻¹
4. Versuchsperiode	3.1 1998 / 1999	Klee/Gras / Erntejahr Weizen
	3.2 1999 / 2000	Klee/Gras / Erntejahr Weizen

Die Klee gras-Bestände wurden in ihrem ersten Hauptnutzungsjahr differenziert bewirtschaftet. In den Schnittvarianten wurde mit einem Kreiselmäher auf 5 cm

Stoppelhöhe gemäht und das Aufwuchsmaterial von der Fläche entfernt. Zeitgleich wurde in den Mulchvarianten mit einem Schlegelmäher auf gleicher Höhe gemäht und das Grüngut auf der Fläche belassen. Insgesamt erfolgte die Bewirtschaftung zu vier Terminen: Schnittgutabfuhr der ersten drei Aufwüchse in der Variante S und der ersten zwei Aufwüchse bei S+GD. Im Nutzungssystem S wurde der vierte Aufwuchs und bei S+GD der dritte und vierte Aufwuchs gemulcht, während im System GD alle Aufwüchse gemulcht wurden. Der Herbstumbruch der Klee/Gras-Bestände erfolgte am 5. Oktober 1998 bzw. 4. Oktober 1999 durch flaches Fräsen und anschließendes Pflügen. Winterweizen wurde mit 350 Körner m^{-2} ausgesät (*Triticum aestivum* L. cv. Bussard). Die organische Düngung zum Winterweizen wurde in Form von betriebseigener Rindergülle aus extensiver Mutterkuhhaltung ($2,5 \text{ kg N m}^{-3}$) mit Schleppschlauchtechnik durchgeführt. Im Rahmen der Düngungsmaßnahme wurden 50 kg N ha^{-1} alternativ zu unterschiedlichen phänologischen Entwicklungsstadien des Winterweizens (EC 25, EC 30, EC 45; BBA 1997) appliziert. Eine ungedüngte Variante diente als Kontrolle (Tab. 2). Die Kornernte erfolgte am 5. August 1999 bzw. 13. August 2000 nach dem Kerndruschverfahren mit einem Parzellenmähdrescher (Fa. HALDRUP) auf einer Fläche von $8,25 \text{ m}^2$ ($1,50 \text{ m} \times 5,50 \text{ m}$).

3.2.3 Probenahme und Untersuchung

Zum Zeitpunkt des Umbruchtermins wurden die Klee/Gras-Residuen auf einer Fläche von $0,25 \text{ m}^2$ in zweifacher Wiederholung je Parzelle erfasst. Diese Wiederholungen gingen als arithmetisches Mittel in die statistische Analyse ein. Die oberirdische Biomasse der Klee/Gras-Residuen setzt sich zusammen aus dem gemulchten Sprossmaterial des 4. Aufwuchses (Sprossmaterial $> 5 \text{ cm}$) und den Stoppeln sowie in den Varianten S+GD und GD auch aus Altmulch vorheriger Aufwüchse (Sprossmaterial $< 5 \text{ cm}$). Die Klee/Gras-Stoppeln wurden mit einem Furniermesser von der Fläche entfernt. Von den freigeräumten Probenahmeflächen wurden Wurzelproben mit einem Wurzelbohrer (Durchmesser 8 cm , Fa. EIJKELKAMP) in einer Tiefe von $0\text{-}30 \text{ cm}$ in 6-facher Messwiederholung je Parzelle genommen. In einer Wurzelwaschanlage wurden die Klee/Gras-Wurzeln aus dem Erdzylinder unter Einwirkung von Druckluft und Wasserstrahlen ausgespült und mit einem Sieb (1 mm) aufgefangen. Die Pflanzenproben wurden bei 65°C mindestens 20 Stunden getrocknet und mit einer Labormühle (Fa. TECATOR, 1 mm Sieb) vermahlen. Die Qualitätsparameter Stickstoff (N), Kohlenstoff (C) und Asche wurden mit dem Nah-

Infrarot-Reflexions-Spektroskopie-Verfahren (NIRS) (NIRS-Gerät 5000, Fa. Foss) bestimmt. Die Auswertung der Reflexionswerte erfolgte mit dem Programmpaket WINISI (Fa. Infrasoftware International). Die qualitative Laboranalyse der Kalibrations- und Validationproben wurde mit dem C/N-Analyzer Vario MAX CN (Fa. ELEMENTAR ANALYSENSYSTEME) nach der DUMAS-Methode durchgeführt. Die Bestimmung der Aschegehalte von Klee/Gras-Stoppeln und -Wurzeln erfolgte nach Veraschung im Muffelofen bei 550°C.

Zur Ermittlung der Sprossmassebildung und N-Aufnahme von Winterweizen über Winter wurden zu Vegetationsbeginn (Ende März) aus jeder Parzelle mit einer Rasenkantenschere Pflanzentriebe direkt über der Bodenoberfläche von 0,25 m² entnommen. Mit gleicher Methode wurden Weizenpflanzen direkt vor der Kornernte beerntet. Von den oberirdischen Weizenpflanzen wurde eine repräsentative Unterprobe zur Trockenmasse- und Qualitätsbestimmung weiterverarbeitet (s.o.). Die Triebzahl und die Tausendkornmasse (TKM), die aus einer Kornunterprobe mit einem Kornzählgerät bestimmt wurde, dienen zur Ertragsstrukturbestimmung. Der Parameter Anzahl Körner je Ähre wurde rechnerisch aus den Parametern Kornertrag, Triebanzahl und TKM ermittelt. Alle Kornertragsparameter beziehen sich auf 100% Trockenmasse (TM). Die Korn-N-Gehalte wurden mit dem NIRS-Verfahren gemessen und die Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalte aus der Multiplikation der N-Gehalte mit dem Faktor 5,71 abgeleitet (KIRCHGESSNER 1997). Tabelle 3 zeigt die statistischen Kennzahlen der Kalibrations- und Validationsgleichungen.

Tab. 3: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r²C: Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation)

Statistical characteristics of NIRS-calibration for N, C and ash (n: number of samples; MW: mean; SD: standard deviation; SEC: standard error of calibration; r²C: coefficient of determination of calibration; SEV: standard error of validation)

		Parameter	n	MW	Spannbreite	SD	SEC	r ² C	SEV
Klee/Gras	Sprossmaterial > 5 cm	N	134	2,77	0,94-4,99	0,99	0,10	0,99	0,16
		C	142	44,67	42,23-46,86	0,95	0,46	0,76	0,49
	Sprossmaterial < 5 cm	N	172	1,73	0,41-3,68	0,80	0,10	0,98	0,13
		C	174	37,60	15,57-46,58	6,33	1,31	0,96	1,74
	Wurzeln	Asche	172	24,48	5,00-69,50	13,63	2,83	0,96	3,84
		N	116	1,30	0,24-2,42	0,50	0,07	0,98	0,07
		C	113	30,89	6,31-45,06	8,43	0,98	0,99	0,95
		Asche	107	40,48	4,84-85,85	17,20	2,75	0,98	2,74
Weizen	Spross	N	177	2,46	0,28-5,99	1,69	0,11	0,99	0,11
	Korn	N	139	1,72	1,29-2,14	0,16	0,02	0,99	0,02

3.2.4 Berechnung der scheinbaren N-Verwertung

Im Rahmen dieser Berechnung wird die scheinbare N-Verwertung durch das Winterweizenkorn ermittelt. Die scheinbare Verwertung von Gülle-N (apparent nitrogen recovery of slurry-N: ANR_{slurry}) bezieht sich auf die eingesetzte Gülle-N-Menge von 50 kg N ha^{-1} (JOHNSTON et al. 1994). In der Kalkulation wurden gleichbehandelte Parzellen miteinander in Beziehung gesetzt.

$$(1) ANR_{\text{slurry}} [\%]: \frac{\text{Korn-N}_{50} - \text{Korn-N}_0}{50} \times 100$$

Korn- N_{50} : Weizenkorn-N-Menge der mit 50 kg N ha^{-1} gedüngten Varianten

Korn- N_0 : Weizenkorn-N-Menge der ungedüngten Varianten (N_0)

Der Effekt des zusätzlichen N, der durch die Rotklee- bzw. Rotklee gras-Bestände im Vergleich zur Gras-Reinsaat generiert wird, wird als scheinbare N-Ausnutzung durch das Winterweizenkorn („apparent nitrogen recovery of additional residual legume-N“: $ANR_{\Delta \text{leg.}}$) quantifiziert. Für die Ermittlung des zusätzlichen N wird die Differenz aus der N-Menge der klee haltigen Residuen minus der N-Menge der Residuen der Gras-Reinsaat gebildet ($\Delta N_{\text{leg.}}$).

$$(2) ANR_{\Delta \text{leg.}} [\%]: \frac{\text{Korn-N}_{\text{leg.}} - \text{Korn-N}_{\text{Gras}}}{\text{Residuen-N}_{\text{leg.}} - \text{Residuen-N}_{\text{Gras}}} \times 100$$

Korn- $N_{\text{leg.}}$: Weizenkorn-N-Menge nach klee haltiger Vorfrucht

Korn- N_{Gras} : Weizenkorn-N-Menge nach Gras-Reinsaat

Residuen- $N_{\text{leg.}}$: N-Menge von klee haltigen Residuen

Residuen- N_{Gras} : N-Menge der Gras-Reinsaat-Residuen

In Einzelfällen kam es auf Parzellenniveau zu kleineren Werten im Nenner ($\Delta N_{\text{leg.}}$) gegenüber dem Zähler ($\Delta \text{Korn-N}$). Um eine scheinbare N-Ausnutzung von $> 100\%$ zu vermeiden, wurde für den Nenner der Gleichung (2) eine Randbedingung formuliert: ist $(\text{Residuen-N}_{\text{leg.}} - \text{Residuen-N}_{\text{Gras}}) < (\text{Korn-N}_{\text{leg.}} - \text{Korn-N}_{\text{Gras}})$, dann wird $(\text{Residuen-N}_{\text{leg.}} - \text{Residuen-N}_{\text{Gras}}) = (\text{Korn-N}_{\text{leg.}} - \text{Korn-N}_{\text{Gras}})$

3.2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS[®] (ANONYM 1999) auf Basis eines gemischten Modells (Prozedur MIXED). In das statistische Modell wurden die Faktoren Klee/Gras-Saatmischung, Klee/Gras-Nutzung, organische Düngung und Versuchsjahr sowie deren Interaktionen aufgenommen. Vor Beginn der statistischen Datenanalyse wurde mit Hilfe eines Residuen-Schätzwertplots überprüft, ob Varianzhomogenität vorliegt.

Mit der Anweisung „random“ wurde die Wiederholung innerhalb der Versuchsjahre wdh(jahr) als zufälliger Effekt in das statistische Modell aufgenommen. Die Varianzen wurden mittels F-Test auf Signifikanz geprüft. Folgende Sicherungsgrenzen wurden in der Auswertung verwendet: ns= nicht signifikant ($P \geq 5\%$); * = signifikant ($5\% > P \geq 1\%$); ** hoch signifikant ($1\% > P \geq 0,1$); *** höchst signifikant ($P < 0,1\%$). Ausgewählte und signifikante Wechselwirkungen wurden mit dem Test of Effect Slices (option= slice) betrachtet, um Signifikanzniveaus auf Faktorstufenebene zu ermitteln. Die multiplen Mittelwertvergleiche erfolgten mittels T-Test mit anschließender Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach dem Bonferroni-Holm-Prinzip (HORN & VOLLANDT 1995). Werte mit gleichem Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ($P \geq 0,05$). Bei den angegebenen Mittelwerten handelt es sich um Least Square Means (LSM).

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Residuen der Rotklee-/Rotklee gras-Bestände

Die Residuen werden in den Fraktionen oberirdische Biomasse (Spross) und Wurzeln sowie als Gesamt-Residuen dargestellt und durch die Parameter organische Masse (OM), Stickstoff-(N)-Menge und C:N-Verhältnis beschrieben. Die varianzanalytischen Auswertungen zeigen, dass im wesentlichen die Hauptfaktoren Jahr, Saatmischung und Nutzungssystem signifikante Effekte ausüben (Tab. 4). Die Parameter werden in Tabelle 5 in Form von Schätzwerten (LSM) in Abhängigkeit von der Hauptfaktorwirkung wiedergegeben.

Das C:N-Verhältnis ist signifikant von der Mehrfachinteraktion zwischen Jahr, Saatmischung und Nutzungssystem beeinflusst. Auf eine Darstellung wird jedoch verzichtet, da die Ausprägung innerhalb eines Jahres gleichgerichtet ist. Die Interaktion zwischen Saatmischung und Nutzungssystem hat einen signifikanten Effekt auf das C:N-Verhältnis der oberirdische Biomasse, Wurzeln und Gesamt-Residuen und wird in Abbildung 1 beschrieben.

Tab. 4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die organische Masse (OM), die N-Menge und das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras

Source of variance and levels of significance for organic matter (OM), amount of N and C:N-ratio of red clover and grass residues

Residuen-Fraktion	Parameter	Varianzursache						
		j	mi	j*mi	sys	j*sys	mi*sys	j*mi*sys
Sprossmaterial	OM	ns	4,15*	ns	9,82**	ns	ns	ns
	N-Menge	ns	41,11***	ns	5,54*	ns	ns	ns
	C:N	11,17*	347,69***	9,44***	ns	ns	15,13***	ns
Wurzeln	OM	22,38***	34,08***	4,15*	ns	ns	ns	ns
	N-Menge	47,43***	5,29**	ns	3,35*	3,35*	ns	ns
	C:N	59,84***	114,94***	11,50***	21,72***	21,72***	4,02**	4,02**
Gesamt-Residuen	OM	15,30**	25,29***	ns	6,91*	ns	ns	ns
	N-Menge	42,93***	10,24***	ns	8,48**	4,44*	ns	ns
	C:N	70,01***	220,82***	17,44***	15,82***	14,58***	5,38***	3,89**

Signifikanzniveaus aus dem F-Test mit ns: nicht signifikant ($P \geq 5\%$), *: signifikant ($5\% > P \geq 1\%$), **: hoch signifikant ($1\% > P \geq 0,1$), ***: höchst signifikant ($P < 0,1\%$); j= Jahr; mi= Saatmischung; sys= Nutzungssystem

Für die Klee/Gras-Gesamtresiduen wird zum Herbstumbruch im Jahr 1999 gegenüber 1998 eine größere OM- und N-Akkumulation sowie ein niedrigeres C:N-Verhältnis bestimmt (Tab. 5). Die OM bzw. N-Menge der Gesamt-Residuen ist im Jahr 1999 um ca. 20% bzw. 40% erhöht. Die Betrachtung der Fraktionen

oberirdische Biomasse und Wurzeln zeigt, dass der Jahreseffekt der Gesamt-Residuen im wesentlichen durch die Wurzeln hervorgerufen wird (Tab. 5). Dagegen ist in der oberirdischen Biomasse für die Parameter OM und N-Menge kein Jahreseffekt und beim C:N-Verhältnis nur ein geringer Unterschied abzusichern.

Der Faktor Saatmischung beeinflusst nahezu alle Kenngrößen der Residuen höchst signifikant. Mit zunehmendem Grasanteil in der Saatmischung steigt die Gesamt-OM an (Tab. 5). Im Vergleich zur Rotklee-Reinsaat wird für das kleebetonte Gemenge (67% RK + 33% DW) eine um ca. 50% höhere Gesamt-OM festgestellt. In den Mischungen mit Gras beträgt die Wurzel-OM das 2- bis 3-fache der oberirdischen Biomasse-OM. Im Hinblick auf die Wurzel-N-Menge wird kein Unterschied zwischen Saatmischungen mit Klee und der Gras-Reinsaat festgestellt. Dagegen ist die N-Menge der kleehaltigen oberirdischen Biomasse signifikant höher als die der Gras-Reinsaat. Es zeigen sich keine Unterschiede in der N-Menge der Gesamt-Residuen zwischen den Varianten 100% RK und 100% DW. In der grasbetonten Saatmischung wird mit $16,6 \text{ g N m}^{-2}$ die größte residuale N-Menge ermittelt. Demgegenüber ist die Gesamt-N-Menge der Rotklee-Reinsaat Residuen signifikant geringer ($13,6 \text{ g N m}^{-2}$). Die Bestände mit ausschließlicher Mulchbewirtschaftung (GD) zeigen im Vergleich zu S bzw. S+GD eine um $79,0$ bzw. $59,4 \text{ g m}^{-2}$ höhere OM in der oberirdischen Biomasse (Tab. 5). Dagegen kann kein Unterschied in der Wurzel-OM der verschieden genutzten Klee/Gras-Bestände ermittelt werden. Für die Gesamtresiduen ergibt sich, dass in den Varianten S+GD und GD gegenüber S eine um 15% bzw. 20% höhere OM bestimmt wird. Hinsichtlich der Gesamtresiduen-N-Menge kann in der Variante GD im Vergleich zu S eine um 20% höhere N-Menge ermittelt werden.

Je höher der Grasanteil in der Saatmischung ist, desto weiter sind die C:N-Verhältnisse im Residuenmaterial (Tab. 5, Abb. 1, Tab. A1). Die C:N-Verhältnisse der Gras-Reinsaat-Residuen sind gegenüber denen der Rotklee-Reinsaat um mehr als den Faktor 2 erhöht (Tab. 5). Von der Interaktion zwischen Saatmischung und Nutzung geht ein signifikanter Einfluss auf die Ausprägung der C:N-Verhältnisse aus (Abb. 1): Für die oberirdische Residuenfraktion wird festgestellt, dass zunehmende Mulchnutzung in reinen Grasbeständen (100% DW) zu engeren und in kleehaltigen Beständen zu weiteren C:N-Verhältnissen führt (Abb. 1a). Bezüglich der C:N-Verhältnisse von Wurzeln zeigt sich, dass grashaltige Bestände nach ausschließlicher Mulchnutzung (GD) im Vergleich zur Schnittgutabfuhr niedrigere

Wurzel-C:N-Verhältnisse besitzen (Abb. 1b). Die C:N-Verhältnisse der kleehaltigen Gesamt-Residuen sind von der Nutzungsform unbeeinflusst, während Gras-Reinsaat-Residuen ein signifikant engeres C:N-Verhältnis nach GD aufweisen im Vergleich zu S und S+GD (Abb. 1c).

Tab. 5: Bedeutung der Hauptfaktoren (Versuchsjahr, Saadmischung, Nutzungssystem) für die organische Masse (OM), die N-Menge und das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras

Impact of main effects (year, seed-mixture, defoliation system) on organic matter (OM), amount of N and C:N-ratio of grass-clover residues

Parameter	Residuen-Fraktion	Versuchsjahr		SE / Sign.
		1998	1999	
OM [g m ⁻²]	Spross	202,1	207,4	13,3ns
	Wurzeln	390,6	510,0	17,8***
	Gesamt	592,7	717,4	22,5**
N-Menge [g m ⁻²]	Spross	5,61	6,11	0,32ns
	Wurzeln	6,39	10,65	0,44***
	Gesamt	12,00	16,76	0,51***
C:N	Spross	21,16	19,02	0,45*
	Wurzeln	31,29	24,51	0,62***
	Gesamt	27,75	22,91	0,41***

Parameter	Residuen-Fraktion	Saadmischung				SE / Sign.
		100% RK	67% RK + 33% DW	33% RK + 67% DW	100% DW	
OM [g m ⁻²]	Spross	182,0 ^b	225,4 ^a	217,1 ^{ab}	194,6 ^{ab}	12,7*
	Wurzeln	256,0 ^c	421,2 ^b	534,0 ^a	589,8 ^a	25,2***
	Gesamt	438,0 ^c	646,5 ^b	751,1 ^{ab}	784,5 ^a	31,3***
N-Menge [g m ⁻²]	Spross	6,78 ^a	7,01 ^a	6,33 ^a	3,33 ^b	0,32***
	Wurzeln	6,84 ^b	8,77 ^{ab}	10,27 ^a	8,19 ^{ab}	0,62**
	Gesamt	13,62 ^{bc}	15,78 ^{ab}	16,60 ^a	11,52 ^c	0,72***
C:N	Spross	13,92 ^c	17,12 ^b	17,85 ^b	31,47 ^a	0,48***
	Wurzeln	19,44 ^c	25,23 ^b	27,50 ^b	39,42 ^a	0,81***
	Gesamt	16,97 ^d	22,34 ^c	24,73 ^b	37,27 ^a	0,58***

Parameter	Residuen-Fraktion	Klee gras-Nutzung			SE / Sign.
		S	S+GD	GD	
OM [g m ⁻²]	Spross	171,9 ^b	191,5 ^b	250,9 ^a	14,3**
	Wurzeln	414,7	483,3	452,8	20,6ns
	Gesamt	586,7 ^b	674,8 ^a	703,6 ^a	24,7*
N-Menge [g m ⁻²]	Spross	5,33 ^b	5,46 ^b	6,80 ^a	0,36*
	Wurzeln	7,73 ^b	8,87 ^{ab}	8,95 ^a	0,43*
	Gesamt	13,07 ^b	14,33 ^{ab}	15,75 ^a	0,52**
C:N	Spross	19,60	20,08	20,59	0,39ns
	Wurzeln	28,57 ^a	28,96 ^a	26,16 ^b	0,51***
	Gesamt	25,57 ^a	26,33 ^a	24,09 ^b	0,37***

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) mit Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach Bonferroni-Holm, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit P < 5%

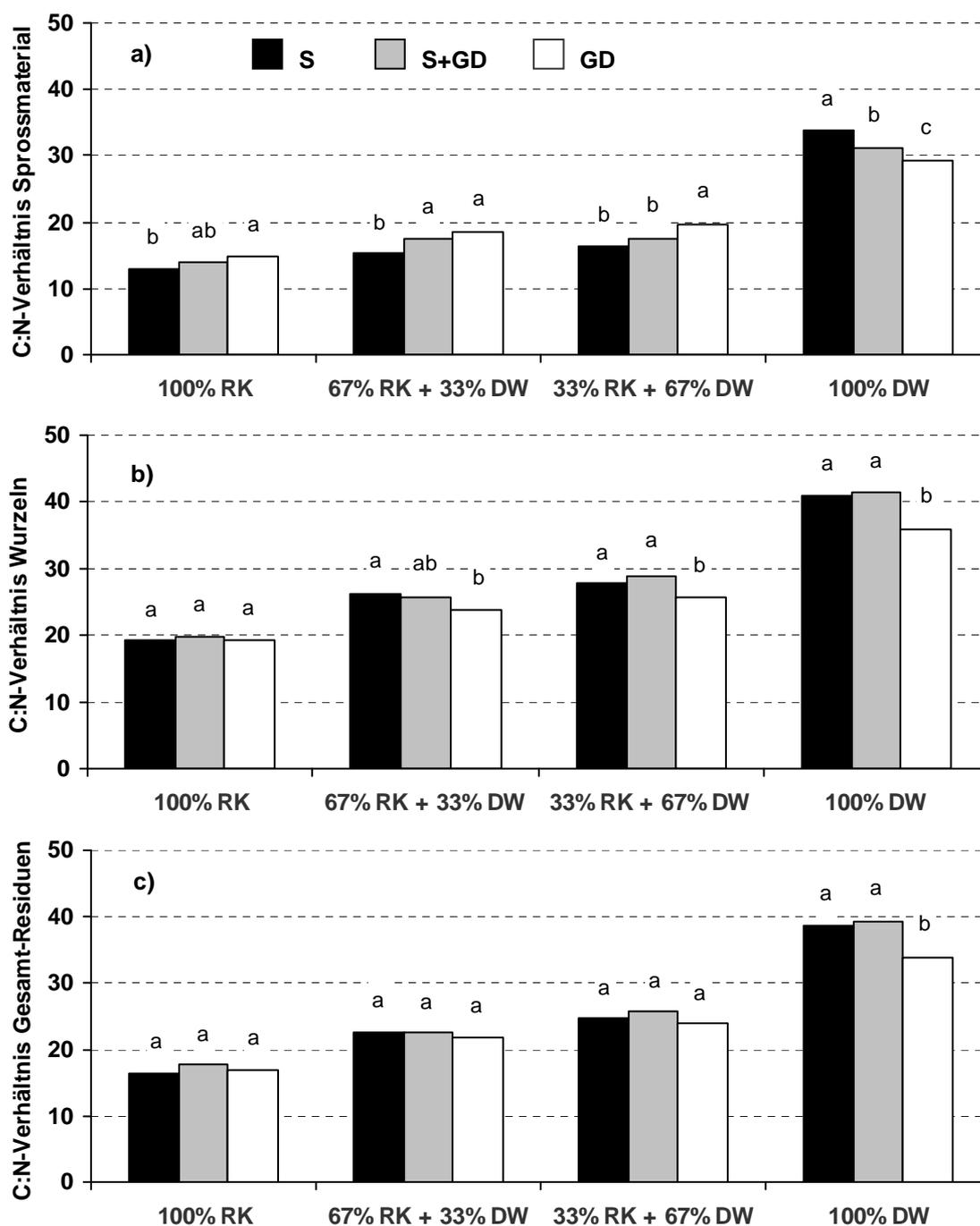


Abb. 1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras: a) oberirdische Biomasse ($P = <0,0001$, $SE = 0,63$), b) Wurzeln ($P = 0,0035$, $SE = 0,96$) und c) Gesamt-Residuen ($P = 0,0004$, $SE = 0,74$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$

*Impact of seed-mixture*defoliation system interaction on C:N-ratio of red clover and grass residues: a) aboveground biomass ($P = <0.0001$, $SE = 0.63$), b) roots ($P = 0.0035$, $SE = 0.96$) and c) total-residues ($P = 0.0004$, $SE = 0.74$); comparison of mean values (T-Test) within seed-mixture, bars with different letters are significantly different at $P < 5\%$*

3.3.2 Ertrag und Ertragsstruktur von Winterweizen

In der Tabelle 6 werden die Ergebnisse der ANOVA für die Ertragsparameter von Winterweizen dargestellt. Die Faktoren Jahr, Saatmischung und Düngung beeinflussen signifikant die Parameter Korn-TM, Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt, Korn-N-Menge und TKM. Weiterhin wird ein Jahreseffekt für die Anzahl Ähren je m² und ein Saatmischungseffekt für die Anzahl Körner je Ähre festgestellt. Der Hauptfaktor Nutzungssystem wirkt lediglich signifikant auf den Rp-Gehalt. In Tabelle 7 werden die Ertragsparameter in Abhängigkeit von den Hauptfaktoren dargestellt. Die Interaktionen Saatmischung*Nutzungssystem und Nutzungssystem*Düngung sind für die Korn-TM und Korn-N-Menge von Bedeutung (Abb. 2 & Abb. 3).

Tab. 6: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Ertragsparameter von Winterweizen

Source of variance and levels of significance for yield determining parameters of winter wheat

Varianz- ursache	Parameter					
	Korn-TM	Rp-Gehalt	Korn-N-Menge	TKM	Ähren/m ²	Körner/Ähre
j	24,61**	25,70***	16,96*	65,11**	28,80***	ns
sys	ns	12,16**	ns	ns	ns	ns
j*sys	ns	ns	ns	ns	ns	ns
due	12,07***	58,99***	7,33***	2,90*	ns	ns
sys*due	3,70**	ns	3,04*	3,05*	ns	ns
j*due	4,38*	ns	ns	3,56*	ns	5,33**
j*sys*due	ns	ns	ns	3,26*	ns	ns
mi	72,31***	9,04**	44,87***	28,54***	ns	18,24***
j*mi	ns	4,10*	ns	ns	ns	ns
sys*mi	2,46*	ns	2,20*	ns	ns	ns
due*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns
sys*due*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns
j*sys*mi	3,27**	3,44**	2,79*	ns	ns	ns
j*due*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, due= Düngung, mi= Saatmischung; Korn-TM= Kornertrag bei 100% Trockenmasse, TKM= Tausendkornmasse, Rp-Gehalt= Korn-Rohprotein-Gehalt; die Interaktion j*sys*due*mi ist für alle Parameter nicht signifikant

Die Weizenbestände zeigen im Jahr 2000 eine höhere Ertragsleistung als 1999: die Korn-TM ist um 13,5 dt ha⁻¹, die Korn-N-Menge um 21,3 kg N ha⁻¹, die TKM um 5,5 g und die Anzahl Ähren je m² um 41 erhöht (Tab. 7). Dagegen liegt im Erntejahr 2000 der Rp-Gehalt um 0,43%-Punkte niedriger. Die Anzahl Körner je Ähre wird nicht vom Jahr beeinflusst.

Im Hinblick auf die Saatmischung erzielt Winterweizen nach klee haltiger Vorfrucht signifikant höhere Kornerträge als nach Gras-Reinsaat (Tab. 7). In den Varianten

Rotklee-Reinsaat und kleebetontem Gemenge wird eine durchschnittliche Korn-TM von 39 dt ha⁻¹ bestimmt (Tab. 7). Demgegenüber wird nach grasbetontem Gemenge und nach Gras-Reinsaat um 3,6 dt ha⁻¹ bzw. 12,4 dt ha⁻¹ weniger Korn-TM geerntet. Die Betrachtung der Interaktion zwischen Saatmischung und Nutzungssystem zeigt jedoch, dass die Korn-TM innerhalb der Saatmischungen 100% RK und 67% RK + 33% DW von der Nutzungsform abhängig ist (Abb. 2a). Weizen nach Rotklee-Reinsaat erzielt durch die Nutzung S+GD ca. 4 dt ha⁻¹ mehr Korn-TM als durch GD. Innerhalb des kleebetonten Gemenges wird mit dem Nutzungssystem S+GD gegenüber S bzw. GD ca. 4 dt ha⁻¹ mehr Korn-TM geerntet. Für alle Saatmischungen ist die Korn-TM der Variante S nicht signifikant verschieden zu GD.

Tab. 7: Bedeutung der Hauptfaktoren Jahr, Saatmischung, Nutzungssystem und Düngung für die Ertragsparameter von Winterweizen

Impact of main effects on yield parameters of winter wheat

Faktor / Faktorstufe		Parameter					
		Korn-TM [dt ha ⁻¹]	Rp-Gehalt [%]	Korn-N [kg ha ⁻¹]	TKM [g]	Ähren / m ²	Körner / Ähre
Jahr	1999	28,16	10,23	50,23	43,00	305,1	21,49
	2000	41,69	9,80	71,55	48,50	346,5	25,12
	SE / Sign.	1,93**	0,06***	3,67*	0,48**	5,1***	1,45ns
Saat- mischung	100% RK	39,79 ^a	9,68 ^b	67,38 ^a	46,20 ^a	333,5	26,12 ^a
	67% RK+33% DW	38,06 ^a	10,07 ^a	67,06 ^a	46,27 ^a	331,0	24,87 ^{ab}
	33% RK+67% DW	35,30 ^b	10,10 ^a	62,26 ^a	46,12 ^a	329,0	23,24 ^b
	100% DW	26,55 ^c	10,21 ^a	46,87 ^b	44,40 ^b	309,7	18,98 ^c
	SE / Sign.	1,47***	0,08**	2,82***	0,36***	6,1ns	1,16***
Nutzung	S	34,02	9,86 ^b	58,37	45,95	325,4	22,71
	S+GD	36,45	10,04 ^a	63,86	45,82	330,8	23,97
	GD	34,30	10,15 ^a	60,44	45,47	321,2	23,23
	SE / Sign.	1,54ns	0,06**	2,97ns	0,37ns	6,6ns	1,12ns
Düngung	N ₅₀ EC 25	35,63 ^{ab}	9,73 ^d	60,51 ^{ab}	45,97 ^a	326,1	23,59
	N ₅₀ EC 30	36,47 ^a	9,86 ^c	62,52 ^a	45,87 ^{ab}	326,0	24,26
	N ₅₀ EC 45	34,44 ^{bc}	10,46 ^a	62,68 ^a	45,71 ^{ab}	327,6	22,91
	N ₀	33,17 ^c	10,02 ^b	57,86 ^b	45,44 ^b	323,5	22,45
	SE / Sign.	1,41***	0,06***	2,69***	0,36*	6,6ns	1,12ns

Korn-TM= Kornertrag bei 100% Trockenmasse; TKM= Tausendkornmasse, Rp-Gehalt= Korn-Rohprotein-Gehalt; SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Der Weizen nach grashaltiger Vorfrucht zeigt einen signifikant höheren Rp-Gehalt im Vergleich zur Variante 100% RK (Tab. 7). Dagegen ist die TKM von Weizen nach kleehaltiger Vorfrucht höher als nach Gras-Reinsaat. Während die Anzahl Ähren je m² von der Vorfruchtsaatmischung unbeeinflusst ist, verringert sich die Anzahl Körner je Ähre mit abnehmendem Kleeanteil in der Saatmischung.

Hinsichtlich der Korn-N-Menge wird festgestellt, dass der Winterweizen nach kleehaltiger Vorfrucht durchschnittlich $65,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ und damit $18,7 \text{ kg ha}^{-1}$ mehr N im Korn enthält, als Winterweizen nach Gras-Reinsaat (Tab. 7). Der Faktor Nutzungssystem zeigt keine Hauptfaktorwirkung auf die Korn-N-Menge (Tab. 7). Indessen wird ein Einfluss der Vorfruchtnutzung innerhalb der Saatmischung 67% RK + 33% DW ermittelt (Abb. 2b). Durch S+GD kann gegenüber S ein um $9,1 \text{ kg ha}^{-1}$ höherer Korn-N-Entzug erzielt werden.

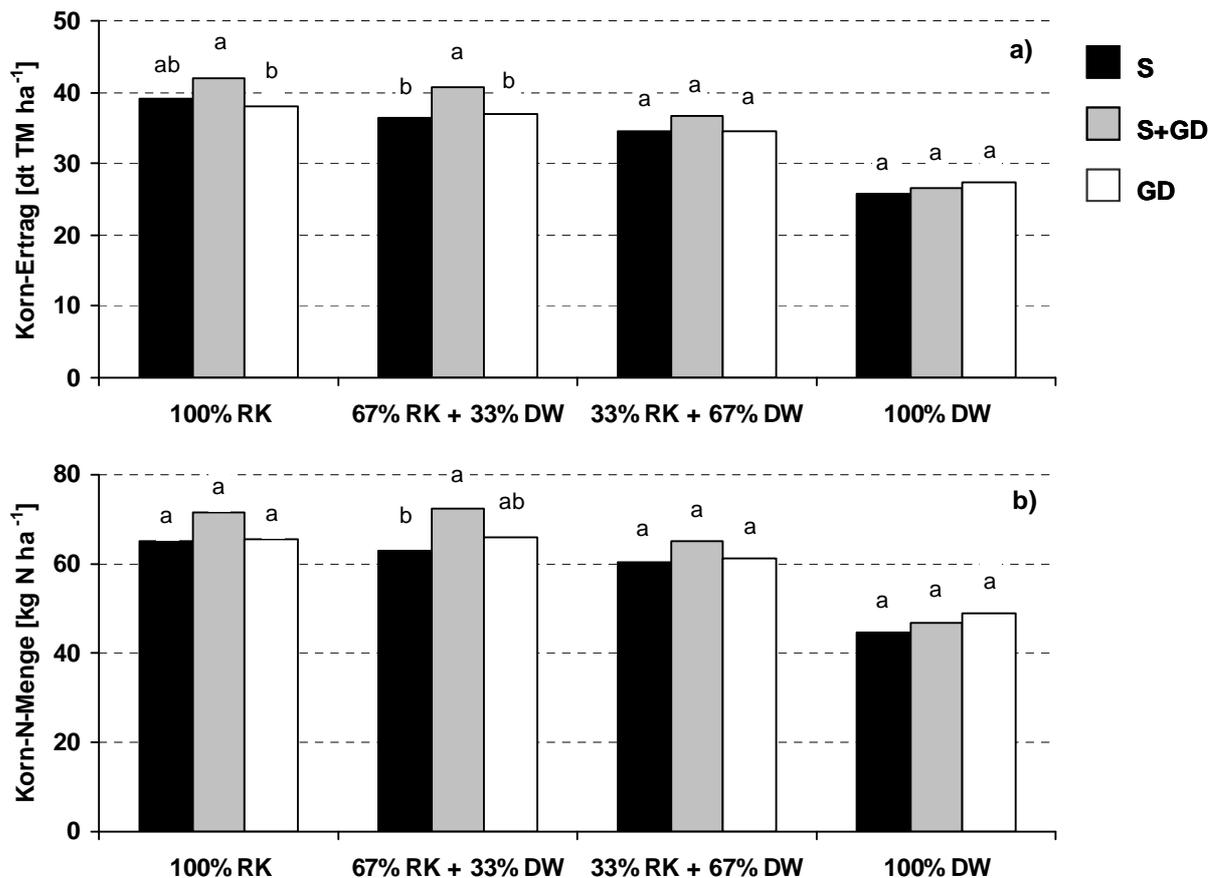


Abb. 2: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die a) Korn-TM ($P=0,0285$, $SE=1,68$) und b) Korn-N-Menge ($P=0,0481$, $SE=3,28$) von Winterweizen; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jede Saatmischung

*Impact of interaction seed-mixture*defoliation system on a) yield ($P=0.0285$, $SE=1.68$) and b) amount of grain-N ($P=0.0481$, $SE=3.28$) of winter wheat; comparison of mean values (T-Test) within seed-mixture*

Der Faktor Nutzungssystem beeinflusst in seiner Hauptfaktorwirkung den Korn-Rp-Gehalt als einzigen Ertragsparameter (Tab. 7). Nach mehrmalig gemulchter Klee/Gras-Vorfrucht (S+GD und GD) wurde ein Korn-Rp-Gehalt ermittelt, der im Vergleich zu S um 0,24%-Punkte höher liegt.

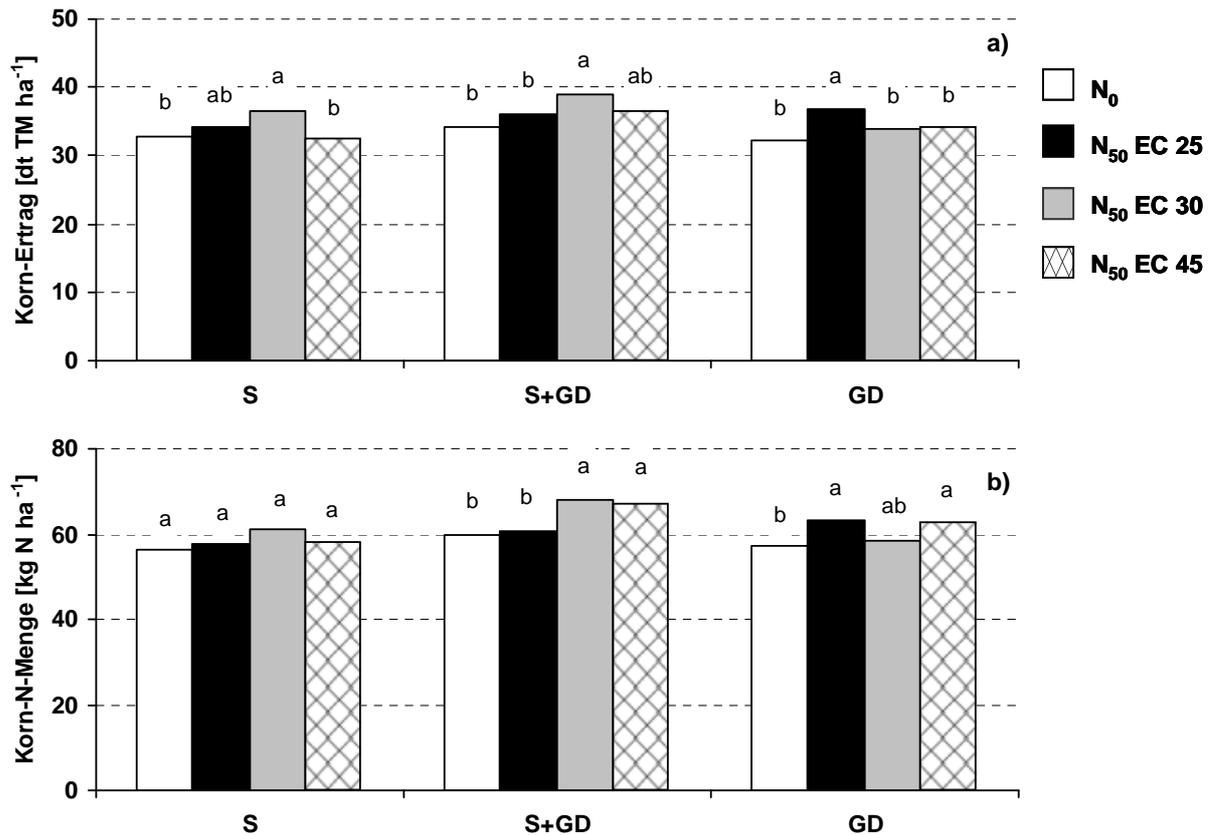


Abb. 3: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die a) Korn-TM ($P= 0,0059$, $SE= 1,66$) und b) Korn-N-Menge ($P= 0,0153$, $SE= 3,24$) von Winterweizen; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems

*Impact of interaction defoliation system*manuring on a) yield ($P= 0.0059$, $SE= 1.66$) and b) amount of grain-N ($P = 0.0153$, $SE= 3.24$) of winter wheat; comparison of mean values (T-Test) within defoliation system*

Die organische Düngung führt in den Varianten N₅₀ EC 25 und N₅₀ EC 30 zu einer signifikanten Kornertragssteigerung von 2,5 bzw. 3,3 dt ha⁻¹ gegenüber N₀ (Tab. 7). In der Betrachtung der Wechselwirkung zeigt sich (Abb. 3a), dass lediglich innerhalb der Nutzungsformen S und S+GD die Variante N₅₀ EC 30 gegenüber N₀ zu höheren Erträgen führt (+3,6 bzw. 4,8 dt TM ha⁻¹), während innerhalb GD die Gülleapplikation zu EC 25 den höchsten Korn-TM erzielt (+4,5 dt TM ha⁻¹). In allen drei Nutzungsvarianten ist der Kornertrag von N₅₀ EC 45 nicht unterschiedlich zur Kontrolle (N₀) (Abb. 3a).

Hinsichtlich der Korn-N-Menge bilden Weizenbestände mit Güllegaben zu EC 30 bzw. EC 45 gegenüber N₀ um ca. 4,7 kg ha⁻¹ mehr Korn-N (Tab. 7). In der Darstellung der Wechselwirkung zeigt sich jedoch, dass die Hauptfaktorwirkung nur innerhalb der Nutzungsform S+GD auftritt (Abb. 3b): die Düngung zu EC 30 bzw. EC 45 erzeugte eine um 7,0 kg N ha⁻¹ höhere Korn-N-Menge. Dagegen kann

innerhalb der Nutzungsform S kein Düngungseffekt auf die Korn-N-Menge festgestellt werden. Weizen der Variante GD erzielt durch Düngung zu EC 25 bzw. EC 45 um $5,9 \text{ kg ha}^{-1}$ höhere Korn-N-Mengen gegenüber N_0 .

Insgesamt führt die Düngung zu EC 30 in der Variante S+GD zur höchsten Korn-TM bzw. Korn-N-Menge, die sich mit $5,1 \text{ dt ha}^{-1}$ bzw. $9,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ von der Vorfruchtvariante GD abhebt (Tab. A6).

Die organische Düngung des Winterweizens bewirkt in Abhängigkeit vom Applikationszeitpunkt einen positiven bzw. negativen Effekt auf den Korn-Rp-Gehalt (Tab. 7). Die Düngungsvarianten N_{50} EC 25 und N_{50} EC 30 erzeugen gegenüber der Kontrolle (N_0) signifikant niedrigere Rp-Gehalte. Als einzige Variante erzielt N_{50} EC 45 gegenüber N_0 einen signifikant höheren Rp-Gehalt (10,46%). Der geringste Rp-Gehalt wird mit der Güllegabe zu EC 25 ermittelt (9,73%). Im Hinblick auf die TKM bewirkt die frühe Gabe (EC 25) eine Erhöhung gegenüber N_0 . Zwischen den gedüngten Varianten ist kein Unterschied abzusichern (\emptyset TKM $45,9 \text{ g}$).

3.3.3 Sprossmassebildung, N-Aufnahme und N-Verwertung von Winterweizen

Den Ergebnissen der Varianzanalyse ist zu entnehmen, dass von den Prüffaktoren nur geringe Effekte auf die Parameter Sprossmasse (TM), Spross-N-Menge, Harvest-Index (HI) und N-Harvest-Index (N-HI) ausgehen (Tab. 8). Ebenso ist die scheinbare Verwertung von zusätzlichem Leguminosen-N ($ANR_{\Delta \text{ leg.}}$) bzw. Gülle-N (ANR_{slurry}) nur gering beeinflusst. Diese Parameter werden in Abhängigkeit von den Hauptfaktoren im Rahmen von Schätzwerten (LSM) in Tabelle 9 dargestellt.

Für den Faktor Jahr zeigt sich, dass die Weizenbestände im Versuchsjahr 2000 eine höhere Produktivität aufweisen (Tab. 9). Gegenüber 1999 ist die Sprossmasse (TM) und N-Menge in der Sprossmasse um 26% erhöht. In der Tendenz sind auch die Harvest-Indices und N-Verwertungen im Jahr 2000 größer.

Die Saatmischung der Vorfrucht beeinflusst die TM und N-Aufnahme sowie den HI und N-HI signifikant (Tab. 9). Winterweizen bildet nach Gras-Reinsaaten die geringste Spross-TM und Spross-N-Menge. Die Harvest-Indices von Winterweizen nach Klee gras-Gemenge sind weder zum HI nach 100% RK noch zum HI nach 100% DW signifikant unterschiedlich. Der HI aus der Variante 100% RK hebt sich signifikant von 100% DW ab. Dagegen unterscheiden sich alle N-HI von Weizen nach klee haltiger Vorfrucht signifikant von dem N-HI nach 100% DW.

Tab. 8: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge, den Harvest-Index (HI), den N-Harvest-Index (N-HI) und die Residuen-N- bzw. Gülle-N-Verwertung von Winterweizen

Source of variance and levels of significance for shoot dry matter (TM), amount of shoot-N, harvest-index (HI), N-harvest-index (N-HI) and N-recovery of winter wheat

F-Test Varianzursache	Parameter					
	Spross-TM	Spross-N-Menge	HI	N-HI	ANR _{Δ leg.}	ANR _{slurry}
j	40,66***	20,87***	ns	ns	ns	ns
sys	ns	ns	ns	ns	ns	ns
j*sys	ns	ns	ns	ns	ns	ns
due	ns	3,26*	ns	ns	3,40*	ns
sys*due	ns	ns	ns	ns	ns	3,32*
j*due	ns	ns	ns	ns	4,71**	ns
j*sys*due	ns	ns	ns	ns	ns	ns
mi	15,19***	3,35*	3,51*	5,08*	ns	ns
j*mi	ns	ns	3,54*	3,94*	ns	3,97*
sys*mi	ns	ns	ns	ns	8,16***	ns
due*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns
sys*due*mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, due= Düngung, mi= Saatmischung; ANR_{Δ leg.}= apparent N-recovery der Residuen, ANR_{slurry}= apparent N-recovery der Gülle; die Interaktionen j*sys*mi, j*due*mi und j*sys*due*mi sind für alle Parameter nicht signifikant

Tab. 9: Bedeutung der Hauptfaktoren für die Sprossmasse (TM), die Spross-N-Menge, den Harvest-Index (HI), den N-Harvest-Index (N-HI) und die Residuen-N- (ANR_{Δ leg.}) bzw. Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) von Winterweizen

Impact of main effects on shoot dry matter (TM), amount of shoot-N, harvest-index (HI), N-harvest-index (N-HI) and N-recovery of winter wheat

Faktor / Faktorstufe		Parameter					
		Spross-TM [g m ⁻²]	Spross-N- Menge [g m ⁻²]	HI	N-HI	ANR _{Δ leg.} [%]	ANR _{slurry} [%]
Jahr	1999	778,4	7,92	0,38	0,68	47,83	4,84
	2000	981,4	9,99	0,43	0,74	63,81	11,21
	SE / Sign.	23,8***	0,33***	0,02ns	0,04ns	10,22ns	2,05ns
Saat- mischung	100% RK	968,2 ^a	9,10 ^{ab}	0,43 ^a	0,78 ^a	73,76	9,20
	67% RK+33% DW	944,6 ^a	9,69 ^a	0,42 ^{ab}	0,74 ^a	54,08	12,28
	33% RK+67% DW	865,4 ^b	8,84 ^{ab}	0,41 ^{ab}	0,74 ^a	39,63	7,76
	100% DW	741,3 ^c	8,19 ^b	0,36 ^b	0,59 ^b	-	2,85
	SE / Sign.	23,6***	0,34*	0,02*	0,03*	11,45ns	2,24ns
Nutzung	S	872,8	8,65	0,39	0,70	65,12	6,31
	S+GD	900,0	9,26	0,41	0,72	61,27	9,72
	GD	866,9	8,95	0,41	0,71	41,08	8,05
	SE / Sign.	27,6ns	0,38ns	0,02ns	0,03ns	9,00ns	2,51ns
Düngung	N ₅₀ EC 25	872,8	8,78 ^{ab}	0,43	0,74	50,84 ^b	5,31
	N ₅₀ EC 30	927,4	9,44 ^a	0,40	0,69	58,41 ^{ab}	9,50
	N ₅₀ EC 45	883,7	9,33 ^a	0,39	0,69	61,03 ^a	9,28
	N ₀	835,6	8,28 ^b	0,40	0,73	53,01 ^{ab}	-
	SE / Sign.	26,5ns	0,34*	0,02ns	0,04ns	7,56*	2,12ns

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Hinsichtlich der $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ kann weder für die Saatmischung noch für das Nutzungssystem eine Hauptfaktorwirkung abgesichert werden (Tab. 9). Tendenziell wird aber mit abnehmendem Kleeanteil in der Saatmischung bzw. abnehmender Schnittgutabfuhr eine Verringerung der $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ beobachtet. Die Interaktion Nutzungssystem*Saatmischung zeigt, dass die $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ innerhalb der Varianten 100% RK und 67% RK + 33% DW von der Nutzungsform beeinflusst wird (Abb. 4). Die Kombination von 100% RK und S führt zu einer $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ von 93% durch das Weizenkorn. Dagegen wird für 100% RK in Verbindung mit GD eine deutlich geringere $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ (59%) bestimmt. Innerhalb der kleebetonten Saatmischung ist die scheinbare Verwertung von zusätzlichem Leguminosen-N von S+GD gegenüber GD erhöht (72% vs. 36%). Für die grasbetonte Saatmischung wird kein Nutzungseffekt festgestellt. Die Variante GD nimmt in allen drei Saatmischungen den kleinsten Zahlenwert zur Bemessung der $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ an.

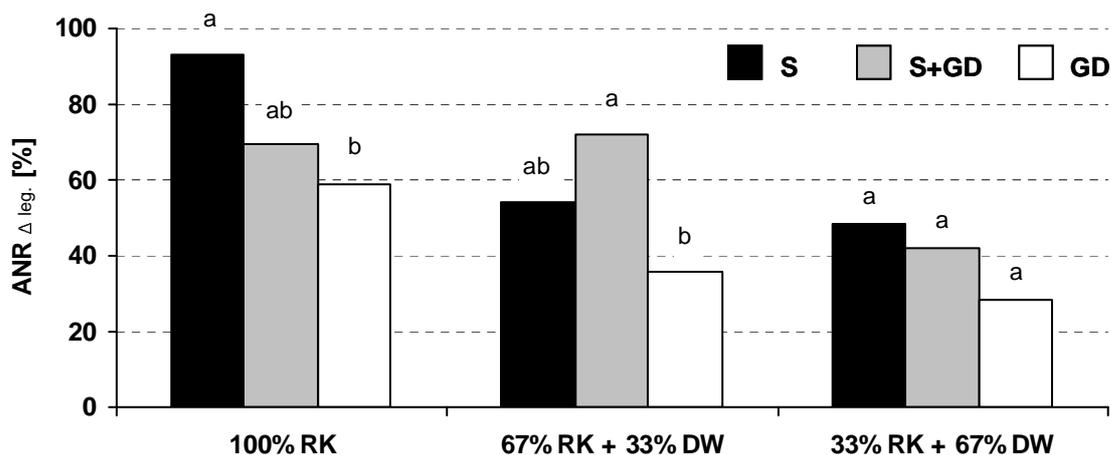


Abb. 4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die scheinbare Verwertung von zusätzlichem Leguminosen-N ($ANR_{\Delta \text{leg.}}$) durch das Winterweizenkorn ($P= <0,0001$, $SE= 12,90$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung

*Impact of interaction seed-mixture*defoliation system on apparent nitrogen recovery of additional residual legume-N ($ANR_{\Delta \text{leg.}}$) of winter wheat grain ($P= <0.0001$, $SE= 12.90$); comparison of mean values (T-Test) within seed-mixture*

Die scheinbare Gülle-N-Ausnutzung (ANR_{slurry}) ist um ein Vielfaches geringer als die $ANR_{\Delta \text{leg.}}$. Auf die ANR_{slurry} gehen keine Hauptfaktorwirkungen von der Saatmischung und dem Nutzungssystem aus (Tab. 9). Tendenziell kann jedoch eine höhere Gülle-N-Wiederfindung im Weizenkorn nach kleehaltiger Vorfrucht beobachtet werden. Der Hauptfaktor Düngung wirkt signifikant auf die $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ (Tab. 9). Weizen, der zu

EC 45 gedüngt wird, erzielt eine höhere Residuen-N-Verwertung (61%), als Weizen, der zur Bestockung (N_{50} EC 25) organischen Dünger erhält (51%). Allerdings ist die Verwertung des Residuen-N dieser beiden Varianten nicht unterschiedlich zum ungedüngten Weizen (N_0).

Die Interaktion Nutzungssystem*Düngung zeigt einen Effekt auf die ANR_{slurry} (Abb. 5): innerhalb der Nutzungsform S+GD führen die Düngungsvarianten N_{50} EC 30 bzw. N_{50} EC 45 zu einer Gülle-N-Verwertung von 12,9 bzw. 14,8%, die im Vergleich zu N_{50} EC 25 (1,5%) signifikant höher ist. Innerhalb der Nutzungsformen S und GD ist kein Effekt des Applikationstermins für die Gülle-N-Verwertung festzustellen.

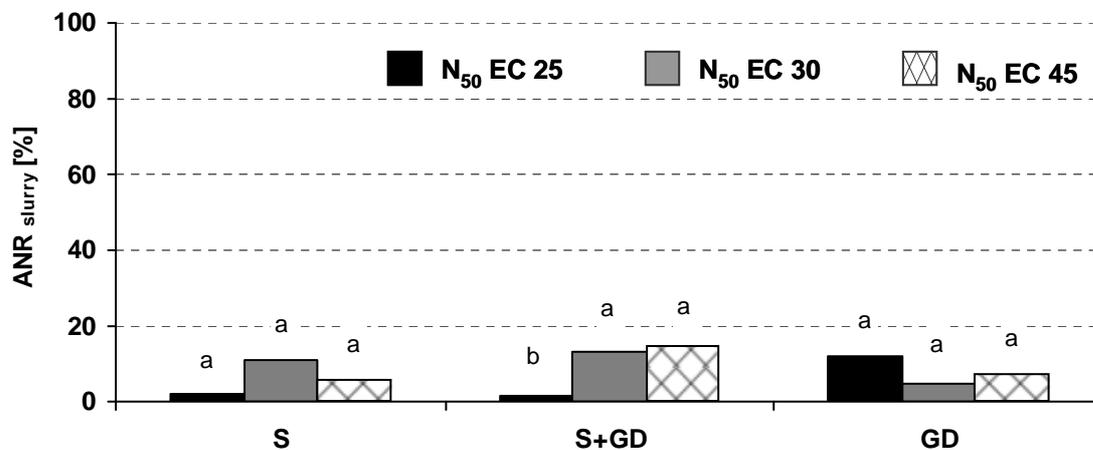


Abb. 5: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die scheinbare Verwertung von Gülle-N (ANR_{slurry}) ($P = 0,0262$, $SE = 3,62$) durch das Winterweizenkorn; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems

*Impact of interaction defoliation system*manuring on apparent nitrogen recovery of slurry-N (ANR_{slurry}) ($P = 0.0262$, $SE = 3.62$) of winter wheat grain; comparison of mean values (T-Test) within defoliation system*

3.4 Diskussion

Der Vorfruchtwert von Klee-/Klee gras-Beständen leitet sich nach KÖHNLEIN & VETTER (1953) im wesentlichen aus der Masse und Qualität ihrer Residuen ab. In dieser Untersuchung beeinflussen die Prüffaktoren Saatmischung und Nutzungssystem sowohl die Menge und Zusammensetzung der Residuen als auch die Ertragsleistung der Folgefrucht Winterweizen. Der Faktor organische Düngung übt einen größeren Effekt auf die Ertragsparameter von Winterweizen aus als das Nutzungssystem der Vorfrucht.

3.4.1 Einfluss der Saatmischung auf die Akkumulation der Residuen

Zum Zeitpunkt des Herbstumbruchs enthalten die Residuen der Rotklee-Reinsaat im Mittel der Nutzungssysteme eine auf Hektarebene umgerechnete organische Masse (OM) von $43,8 \text{ dt OM ha}^{-1}$ und eine N-Menge von 136 kg N ha^{-1} (Tab. 5). Vergleichbare Untersuchungen, die auf einem nahe gelegenen Standort mit überjährigen Rotklee-Beständen durchgeführt wurden, bestätigen diese Größenordnungen (LOGES 1998; KASKE 2000). Auf dem gleichen Standort ermittelt NEUMANN (2005) für Weißklee eine deutlich höhere Residuenmenge (90 dt TM ha^{-1} und 200 kg N ha^{-1}), während WICHMANN (2004) für Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine), die in Reinsaat angebaut wurden, Ernterückstandsmengen von $50\text{-}64 \text{ dt OM ha}^{-1}$ und $76\text{-}123 \text{ kg N ha}^{-1}$ nachweist. Weißklee und Körnerleguminosen werden praxisüblich auch als Vorfrucht für Winterweizen angebaut. Deren Ernterückstände setzen sich jedoch im Gegensatz zur Rotklee-Reinsaat (Tab. 5) überwiegend aus der oberirdischen Residuenfraktion zusammen.

Im Vergleich zu Rotklee-Reinsaat hinterlassen Rotklee gras-Bestände höhere Mengen an Residuen, hervorgerufen durch das hohe Stoppel- und Wurzelbildungsvermögen von Graspflanzen (KÖHNLEIN & VETTER 1953; PÄTZOLD 1956; VETTER & SCHARAFAT 1964; LOGES 1998; KASKE 2000). Auch in dieser Untersuchung liefern die Gemenge eine signifikant höhere OM mit den Residuen gegenüber der Rotklee-Reinsaat (Tab. 5). Da mit steigendem Kleeanteil in der Saatmischung auch die N-Konzentration im Residuenmaterial zunimmt (Tab. A2), unterscheiden sich die N-Mengen des kleebetonten Gemenges (158 kg N ha^{-1}) und der Rotklee-Reinsaat (136 kg N ha^{-1}) nicht signifikant. Das grasbetonte Gemenge

hinterlässt durch den hohen Wurzelanteil die höchste Residuen-N-Menge (166 kg N ha^{-1}).

Festzuhalten ist, dass beide Klee gras-Gemenge hinsichtlich der residualen OM und das grasbetonte Gemenge bezüglich der N-Menge den Residuen der Rotklee-Reinsaat überlegen sind. Demgegenüber sind die OM und die N-Mengen der Ernterückstände von Erbsen und Lupinen, die mit der gleichen Methodik ermittelt wurden, nicht unterschiedlich zwischen Reinsaat und Gemenge (WICHMANN 2004).

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass Gräser ein großes N-Aneignungsvermögen besitzen (WHITEHEAD 1995). Die untersuchten Gras-Referenzbestände hinterlassen eine höhere Residuenakkumulation ($78,5 \text{ dt OM ha}^{-1}$ und 115 kg N ha^{-1}), als in vergleichbaren Untersuchungen ermittelt wurde (LOGES 1998; KASKE 2000). Wird in Anlehnung an WARREN & WHITEHEAD (1988) der verfügbare Boden-N aus der N-Aufnahme des Dt. Weidelgras-Referenzbestandes (Nutzungsform S) abgeleitet (Jahres-N-Ertrag + Residuen-N-Menge; vgl. Kapitel 2), beträgt die N-Nachlieferung am Untersuchungsstandort 163 kg N ha^{-1} . Am gleichen Standort ermittelte WICHMANN (2004) über Getreide-Referenzfrüchte während der Wachstumsperiode eine N-Nachlieferung von ca. $115\text{-}120 \text{ kg N ha}^{-1}$, während GÖMPEL (1992) eine N-Freisetzung aus dem Bodenvorrat mit $50\text{-}200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angibt. Folglich muss bei der Abschätzung des Vorruchtwertes von Klee gras-Beständen die natürliche N-Nachlieferung berücksichtigt werden, da es sonst zu einer Überschätzung kommen kann.

3.4.2 Einfluss des Nutzungssystems auf die Akkumulation der Residuen

In der vorliegenden Untersuchung werden für die Residuen der ausschließlich gemulchten Bestände (GD) 70 dt OM ha^{-1} und 158 kg N ha^{-1} ermittelt. Ein Vergleich mit den Angaben aus der Literatur ist nur unter Vorbehalt zu ziehen, da die Methodik zur Bestimmung der residualen Mengen ausschlaggebend ist. SCHMIDT (1997) leitet aus dreimal gemulchten Klee gras-Aufwüchsen sowie aus geschätzten Stoppel- und Wurzelmen gen residuale N-Mengen im Bereich von $100\text{-}400 \text{ kg ha}^{-1}$ ab. LOGES (1998) weist mit einer Methode, die vergleichbar ist zu der hier verwendeten, für 2x gemulchte Rotklee/Dt. Weidelgras-Bestände 96 dt OM ha^{-1} und 200 kg N ha^{-1} nach. Obwohl im Nutzungssystem GD die gesamte Sprossmasse (Σ 1.-4. Aufwuchs: $105 \text{ dt TM ha}^{-1}$ und 274 kg N ha^{-1} ; Kapitel 2) auf der Fläche verblieb, ist die residuale OM bzw. die N-Menge nur um 20% gegenüber der Nutzungsform erhöht, bei der die

Hauptsprossmasse von der Fläche entfernt und nur der 4. Aufwuchs (5 dt OM ha^{-1} , 22 kg N ha^{-1}) zurückgelassen wurde (Tab. 5). LOGES (1998) ermittelte eine deutlich höhere Residuenakkumulation in der Gründüngung gegenüber der Schnittgutabfuhr: Durch die geringere Mulchintensität (2 Mulchvorgänge) wurden einerseits Pflanzenrückstände mit einer vergleichsweise niedrigeren N-Konzentration (LOGES 1998) und demzufolge verminderten Umsatzfähigkeit (TRINSOUTROT et al. 2000) erzeugt, andererseits war der Aufwuchszeitraum nach dem zweiten Mulchtermin länger als in der eigenen Untersuchung. Das in dieser Studie im Nutzungssystem GD durchgeführte viermalige Mulchen erzeugte junges und folglich schnell umsetzbares Pflanzenmaterial (WIVSTAD 1997; NICOLARDOT et al. 2001) (vgl. Kapitel 4). In Laborversuchen ermittelten AULAKH et al. (1991) für Leguminosen-Residuen, die auf der Bodenoberfläche appliziert waren, nach 35 Tagen eine N-Freisetzung von 36% des Gesamt-N. Der aus Mulch freigesetzte N kann vom Folgeaufwuchs aufgenommen werden. Für Klee gras-Gemenge stellte HEUWINKEL (2001) fest, dass Mulch-N zu 20% an der Gras-N-Aufnahme beteiligt war. Darüber hinaus werden gasförmige N-Verluste in Form von N_2O , N_2 bzw. NH_3 aus Mulchmaterial ermittelt (AULAKH et al. 1991; JANZEN & MCGINN 1991; LARSSON et al. 1998; FLESSA et al. 2002). Von der applizierten Mulch-N-Menge wurden in einem Zeitraum von 3 Monaten bis zu 39% (LARSSON et al. 1998) bzw. innerhalb von 14 Tagen 14% (JANZEN & MCGINN 1991) als $\text{NH}_3\text{-N}$ bestimmt. Nach den Schätzungen von SCHMIDT (1997) müssen rund 21% von der akkumulierten Spross-N-Menge abgezogen werden, um die gasförmigen N-Verluste und die erneute Aufnahme von mineralisierten N aus der Mulchmasse zu bemessen. Generell kann es auch zu einer Festlegung des freigesetzten N im Boden durch die wachsende Mikroorganismenmasse (AVNIMELECH 1986; MAYER et al. 2003) bzw. durch Humifizierungsprozesse (SWIFT & POSNER 1977; JANSSON & PERSSON 1982) kommen.

Auch die Differenz zwischen der oberirdischen Residuenfraktion (OM und N-Menge) von GD und S+GD ist als äußerst gering zu bewerten (Tab. 5). Durch die Einbeziehung der Wurzeln ist schließlich bei den Gesamt-Residuen kein Unterschied mehr abzusichern und die mehrfach gemulchten Klee/Gras-Bestände (GD und S+GD) hinterlassen durchschnittlich 69 dt OM ha^{-1} bzw. 150 kg N ha^{-1} auf der Fläche. Unter Berücksichtigung der Studien von MAYER et al. (2003) und HØGH-JENSEN & SCHJOERRING (2001) geben die ermittelten Residuen-N-Mengen aber nur

einen geringen Teil des tatsächlich von den Beständen auf der Fläche hinterlassenen N wieder. HØGH-JENSEN & SCHJOERRING (2001) zufolge werden durch Klee- bzw. Klee gras beachtliche Mengen organischer N-Verbindungen als Rhizodeposition im Boden freigesetzt. Die Autoren ermittelten für 2-jährig genutzte Rotklee- bzw. Rotklee gras-Bestände (Sprossabfuhr) eine Wurzel-N-Menge von 100 bzw. 93 kg N ha⁻¹ in einer Tiefe von 0-40 cm und eine 5-fach so hohe N-Menge als Rhizodeposition (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 2001). Die N_{min}-Gehalte zum Herbstumbruch (Kapitel 2) belegen eine deutlich höhere N-Akkumulation unter der Rotklee-Reinsaat als unter grashaltigen Beständen. Dieses Ergebnis ist konsistent zu der Studie von LOGES (1998), in der neben erhöhten N_{min}- auch erhöhte N_{org}-Gehalte für die Rotklee-Reinsaat ermittelt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen im Kontext der Literaturangaben, dass sowohl schnittgenutzte als auch gemulchte Klee- bzw. Klee gras-Bestände große Mengen an flächengebundenem N hinterlassen. Der nutzungsbedingte Unterschied, der für die sichtbaren Residuen ermittelt wird, ist im Vergleich zur Sprossmasse-Produktivität relativ gering (vgl. Kapitel 2).

3.4.3 Umsetzbarkeit der Residuen

Für die Umsetzbarkeit von Pflanzenresiduen ist ihre stoffliche Zusammensetzung von zentraler Bedeutung (FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985; MARY 1996; HAUGGAARD-NIELSEN et al. 1998; WIVSTAD 1999). Häufig wird der relative Kohlenstoff-Stickstoff-Quotient (C:N-Verhältnis) zur Beschreibung der N-Freisetzung aus Pflanzenrückständen verwendet (GUTSER & VILSMEIER 1985; NICOLARDOT et al. 2001; MAGID et al. 2004) Da Residuen in der Regel gleichbleibende C-Gehalte aufweisen (ca. 40%) (YADVINDER-SINGH et al. 1992), wird die N-Freisetzungsrate primär von der N-Konzentration bestimmt. Abnehmende C:N-Verhältnisse bzw. zunehmende N-Konzentrationen erhöhen die N-Mineralisierung (FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985). Verschiedene Autoren beobachten bis zu einem kritischen C:N-Verhältnis Netto-N-Freisetzungen aus Pflanzenmaterial (FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985; FOX et al. 1990; VIGIL & KISSEL 1991; BREMER & VAN KESSEL 1992; TRINSOUTROT et al. 2000). Je nach Untersuchung werden kritische C:N-Verhältnisse zwischen 19 und 40 angegeben, darüber hinaus ermitteln die Autoren ein „langfristige“ N-Festlegung im Boden-Pool.

Vor diesem Hintergrund weisen besonders die Residuen der Rotklee-Reinsaaten mit einem C:N-Verhältnis von 17 eine hohe Umsetzbarkeit auf (Tab. 5). Mit zunehmendem Grasanteil in der Saatmischung wird das C:N-Verhältnis der Rückstände weiter bzw. die N-Konzentration sinkt. Die Residuen der Rotklee- und Dt. Weidelgras-Reinsaaten enthalten 3,16 bzw. 1,44 % N (Tab. A2). Aufgrund der engen Korrelation zwischen C:N-Verhältnis und N-Konzentration (KASKE 2000) kann daraus abgeleitet werden, dass in den geprüften Saatmischungen weitere C:N-Verhältnisse durch eine höhere Graspflanzendichte verursacht werden. Die Residuen der Dt. Weidelgras-Referenzbestände besitzen mit einem C:N-Verhältnis von 37 vielmehr ein Potential zur vorläufigen N-Immobilisierung als zur N-Mineralisierung. Generell zeigen die Wurzeln im Vergleich zur oberirdischen Biomasse weitere C:N-Verhältnisse und lassen auf einen langsameren Zersetzungsprozess schließen. JENKINSON (1977) fand bei einer Untersuchung zur Abbaugeschwindigkeit von Dt. Weidelgras über einen Zeitraum von 155 Tagen, dass die Zersetzung der Wurzeln langsamer erfolgte als die von oberirdischem Material. Aus der Darstellung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem wird deutlich (Abb. 1), dass die Nutzungsform GD gegenüber der Schnittgutabfuhr in Gras-Reinsaaten zu Residuen führt, die signifikant engere C:N-Verhältnisse besitzen. Offenbar akkumuliert sich im Residuenmaterial der viermal gemulchten Gras-Reinsaat der aus dem Boden aufgenommene N. Grundsätzlich ist das C:N-Verhältnis unter Feldversuchsbedingungen nur eingeschränkt zur Abschätzung der N-Freisetzung aus Pflanzenrückständen anzuwenden, da viele Faktoren einen Einfluss auf die Umsetzbarkeit ausüben (YADVINDER-SINGH et al. 1992; HAUGGAARD-NIELSEN et al. 1998; WIVSTAD 1999).

3.4.4 Ertragsleistung von Winterweizen

Den Untersuchungsergebnissen zufolge hat die Wahl der Vorfrucht-Saatmischung und des Düngetermins sowie das Versuchsjahr einen größeren Einfluss auf die Ausprägung der Ertragsparameter von Winterweizen als das Vorfrucht-Nutzungssystem (Tab. 6 & 7). Die Varianz der Parameter Korn-TM, Korn-N-Menge, TKM und Anzahl Körner je Ähre wird am stärksten von der Saatmischung und die Varianz des Korn-Rp-Gehaltes am stärksten von der organischen Düngung beeinflusst. Vom Nutzungssystem geht in der Hauptfaktorwirkung lediglich ein Effekt auf den Korn-Rp-Gehalt aus (Tab. 6).

Hinsichtlich des Jahreseffektes wird für die Versuchsbestände im Jahr 1999 eine um ca. 30% geringere Ertragsleistung als 2000 ermittelt (Tab. 7). Im Herbst 1998 wirkten zum Auflaufen des Winterweizens überdurchschnittliche Niederschlagsereignisse (ANONYM 2000) negativ auf die Bestandesetablierung und zu Vegetationsbeginn 1999 wurde eine deutlich geringere Weizenprossmasse und N-Aufnahme ermittelt (Tab. A3). Zusätzlich kann für die Weizenbestände im Versuchsjahr 1999 eine geringere N-Versorgung angenommen werden, da einerseits zum Herbstumbruch niedrigere Residuen-N-Mengen (Tab. 5) und andererseits während der Vegetation ein hoher Besatz mit Windhalm (*Apera spica-venti* L.) bestimmt wurde.

3.4.4.1 Einfluss der Saatmischung

Im Ökologischen Landbau wird der Gesamtnährstoffbedarf von Winterweizen bei einem Zielertrag von 50 dt ha⁻¹ mit 125 kg N ha⁻¹ angegeben (KTBL 2002). Vor dem Hintergrund der Literaturangaben und den ermittelten residualen N-Mengen von Rotklee bzw. Rotklee gras, die 136-166 kg N ha⁻¹ betragen (Tab. 5), besitzen die untersuchten Bestände das Potential, Winterweizen angemessen mit N zu versorgen. Allerdings wurde nach Rotklee bzw. Rotklee gras nur ein Ertragsniveau von 35-40 dt Korn-TM ha⁻¹ mit 62-67 kg Korn-N ha⁻¹ erzielt (Tab. 7). Gleichwohl grenzt sich dieses Niveau deutlich vom Winterweizen nach Gras-Reinsaat ab, der eine geringere Anzahl Körner je Ähre und eine niedrigere Tausendkornmasse (TKM) im Vergleich zur klee haltigen Vorfrucht besitzt (Tab. 7). Dieses Ergebnis ist auf eine niedrige N-Versorgung zur Zeit der Ertragsorgananlage und -ausbildung zurückzuführen (SPIERTZ & DE VOS 1983). Insbesondere für die Anzahl Ährchen je Ähre ist die N-Versorgung zum Doppelringstadium und für die Anzahl Körner je Ährchen die N-Versorgung bis zum Ährenschieben von Bedeutung (LANGER & LIEW 1973). Auch die geringe TKM des Weizenkorns nach Gras-Reinsaat weist auf eine kontinuierlich niedrigere N-Versorgung hin (HÄNSEL 1956). Die geringe N-Lieferung aus der reinen Gras-Vorfrucht ist einerseits auf die niedrigere residuale N-Menge und andererseits auf das weite C:N-Verhältnis, das auf eine ausgeprägte N-Immobilisierung schließen lässt, zurückzuführen. Auch KUMAR & GOH (2002) und STOPES et al. (1996) begründen signifikant niedrigere Korn-TM und Korn-N-Mengen von Winterweizen nach Nichtleguminosen durch eine Immobilisierung von N. In dieser Untersuchung dienen die Gras-Reinsaaten als Referenz-Bestände und sind nicht praxisrelevant.

Demgegenüber erzielt der Winterweizen nach kleehaltiger Vorfrucht signifikant höhere Kornerträge, Korn-N-Mengen, TKM und Anzahl Körner je Ähre (Tab. 7). Dieses Ergebnis ist konsistent mit verschiedenen Studien, in denen Vorfrucht-Bestände mit Klee bzw. Klee gras gegenüber Nichtleguminosen höhere Ertragsleistungen bewirkten (MÜLLER & SUNDMAN 1988; LINDEN & WALLGREN 1993; PIORR 1995; STOPES et al. 1996; LOGES et al. 1999; KUMAR & GOH 2002; OLESEN et al. 2002). Die Autoren führen die Unterschiede im Ertrag sowohl auf die höheren residualen N-Mengen als auch auf Unterschiede in der Mineralisation zurück. So ermittelten MÜLLER & SUNDMAN (1988) und KUMAR & GOH (2002) eine enge Korrelation zwischen dem C:N-Verhältnis bzw. der freigesetzten N-Menge aus sich zersetzendem Material und der N-Aufnahme durch die Folgefrucht und deren Kornertrag. Der Kornertrag nach Rotklee-Reinsaat und klee betonter Saatmischung unterscheidet sich jedoch nicht (Tab. 7). Diese Beobachtung machten auch WIVSTADT et al. (1996) und LOGES et al. (1999) für Weizen nach leguminosenbetontem Gemenge im Vergleich zur Leguminosen-Reinsaat. Dagegen wird ein signifikant niedrigerer Kornertrag nach gras betonter Mischung festgestellt (Tab. 7). Die residuale N-Menge ist hier zwar am höchsten, die Gesamt-Residuen bestehen aber zu über 70% aus Wurzeln.

Im Mittel der geprüften Saatmischungen betragen die Korn-Rp-Gehalte $\approx 10,0\%$ und sind als gering zu bewerten (Tab. 7). Die Varianten mit grashaltiger Vorfrucht unterscheiden sich nicht im Rp-Gehalt. Dagegen ist der Rp-Gehalt von Weizen nach Rotklee-Reinsaat geringer. An dieser Stelle kann auf eine längere N-Nachlieferung aus den langsamer umsetzbaren Klee gras-Gemengeresiduen geschlossen werden, denn eine höhere N-Versorgung in der späteren Wachstumsphase wirkt qualitätserhöhend (FISCHBECK et al. 1997). LOGES (1998) und KASKE (2000) konnten funktionale Beziehungen nachweisen, wonach der Rp-Gehalt von der N-Konzentration bzw. dem C:N-Verhältnis der Ernterückständen abhängig ist und abnehmende N-Konzentrationen bzw. zunehmende C:N-Verhältnisse zu höheren Rp-Gehalten im Winterweizenkorn führen.

Die realisierte Ertragsleistung ist auch nach Leguminosen-Vorfrucht und insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Residuen-N-Mengen gering. Dieses ist auf die Schwierigkeit der Synchronisation von N-Freisetzung und Pflanzen-N-Aufnahme zurückzuführen (HEß & KLEIN 1987; SPARLING et al. 1999). Der N, der durch die Rotklee- bzw. Rotklee gras-Bestände flächengebunden bereitgestellt wird,

steht dem Winterweizen nicht termingerecht zur Verfügung. Zusätzlich ist unter den geprüften Standortbedingungen die N-Auswaschung mit dem Sickerwasser ein wesentlicher Verlustpfad. Den Ergebnissen aus Kapitel 4 zufolge, kann die im Sickerwasser über Winter ermittelte N-Fracht bis zu 1/4 der im Herbst ermittelten Residuen-N-Menge betragen.

Im ökologischen Winterweizenanbau werden im Allgemeinen keine hohen Bestandesdichten angestrebt und für die Höhe des Kornertrages ist die Leistung des Haupthalms von Bedeutung (STÖPPLER et al. 1990). Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass weniger Ähren je m^2 zur Ernte ermittelt werden, als Körner ausgesät wurden. Zum einen sind Verluste beim Auflaufen der Weizenpflanzen anzunehmen, da ungebeiztes Saatgut eingesetzt wurde. Zum anderen führte offensichtlich eine stark limitierte N-Nachlieferung zu einer Triebreduktion, denn auch die Ausbildung der Kornzahl/Ähre, die zum Zeitpunkt der Triebreduktion mit dieser um N in Konkurrenz steht, ist nach kleehaltiger Vorfrucht mit 23-26 sehr gering. Im Vergleich dazu erlangt Winterweizen, der an einem vergleichbaren Standort unter konventioneller Produktionstechnik (mineralischer N-Dünger, Pflanzenschutz) stadiengezielt mit N versorgt wurde, 42-43 Körner je Ähre (CHRISTEN 2001). Obige Schlussfolgerung ist konsistent mit RUHE (2000), die der N-Aufnahme zwischen EC 31 und EC 39 eine hohe Bedeutung für den Kornertrag zumisst.

Abschließend kann festgehalten werden, dass durch den Anbau von Rotklee als Vorfrucht zu Winterweizen zwar eine Ertragssteigerung erzielt wird, das realisierte Niveau ist jedoch im Vergleich zum Ertragspotential der Kulturart Weizen gering. Über den Grasanteil in der Saatmischung lässt sich das C:N-Verhältnis der Residuen und dadurch der Korn-Rp-Gehalt positiv beeinflussen.

3.4.4.2 Einfluss des Nutzungssystems

Der Faktor Nutzungssystem übt in der Hauptfaktorwirkung keinen Effekt auf die Korn-TM bzw. die Korn-N-Menge aus (Tab. 6), obwohl zum Umbruch im Oktober für die Gründüngung GD gegenüber der Schnittgutabfuhr S eine höhere residuale N-Menge ($+27 \text{ kg N ha}^{-1}$, Tab. 5) und ein deutlich positiver N-Flächenbilanzsaldo ermittelt wird (Kapitel 2). Nach dem Herbstumbruch wurde ein Großteil des N in tiefere Bodenschichten verlagert, da beide Winter durch eine milde Witterung gekennzeichnet waren und in beiden Sickerwasserperioden die

Niederschlagssumme zwischen November und März über dem langjährigen Mittel lag (1998/99: 379 mm; 1999/2000: 396 mm; langjähriges Mittel: 307 mm; Deutscher Wetterdienst Kiel-Holtenau). Am gleichen Standort ermittelten RUHE et al. (2001) in der Sickerwasserperiode 1999/2000 eine N-Fracht von 25,8 kg N ha⁻¹ unter Winterweizen nach schnittgenutztem Klee gras. Kapitel 4 zeigt, dass in den gemulchten Varianten höhere N-Auswaschungen auftreten: nach Herbstumbruch wird für GD, aber auch für S+GD, eine N-Fracht von 33 kg N ha⁻¹ ermittelt, während die N-Fracht von S mit 19 kg N ha⁻¹ deutlich geringer war. Dennoch wird durch die Variante S+GD im Vergleich zu GD in der Rotklee-Reinsaat und dem klee betonten Gemenge eine Erhöhung des Kornertrages um 4 dt ha⁻¹ erzielt (Abb. 2a). Anhand der Residuen (Tab. 5) und der zuvor diskutierten N-Auswaschung kann allerdings nicht auf eine bessere N-Versorgung durch S+GD im Vergleich zu GD geschlossen werden. Jedoch sind für die ausschließlich gemulchten Bestände GD auch außerhalb des betrachteten Sickerwasserzeitraums (November-März) höhere N-Auswaschungen anzunehmen, da diese Bewirtschaftungsform die biologische Aktivität des Bodens erhöht (DEUBEL 1994). Zusätzlich sind die gasförmigen N-Verluste nach Herbstumbruch von gemulchtem Klee gras im Vergleich zu geschnittenem höher (HELMERT et al. 2003).

Von den geprüften Saatmischungen und Nutzungssystemen erweist sich das klee betonte Gemenge in Verbindung mit der kombinierten Nutzung (S+GD) als günstigste Vorfruchtvariante zur Erzielung hoher Korn-Erträge und Korn-N-Mengen durch Winterweizen. In der Tendenz wirkt die Nutzungsform S+GD in allen klee haltigen Saatmischungen positiv hinsichtlich der Ertragsleistung (Abb. 2).

3.4.4.3 Scheinbare Verwertung von Leguminosen-N ($ANR_{\Delta leg.}$)

Der Anteil an Leguminosen-N, der von der Folgefrucht aufgenommen wird, kann über die Differenzmethode oder über die ¹⁵N-Isotopen-Verdünnungsmethode bestimmt werden. Im Vergleich zur Isotopenmethode liefert die Differenzmethode oftmals höhere Werte, da nicht zwischen Dünger-N und zusätzlich im Boden freigesetzten N unterschieden wird (HARMSSEN & MORAGHAN 1988). Die Aneignung von zusätzlichem N kann auf eine unterschiedliche Wurzel ausbreitung im Boden und die Aufnahme von bodenbürtigem Austausch-NH₄⁺ sowie den ‚priming-effect‘ zurückgeführt werden (JANSSON & PERSSON 1982). Zur Ermittlung der N-Verwertung

ist generell die ^{15}N -Methode besser geeignet, da durch die ^{15}N -Markierung der direkte Beitrag der N-Quelle zur Folgefrucht bestimmt werden kann (ARMSTRONG et al. 1998). Allerdings treten in Böden mit hoher Mineralisation-Immobilisation-Aktivität auch bei der ^{15}N -Bestimmung Schwierigkeiten auf (HARMSSEN & MORAGHAN 1988). Aus den Literaturübersichten von GILLER & CADISCH (1995) und PEOPLES et al. (1995) geht hervor, dass die Verwertung von eingesetztem Leguminosen-N durch die Getreide-Folgefrucht gering ist (< 30%). Untersuchungen von LADD et al. (1986) zeigten mit ^{15}N -markiertem Leguminosenmaterial eine N-Verwertung bezogen auf die Weizen-Ganzpflanze von 11-28%. KUMAR et al. (2001) ermittelten eine N-Verwertung aus oberirdischen Weißkleeresiduen von 37% in der Weizen-Ganzpflanze, die aber unter Einbeziehung der Weißklee-Wurzelfraktion geringer ausfiel. Dagegen werden höhere Ausnutzungswerte durch die Weizen-Ganzpflanze für mineralische ^{15}N -Dünger im Bereich von 19-65% angegeben (LADD & AMATO 1986; BREMER & VAN KESSEL 1992; LIMAUX et al. 1999; PETERSEN et al. 2004). Unter Standortverhältnissen, die mit der eigenen Untersuchung vergleichbar sind, wird auf Basis der Differenz-Methode für das Weizenkorn eine Wiederfindung von mineralischem N-Dünger mit 37-59% ermittelt (SIELING et al. 1998).

In der eigenen Untersuchung wird die scheinbare Verwertung von N durch das Weizenkorn mit der Differenzmethode bestimmt ($\text{ANR}_{\Delta \text{ leg.}}$). Der in die Berechnung eingehende N wird aus den kleehaltigen Residuen im Vergleich zur Gras-Reinsaat ermittelt. Vor dem Hintergrund der Literaturangaben ist die $\text{ANR}_{\Delta \text{ leg.}}$ mit durchschnittlich 56% als relativ hoch einzustufen (Tab. 9). Unter Ausschluss der Weizenvarianten, die eine organische Düngung erhielten, ist eine signifikante Hauptfaktorwirkung für das Nutzungssystem abzusichern (Tab. 10). In den Varianten mit dreimaliger Schnittgutabfuhr (S) ist die $\text{ANR}_{\Delta \text{ leg.}}$ gegenüber der Gründüngung (GD) um 30 Prozentpunkte größer (Tab. 10b). Indessen wird der Korn-Ertrag und die Korn-N-Menge des ungedüngten Winterweizens (N_0) nicht vom Nutzungssystem beeinflusst (Abb. 3 bzw. Tab. A6). Daraus kann abgeleitet werden, dass der Winterweizen nach dreimaliger Schnittgutabfuhr (S) durch eine höhere N-Verwertung zu einer Ertragsleistung führt, die auch nach Gründüngung (GD) mit einer deutlich geringeren N-Verwertung der verfügbaren N-Menge realisiert wird. Dagegen zeigt die Varianzanalyse unter Einbeziehung aller Düngungsvarianten (Tab. 8) keinen Nutzungssystemeffekt in der Hauptfaktorwirkung für die $\text{ANR}_{\Delta \text{ leg.}}$. Dieses deutet darauf hin, dass die Aufnahme von N aus legumer Herkunft in Konkurrenz zur Gülle-

N-Aufnahme steht. In der Wechselwirkung Saatmischung*Nutzungssystem (Abb. 4) werden für $ANR_{\Delta leg.}$ Unterschiede in der Verwertungsquote von bis zu 36 Prozentpunkten ermittelt. Unabhängig vom Kleeanteil der Saatmischung ist die $ANR_{\Delta leg.}$ nach GD am niedrigsten. Dieses Ergebnis wird bestätigt durch Untersuchungen von FARTHOFER et al. (2004): Während der Ertrag von Winterweizen nach unterschiedlich genutzter Luzerne-Vorfrucht (Schnittgutabfuhr vs. Mulchen) gleich war, wurde für Weizen nach Luzerne-Reinsaat mit Schnittgutabfuhr bis zu 56% und in der Variante Mulchen bis zu 12% des eingesetzten residualen N im Korn wiedergefunden. In der eigenen Untersuchung ist die geringe Ertragswirksamkeit der Variante GD auf höhere N-Verluste zurückzuführen (vgl. Abschnitt 3.4.4.2). Darüber hinaus kann auch von einer hohen N-Immobilisierung ausgegangen werden. So fand HAYNES (1997) nur 9% des eingesetzten ^{15}N aus Weißklee gras-Residuen im Winterweizenkorn, während ein Grossteil im Boden als immobilisierter N bestimmt (60%) bzw. N-Verlusten (Auswaschung, Ausgasung) über Winter zugeschrieben wurde (25%) sowie in dem Residuenmaterial wiederzufinden war (5%).

Tab. 10: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Klee/Gras-Nutzungssystems für die $ANR_{\Delta leg.}$ von Winterweizen in den N_0 -Varianten (ohne organische Düngung) im zweijährigen Mittel

a) Source of variance and level of significances for $ANR_{\Delta leg.}$ and b) effect of grass/clover defoliation system on $ANR_{\Delta leg.}$ for winter wheat (treatments without organic manure, average of two years)

a)	Varianz- ursache	jahr	sys	jahr*sys	mi	jahr*mi	sys*mi	jahr*sys*mi
		3,49ns	7,51*	1,27ns	2,39ns	0,02ns	2,30ns	1,05ns

b)	Nutzungssystem	S	S+GD	GD	SE / Sign.
	$ANR_{\Delta leg.}$ [%]	68,33 ^a	52,77 ^{ab}	37,92 ^b	8,61*

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, mi= Saatmischung;
 b) $ANR_{\Delta leg.}$ [%]= apparent N-recovery der Residuen, SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveau aus dem F-Test; multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Die Untersuchungsergebnisse spiegeln die geringe N-Effizienz von Klee- bzw. Klee gras-Beständen wieder, deren Aufwuchsmaterial auf der Fläche verbleibt. Dagegen erfolgt in den Beständen mit Schnittgutabfuhr (S bzw. S+GD) bei gleicher Ertragsleistung ein effizienterer Umgang mit N. Darüber hinaus ermöglicht die Schnittgutabfuhr die Bereitstellung von Wirtschaftsdüngemitteln, die eine weitere Ertragssteigerung bewirken können (DREYMANN et al. 2003; STINNER et al. 2004).

3.4.4.4 Einfluss der organischen Düngung

Je nach Tierart und Haltung liegt der Gesamt-N in Gülle zu 40-70% in pflanzenverfügbarer Form als Ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N}$) vor (VAN FAASSEN & VAN DIJK 1987). In ökologisch erzeugter Rindergülle beträgt der Anteil an $\text{NH}_4\text{-N}$ im allgemeinen 35-40% (BERRY et al. 2002). Demzufolge sind von den 50 kg ha^{-1} Gesamtgülle-N, die in dieser Untersuchung zu unterschiedlichen Terminen eingesetzt wurden, rund 20 kg N ha^{-1} pflanzenverfügbar. Die Rindergülle stammte aus extensiver Mutterkuhhaltung und enthielt einen geringen TM-Gehalt (5% TM) und mit $2,5 \text{ kg N m}^{-3}$ vergleichsweise wenig N (KTBL 2002). Aufgrund des geringen TM-Gehaltes ist eine hohe Infiltrationsrate anzunehmen (SOMMER & OLESEN 1991). Jedoch ist die N-Wirksamkeit organischer Dünger schwer einzuschätzen und wird von vielen Faktoren beeinflusst (CHAMBERS et al. 1999). Insbesondere gasförmige N-Verluste, die hauptsächlich in Form von Ammoniak- (NH_3) -Ausgasungen auftreten (VANDRÉ et al. 1997; SOMMER & HUTCHINGS 2001), können die Verwertung des verfügbaren N stark einschränken. In Abhängigkeit von der Witterung, Zusammensetzung und Ausbringungstechnik können innerhalb von 48 Stunden nach der Applikation 4-90% des $\text{NH}_4\text{-N}$ aus der Gülle als NH_3 entweichen (VANDRÉ et al. 1997). Unter Verwendung der Schleppschlauchtechnik und anschließender Gülleeinarbeitung ermittelten DITTERT et al. (1999) eine deutliche Reduktion der NH_3 -Verluste gegenüber einer flächigen Gülleverteilerung. In der eigenen Untersuchung ist von relativ hohen NH_3 -Verlusten auszugehen, da die Applikation mit Schleppschläuchen ohne Einarbeitung in den Weizenbestand erfolgte. Anschließend blieben Niederschläge aus und der hohe Luftaustausch durch Wind, der für den exponierten Küstenstandort Lindhof charakteristisch ist, begünstigte die NH_3 -Emissionen.

Einfluss der organischen Düngung auf die Korn-TM bzw. Korn-N-Menge

Die organische Düngung übt einen höchst signifikanten Effekt auf die Korn-TM und Korn-N-Menge aus (Tab. 6), die Ausprägung ist jedoch gering: In der Hauptfaktorwirkung erhöht die Applikation von 50 kg ha^{-1} Gesamtgülle-N zu EC 25 bzw. EC 30 die Korn-TM um 2,5 bzw. 3,3 dt ha^{-1} gegenüber der Kontrolle (N_0). Dagegen steigert die Gülledüngung zu EC 45 den Rp-Gehalt (Tab. 7). Diese Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von SPRATT & GASSER (1970) und LANGER & LIEW (1973),

in denen zusätzlich applizierter N zu einem frühen Zeitpunkt positiv auf den Kornertrag und zu einem späten Termin positiv auf die Korn-N-Konzentration wirkte. In der Wechselwirkung mit dem Nutzungssystem wird deutlich (Abb. 3a), dass die Güllegabe zu EC 30 nur in den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S bzw. S+GD) zu einer Erhöhung der Korn-TM führt (+3,6 bzw. +4,8 dt ha⁻¹). Offensichtlich lieferten die Residuen und der Boden-Pool zum Zeitpunkt der Organanlage ausreichend N, um eine ‚sink‘-Kapazität auszubilden (NOVOA & LOOMIS 1981), die mit der zusätzlichen N-Versorgung zu EC 30 in einem höheren Kornertrag resultierte. Nach DARWINKEL (1983) wirkt eine zusätzliche N-Versorgung zwischen EC 30 und EC 39 positiv auf die Ährchen- bzw. Blütchenausbildung. Dagegen ist die Gülleapplikation zu EC 25 in der Variante GD ertragswirksam (+4,5 dt ha⁻¹). Offenbar erfolgt in der Variante GD eine Güllendüngung zu EC 30 zu spät, um gegenüber der Kontrolle (N₀) eine höhere Korn-TM zu erzielen. Dieses Ergebnis deutet auf eine eingeschränkte N-Lieferung aus den Residuen und dem Boden-Pool in den frühen Entwicklungsstadien während der Ertragsorgananlage hin und kann auf die höheren N-Verluste aus der Variante GD zurück geführt werden (vgl. Abschnitt 3.4.4.2).

Die Untersuchungen von WICHMANN et al. (2003), die unter gleichen Bedingungen erfolgten (Standort, Jahre, Sorte, Güllegesamt-N), zeigen eine Erhöhung des Weizenkornertrages durch Güllegaben zu EC 25, EC 30 und EC 45. Durch das Kornertragsniveau der Kontrollvariante wird deutlich, dass die als Vorfrucht angebauten Körnerleguminosen wenig N zur Folgefrucht lieferten und jede Güllegabe eine Ertragserhöhung bewirkte (WICHMANN et al. 2003).

In der vorliegenden Untersuchung ist die mittlere Ertragssteigerung von 3,3 dt ha⁻¹ bzw. 4,7 kg N ha⁻¹ gegenüber N₀ als gering zu bewerten (Tab. 7). Zum einen ist die eingesetzte Gülle-N-Menge niedrig, zum anderen spiegeln die Ergebnisse die geringe Wirksamkeit von Gülle-N wieder, welche sich u.a. mit den geringen Niederschlägen in den Vegetationsperioden 1999 & 2000 begründen lässt (Tab. 1). Dennoch erhöhen bestimmte Faktorkombinationen deutlich die Ertragsleistung: So steigert die Kombination aus Teil-Schnittgutabfuhr (S+GD) und Güllendüngung zu EC 30 die Weizenkorn-TM und Korn-N-Menge um 6,7 dt ha⁻¹ bzw. 10,6 kg N ha⁻¹ im Vergleich zum Weizen nach Gründüngung (GD) ohne organische Düngung (Tab. A6). Folglich sprechen die Ergebnisse für eine Kooperation zwischen Vieh- und Ackerbaubetrieben, die auch von VAN KEULEN et al. (1998) diskutiert wird. Der Einsatz einer größeren Gülle-N-Menge kann zu einer höheren Ertragssteigerung führen.

Winterweizen, der am gleichen Standort mit einer Gülledüngung von 75 kg Gesamt-N ha⁻¹ gedüngt wurde, erzielte gegenüber der Kontrolle eine durchschnittliche Erhöhung der Ertragsleistung von 5,9 dt TM ha⁻¹ bzw. 10,1 kg N ha⁻¹ (DREYMANN et al. 2003). Nach OLESEN et al. (2002) führt eine Düngung von rund 45 kg NH₄-N ha⁻¹ in Form von Gülle zu Winterweizen nach Klee gras zu einer Erhöhung der Korn-TM um 6-14 dt TM ha⁻¹. Die Klee gras-Gemenge, die mit den Nutzungssystemen S und S+GD bewirtschaftet wurden, ermöglichen die Bereitstellung von Wirtschaftsdünger-N-Mengen, die mit 220 bzw. 160 kg N ha⁻¹ deutlich höher sind, als die hier eingesetzte Gülle-N-Menge (Kapitel 2).

Einfluss der organischen Düngung auf den Korn-Rohprotein-Gehalt

Bei der Vermarktung als Brotweizen kommt dem Rp-Gehalt eine hohe Bedeutung zu (GOODING et al. 1999). Insbesondere unter den Produktionsbedingungen des Ökologischen Landbaus besteht die Schwierigkeit angemessene Erträge und N-Konzentrationen zu erzielen (BERRY et al. 2002). Oftmals erzeugt eine organische Düngung im Winterweizen unter ökologischen Bedingungen eine Ertragserhöhung, während die Korn-N-Konzentration unbeeinflusst bleibt (PIORR 1995; OLESEN et al. 2002) bzw. nur gering gegenüber der Kontrolle erhöht wird (STEIN-BACHINGER & WERNER 1997).

In der vorliegenden Studie beeinflusst von den untersuchten Ertragsparametern die organische Düngung den Rp-Gehalt am stärksten (Tab. 6). Die Gülleapplikation wirkt in Abhängigkeit vom Zeitpunkt positiv (EC 45) oder negativ (EC 25 und EC 30) auf den Rp-Gehalt im Vergleich zur Kontrolle (N₀) (Tab. 7). Die Ergebnisse stehen im Einklang mit der Untersuchung von LANGER & LIEW (1973), in der zusätzlicher N zwischen dem Doppelringstadium und der Blüteninduktion zu einer signifikanten Erniedrigung der Korn-N-Konzentration führte, während eine gesteigerte N-Düngung zum Ährenschieben die größte Erhöhung der Korn-N-Konzentration erzielte. Zugleich wird in den Varianten N₅₀ EC 25 und N₅₀ EC 30 gegenüber N₀ eine höhere Korn-TM bestimmt (Tab. 7). Demzufolge können die niedrigeren Korn-Rp-Gehalte mit einem Verdünnungs-Effekt erklärt werden. Unter N-limitierten Bedingungen erhöht die N-Zufuhr die Korn-TM und reicht aber nicht aus, um auch die N-Konzentration zu steigern (NOVOA & LOOMIS 1981). Erst ein höheres N-Düngerniveau (NOVOA & LOOMIS 1981) bzw. späte N-Gaben (SPRATT & GASSER 1970; CROSS 1992; FISCHBECK et al. 1997) erhöhen die Korn-Rp-Gehalte.

N-Verwertung in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Im Mittel der Varianten beträgt die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) durch das Weizenkorn 8%. Unter vergleichbaren Standortbedingungen erzielte RUHE (2000) mit der Differenzmethode bezogen auf die Weizenganzpflanze mit 24% eine deutlich höhere Gülle-N-Verwertung aus 40 kg ha^{-1} Gesamtgülle-N. Die höhere N-Verwertung kann auf eine größere N-Freisetzung durch Maßnahmen zur Beikrautregulierung (Hacke, Striegel) zurückgeführt werden („priming-effect“) (RUHE 2000). An einem vergleichbaren Standort ermittelte SIELING (2000) nach Frühjahrsapplikation von 80 kg N ha^{-1} mit Schleppschlautechnik in den Bestand über die Differenzmethode eine Gülle-N-Ausnutzung von 32% bezogen auf das Weizenkorn in Varianten mit Pflanzenschutzsinsatz und ohne N-Mineraldünger.

In dieser Arbeit übt die Variation des Applikationstermins der organischen Düngung einen Effekt auf die scheinbare Verwertung von Leguminosen-N ($ANR_{\Delta leg.}$) aus (Tab. 8 & 9): Die $ANR_{\Delta leg.}$ ist in der Variante $N_{50} \text{ EC } 25$ gegenüber $N_{50} \text{ EC } 45$ um 10%-Punkte signifikant geringer. Daraus ist abzuleiten, dass der N aus den legumen Residuen zu einem größeren Anteil in Weizenkorn-N umgesetzt werden kann, wenn die Güllendüngung im späteren Wachstumsverlauf erfolgt. Für den Standort Lindhof ist aufgrund seiner relativ leichten Böden (sL-IS) zu Beginn der Wachstumsperiode eine relativ hohe N-Verfügbarkeit aus den Residuen bzw. dem Boden-Pool anzunehmen. Da die Güllegabe zu EC 25 (Ende März) vor der Zeit der Haupt-N-Aufnahme erfolgte, wird nur ein Teil des insgesamt zur Verfügung stehenden N von den Pflanzen aufgenommen und die N-Verfügbarkeit kann durch N-Ausgasungen (CLEMENS et al. 2004) und N-Immobilisierung (PAUL & BEAUCHAMP 1995; LUXHØI et al. 2004) gemindert werden.

Der Faktor organische Düngung beeinflusst in der Hauptfaktorwirkung nicht die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) (Tab. 8). Erfolgt aber die Varianzanalyse nur für die Varianten, die durch eine Schnittgutabfuhr Wirtschaftsdünger bereitstellen können (S und S+GD), zeigt sich eine signifikant höhere ANR_{slurry} zu den Terminen EC 30 und EC 45 (Tab. 11b). Dieses Ergebnis unterstützt die Hypothese, dass zum Zeitpunkt der frühen Gülleapplikation (EC 25) die N-Lieferung aus den legumen Residuen bzw. dem Boden-Pool mit der Gülle in Konkurrenz tritt. Auch in der Wechselwirkung mit dem Nutzungssystem zeigt sich, dass der Winterweizen aus der Variante S+GD eine signifikant höhere Güllerverwertung aufweist, wenn die Applikation zu EC 30 bzw. EC 45 erfolgt (Abb. 5). Generell werden geringe

Ausnutzungen von Dünger-N zu frühen Stadien beobachtet und auf eine hohe N-Immobilisierung bzw. auf N-Verluste zurückgeführt (BLANKENAU & OLFS 2001), während N-Gaben zum Schossen besser verwertet werden (STICKSEL et al. 1999).

Tab. 11: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Gülleapplikationstermins für die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) von Winterweizen der Varianten mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) im zweijährigen Mittel

a) Source of variance and level of significances for apparent-N-recovery of slurry (ANR_{slurry}) and b) effect of date of slurry-application on ANR_{slurry} for winter wheat (treatments with cutting S, S+GD; average of two years)

a)	Varianz- ursache	jahr	sys	jahr*sys	due	sys*due	mi	sys*mi	due*mi
		2,31ns	0,90ns	0,30ns	5,97*	1,16ns	1,44ns	2,79*	0,30ns

b)	Termin der Gülleapplikation	N ₅₀ EC 25	N ₅₀ EC 30	N ₅₀ EC 45	SE / Sign.
	ANR_{slurry} [%]	1,85 ^b	12,17 ^a	10,24 ^a	2,81*

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, due= organische Düngung, mi= Saadmischung; die Interaktionen jahr*due, jahr*sys*due, jahr*mi, sys*due*mi, jahr*sys*mi, jahr*due*mi und jahr*sys*due*mi sind nicht signifikant

b) ANR_{slurry} [%]= apparent N-recovery der Gülle, SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveau aus dem F-Test; multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

3.5 Zusammenfassung

In einem zweijährigen Feldversuch wurde die Ertragsleistung von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung der Vorfrucht Rotklee/Rotklee gras (*Trifolium pratense* L., *Lolium perenne* L.) und einer organischen Düngung untersucht. In der Vorfruchtperiode wurden die Prüffaktoren i) Saatmischung (100% Rotklee; 67% Rotklee + 33% Dt. Weidelgras; 33% Rotklee + 67% Dt. Weidelgras; 100% Dt. Weidelgras) und ii) Nutzungssystem (S: 3-Schnitte + 1x Mulchen; S+GD: 2-Schnitte + 2x Mulchen; GD: 4x Mulchen) variiert. Der Faktor iii) organische Düngung wurde zu unterschiedlichen Terminen (EC 25, EC 30 oder EC 45) mit 50 kg ha⁻¹ Güllegesamt-Stickstoff und einer Kontrollvariante (N₀) zum Winterweizen eingesetzt. Die Residuen der Vorfruchtbestände wurden zum Herbstumbruch hinsichtlich der Menge und der Umsetzbarkeit quantifiziert. Für die Folgefrucht Winterweizen wurde neben den Ertragsparametern auch die scheinbare Stickstoff-(N)-Verwertung durch das Weizenkorn ermittelt.

Die Rotklee- bzw. Rotklee gras-Bestände hinterlassen residuale N-Mengen von 136-166 kg N ha⁻¹. Im Vergleich zur Rotklee-Reinsaat besitzen die Rückstände der Rotklee gras-Gemenge eine geringere Umsetzbarkeit. Mit zunehmendem Grasanteil in der Saatmischung steigt das C:N-Verhältnis der Residuen an. In der Variante GD kommt es während der Vegetationsperiode zu einer raschen Zersetzung des gemulchten Pflanzenmaterials: Zum Herbstumbruch ist die organische Masse bzw. die N-Menge der Pflanzenrückstände nach 4-maligem Mulchen (GD) gegenüber der 3-maligen Schnittgutabfuhr (S) nur um 20% erhöht.

Die geprüften Faktoren bewirken im Winterweizen eine Variationsbreite des Kornertrages von 27-42 dt TM ha⁻¹. Primär wird die Ertragsleistung des Winterweizens von der Vorfrucht-Saatmischung und der organischen Düngung beeinflusst, während vom Nutzungssystem lediglich ein Effekt auf den Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt ausgeht. Der Winterweizen nach Rotklee-Reinsaat und kleebetontem Gemenge erzielt mit Ø 39 dt TM ha⁻¹ gegenüber dem grasbetonten Gemenge einen signifikant höheren Kornertrag, während Winterweizen nach grashaltiger Vorfrucht gegenüber der Rotklee-Reinsaat einen signifikant höheren Korn-Rp-Gehalt erzielt. Obwohl für GD gegenüber S eine höhere N-Menge in den Pflanzenrückständen zum Herbstumbruch ermittelt wird, ist der Kornertrag und die Korn-N-Menge des folgenden Winterweizens nicht erhöht.

Die scheinbare Verwertung von Leguminosen-N ($ANR_{\Delta \text{leg.}}$) durch das Weizenkorn ist für GD geringer (28-59%) als für die Varianten mit Schnittgutabfuhr (S bzw. S+GD) (42-93%). Ohne den Einfluss von Gülle-N ergeben sich Verwertungsquoten für S mit 68%, für S+GD mit 53% und für GD mit 38%. Für die Güllegabe zu EC 25 und EC 30 wird gegenüber der Kontrolle (N_0) eine Kornertrags- und zu EC 45 eine Rp-Gehaltserhöhung ermittelt. Die höchste Ertragsleistung erzielt Winterweizen in der Faktorkombination „S+GD und Gülle zu EC 30“ und hebt sich gegenüber dem Weizen nach Gründüngung, der praxisüblich keinen Wirtschaftsdünger erhält, um 6,7 dt TM ha⁻¹ bzw. 10,6 kg N ha⁻¹ ab. Es wird festgestellt, dass die Variation des Düngetermins einen Effekt auf die $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ ausübt. Der N aus den legumen Varianten wird vermehrt zu Weizenkorn-N umgesetzt, wenn die Gülledüngung im späteren Wachstumsverlauf erfolgt: Die $ANR_{\Delta \text{leg.}}$ beträgt zu EC 25 51% und zu EC 45 61%. Die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) durch das Weizenkorn ist mit rund 8% gering und es wird kein Effekt der Prüffaktoren ermittelt. Erfolgt jedoch die Varianzanalyse nur für die Varianten, die durch eine Schnittgutabfuhr Wirtschaftsdünger bereitstellen können (S und S+GD), zeigt sich eine signifikant höhere Gülle-N-Verwertung zu den Terminen EC 30 (12%) und EC 45 (10%) gegenüber der Güllegabe zu EC 25 (2%). Folglich führt eine späte Güllegabe zu einer besseren Verwertung von Gülle-N und Leguminosen-N.

Unter den geprüften Standortbedingungen gehen von den Rotklee-/Rotklee gras-Beständen, die ausschließlich gemulcht werden, keine positiven Wirkungen auf den Kornertrag und die Korn-N-Menge von Winterweizen aus. Aus den Untersuchungsergebnissen ist abzuleiten, dass in der Vorfruchtnutzung eine (Teil)-Schnittgutabfuhr erfolgen sollte, um die Ertragsleistung von Winterweizen mit Wirtschaftsdüngern gezielt erhöhen zu können.

3.6 Literaturverzeichnis

- ANONYM, 1999: Statistical Analysis System (SAS©, 1999-2001), 8.02 edn., Cary, NC: SAS Institute.
- ANONYM, 2000: Agrarreport Schleswig-Holstein 2000, Hrsg. Ministerium für ländliche Räume Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein, MLR-Druck, Kiel, 1-171.
- ANONYM, 2002: Agenda 2000. Pflanzlicher Bereich; Agrarumweltmaßnahmen.
- ANONYM, 2004: Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung, Hrsg. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
- ARMSTRONG, R., PROBERT, M., MCCOSKER, K. & MILLAR, G., 1998: Fluxes of nitrogen derived from plant residues and fertiliser on a cracking clay in a semi-arid environment. *Australian Journal of Agricultural Research* **49**, 437-449.
- AULAKH, M., DORAN, J., WALTERS, D., MOSIER, A. & FRANCIS, D., 1991: Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Science Society of America Journal* **55**, 1020-1025.
- AVNIMELECH, Y., 1986: Organic residues in modern agriculture. In: *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Ed. Y. Chen & Y. Avnimelech, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Boston Lancaster, 1-10.
- BBA, 1997: Phänologische Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen - Einheitliche Codierung nach der erweiterten BBCH-Skala-. In: *Growth Stages of Plants BBCH Monograph*, Hrsg. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin Wien, 141-279.
- BERRY, P., SYLVESTER-BRADLEY, R., PHILIPPS, L., HATCH, D., CUTTLE, S., RAYNS, F. & GOSLING, P., 2002: Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management* **18**, 248-255.
- BLANKENAU, K. & OLFS, H.-W., 2001: Effect of Different Crop Densities of Winter Wheat on Recovery of Nitrogen in Crop and Soil within the Growth Period. *Journal of Agricultural Science* **186**, 151-156.
- BLUMÖHR, T., 2004: Organic production in official agricultural statistics of Germany. In: *Development of a European Information System for Organic Markets - Improving the Scope and Quality of Statistical Data*, Ed. G. Recke, H. Willer, N. Lampkin & A. Vaughan, FIBL, Berlin, 77-81.
- BREMER, E. & VAN KESSEL, C., 1992: Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. *Soil Science Society of America Journal* **56**, 1155-1160.
- CHAMBERS, B., LORD, E., NICHOLSON, F. & SMITH, K., 1999: Prediction nitrogen availability and losses following application of organic manures to arable land: MANNER. *Soil Use and Management* **15**, 137-143.

- CHRISTEN, O., 2001: Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. *Pflanzenbauwissenschaften* **5** [1], 33-39.
- CLEMENS, J., VANDRÉ, R., KAUPENJOHANN, M. & GOLDBACH, H., 2004: Ammonia and Nitrous Oxide Emissions after Landspreading of Slurry as Influenced by Application Technique and Dry Matter-Reduction. II. Short Term Nitrous Oxide Emissions. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **160**, 491-496.
- CROSS, R., 1992: Crop recoveries and soil residues from nitrogen applied as prills or sprays to boost grain protein concentrations of winter wheat grown for breadmaking. In: *Nitrate and farming systems*, Ed. J. R. Archer, K. W. T. Goulding, S. C. Jarvis, C. M. Knott, E. Lord, S. E. Ogilvy, J. Orson, K. A. Smith & B. Wilson, *Aspects of Applied Biology* **30**, 431-433.
- DARWINKEL, A., 1983: Ear formation and grain yield of winter wheat as affected by time of nitrogen supply. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **31**, 211-225.
- DEUBEL, W.-D., 1994: Einfluss verschiedener Ackerflächenverhältnisse, Düngungsmaßnahmen und Fruchtarten auf die mikrobielle Biomasse des Bodens und Beziehungen zur Reproduktion der organischen Substanz. Dissertation, Institut für Acker- und Pflanzenbau der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg.
- DITTERT, K., GOERGES, T., BLESS, H.-G., LIN, S. & SATTELMACHER, B., 1999: Stickstoffdynamik im Boden nach Gülledüngung unter besonderer Berücksichtigung der N-Pflanzenaufnahme. *Pflanzenbauwissenschaften* **3** [2], 53-58.
- DREESMANN, S., 1993: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzerne-gras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste. Dissertation, Institut für Organischen Landbau der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- DREYMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Einfluss der Klee-gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **15**, 83-86.
- FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2004: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Luzerne (Schnitt- und Grünbrachennutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Ostösterreich. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **16**, 67-68.
- FARTHOFER, R., PIETSCH, G., FRIEDEL, J. K. & FREYER, B., 2002: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Futterleguminosen auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Österreich. In: *Ressourcenschutz und Produktsicherheit - Qualitätssicherung in der Landwirtschaft*, 114.VDLUFA Kongressband, VDLUFA-Verlag, Bonn, 83-86.
- FISCHBECK, G., DENNERT, J. & MAIDL, F., 1997: Aufnahme von Stickstoff bei Einsatz von Spätdüngungsmaßnahmen zu Winterweizen. *Pflanzenbauwissenschaften* **1** [2], 49-56.

- FLESSA, H., POTTHOF, M. & LOFTFIELD, N., 2002: Greenhouse estimates of CO₂ and N₂O emissions following surface application of grass mulch: importance of indigenous microflora of mulch. *Soil Biology and Biochemistry* **34**, 875-879.
- FOX, R. H., MYERS, R. J. K. & VALLIS, I., 1990: The nitrogen mineralisation rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil* **129**, 251-259.
- FRANKENBERGER, W. & ABDELMAGID, H., 1985: Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant and Soil* **87**, 257-271.
- GILLER, K. & CADISCH, G., 1995: Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach to agriculture. *Plant and Soil* **174**, 255-277.
- GOODING, M. J., CANNON, N., THOMPSON, A. & DAVIES, W., 1999: Quality and Value of Organic Grain from Contrasting Breadmaking Wheat Varieties and Near Isogenic Lines Differing in Dwarfing Genes. *Biological Agriculture and Horticulture* **16**, 335-350.
- GÖMPEL, H., 1992: Einfluss der Nutzungsform auf die Nährstoffdynamik typischer Böden Schleswig-Holsteins. Dissertation, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- GUTSER, R. & VILSMEIER, K., 1985: N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **148** [6], 595-606.
- HANUS, H. & SCHÖNBERGER, H., 1977: Anbautechnische Voraussetzungen für die Maximierung der Weizenerträge. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel **56**, 38-49.
- HARMSSEN, K. & MORAGHAN, J., 1988: A comparison of the isotope recovery and difference methods for determining nitrogen fertilizer efficiency. *Plant and Soil* **105**, 55-67.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., NEERGAARD, D. A., JENSEN, L., HØGH-JENSEN, H. & MAGID, J., 1998: A field study of nitrogen dynamics and spring barley growth as affected by the quality of incorporated residues from white clover and ryegrass. *Plant and Soil* **203**, 91-101.
- HAYNES, R., 1997: Fate and recovery of ¹⁵N derived from grass/clover residues when incorporated into a soil and cropped with spring or winter wheat for two succeeding seasons. *Biology and Fertility of Soils* **25**, 130-135.
- HÄNSEL, H., 1956: Entwicklungs-Relationen ertragbildender Organe von Winterweizen (und Winterroggen) und ihre Bedeutung für Termine zusätzlicher Nährstoff- und Wassergaben. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **100** [1], 85-98.
- HELMERT, M., HEUWINKEL, H., GUTSER, R. & SCHMIDHALTER, U., 2003: Verändert Mulchen von Klee gras die N-Flüsse in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus? In: *Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, 47. Jahrestagung 28.-30. August 2003 in Braunschweig, 79-82.

- HEß, J. & KLEIN, A., 1987: Möglichkeiten zur Verringerung der N-Frühjahrlücke im Organischen Landbau durch verbesserte Nutzung von Leguminosen-N und systemkonforme Düngungsmaßnahmen. In: Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft, Hrsg. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, Bonn, 42-63.
- HEUWINKEL, H., 2001: N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 6.-8. März 2001 Freising-Weißenstephan, Hrsg. H. J. Reents, 183-186.
- HORN, M. & VOLLANDT, R., 1995: Biometrie: Multiple Tests und Auswahlverfahren, Gustav Fischer Verlag Stuttgart-Jena.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJØERRING, J. K., 2001: Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry* **33**, 439-448.
- JANETZKO, P. & SCHMIDT, R., 1996: Norddeutsche Jungmoränenlandschaften. In: Handbuch der Bodenkunde - Böden als Teile von Landschaften, Hrsg. Blume H.-P., Felix-Henningsen P., Fischer W.R., Frede H.-G., Horn R. & Stahr K., ecomed 1-36.
- JANSSON, S. L. & PERSSON, J., 1982: Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Nitrogen in agricultural soils, Ed. F. J. Stevenson, American Society of Agronomy, Madison, Wisc, 229-252.
- JANZEN, H. & MCGINN, S., 1991: Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biology and Biochemistry* **23**, 291-297.
- JENKINSON, D. S., 1977: Studies of the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *Journal of Soil Science* **28**, 417-423.
- JOHNSTON, E., MCEWEN, J., LANE, P. W., HEWITT, M. V., POULTON, P. R. & YEOMAN, D. P., 1994: Effects of one to six year old ryegrass-clover leys on soil nitrogen and on the subsequent yields and fertilizer nitrogen requirements of the arable sequence winter wheat, potatoes, winter wheat, winter beans (*Vicia faba*) grown on a sandy loam soil. *Journal of Agricultural Science* **122**, 73-89.
- KASKE, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 17, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- KIRCHGESSNER, M., 1997: Tierernährung, 10 Aufl., S. 23. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt (Main).
- KÖHNLEIN, J. & VETTER, H., 1953: Ernterückstände und Wurzelbild. Menge und Nährstoffgehalt der auf dem Acker verbleibenden Reste der wichtigsten Kulturpflanzen, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1-138.
- KTBL, 2002: Ökologischer Landbau. Kalkulationsdaten zu Ackerfrüchten, Feldgemüse, Rindern, Schafen und Legehennen, Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Lokay Reinheim, 1-359.

- KUMAR, K. & GOH, K., 2002: Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *European Journal of Agronomy* **16**, 295-308.
- KUMAR, K., GOH, K., SCOTT, W. & FRAMPTON, C., 2001: Effects of ¹⁵N-labelled crop residues and management practices on subsequent winter wheat yields, nitrogen benefits and recovery under field conditions. *Journal of Agricultural Science* **136**, 35-53.
- LADD, J. N. & AMATO, M., 1986: The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* **18** [4], 417-425.
- LADD, J., BUTLER, J. & AMATO, M., 1986: Nitrogen Fixation by Legumes and their Role as Source of Nitrogen for Soil and Crop. *Biological Agriculture and Horticulture* **3**, 269-286.
- LANGER, R. & LIEW, F., 1973: Effects of varying nitrogen supply at different stages of the reproductive phase on spikelet and grain production and on grain nitrogen in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **24**, 647-656.
- LARSSON, L., FERM, M., KASIMIR-KLEMEDTSSON, Å. & KLEMEDTSSON, L., 1998: Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient cycling in agroecosystems* **51** [1], 41-46.
- LIMAUX, F., RECOUS, S., MEYNARD, J.-M. & GUCKERT, A., 1999: Relationship between rate of crop growth at date of fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat. *Plant and Soil* **214**, 49-59.
- LINDEN, B. & WALLGREN, B., 1993: Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research* **23**, 77-89.
- LOGES, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 9, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- LOGES, R., KASKE, A. & TAUBE, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: *Designing and testing crop rotations for organic farming*, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 181-190.
- LUXHØI, J., DEBOSZ, K., ELSGARD, L. & JENSEN, L., 2004: Mineralization of nitrogen in Danish soils, as affected by short-, medium- and long-term annual inputs of animal slurries. *Biology and Fertility of Soils* **39**, 352-359.
- MAGID, J., LUXHØI, J. & LYSHEDE, O. B., 2004: Decomposition of plant residues at low temperatures separates turnover of nitrogen and energy rich tissue components in time. *Plant and Soil* **258**, 351-365.
- MARY, B., 1996: Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* **181**, 71-82.

- MAYER, J., BUEGGER, F., STEEN JENSEN, E., SCHLOTTER, M. & HEß, J., 2003: Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial process. *Plant and Soil* **255**, 541-554.
- MCGINN, S. & JANZEN, H., 1998: Ammonia sources in agriculture and their measurement. *Canadian Journal of Soil Science* **78** [1], 139-148.
- MEINSEN, C., 1983: Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotklee gras. Dissertation, Arbeit aus der Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Wissenschaftsbereich Pflanzenbau und Grünland, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- MÖLLER, K., 2004: Neue Möglichkeiten der Nutzung von Klee gras aufwüchsen und Koppelprodukten in viehlosen Betrieben. *Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare*, 32-33.
- MÜLLER, M. & SUNDMAN, V., 1988: The fate of nitrogen (^{15}N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant and Soil* **105**, 133-139.
- NEUMANN, H., 2005: Strategien für die Getreideproduktion im ökologischen Landbau: „Weite Reihe“-Anbau und gemeinsamer Anbau mit Weißklee („Bicropping“). Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, im Druck, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- NICOLARDOT, B., RECOUS, S. & MARY, B., 2001: Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant and Soil* **228**, 83-103.
- NOVOA, R. & LOOMIS, R., 1981: Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* **58**, 177-204.
- OLESEN, J., RASMUSSEN, I., ASKEGAARD, M. & KRISTENSEN, K., 2002: Whole-rotation dry matter and nitrogen grain yields from the first course of an organic farming crop rotation experiment. *Journal of Agricultural Science* **139**, 361-370.
- PAUL, J. & BEAUCHAMP, E., 1995: Availability of manure slurry ammonium for corn using ^{15}N -labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. *Canadian Journal of Soil Science* **75**, 35-42.
- PÄTZOLD, H., 1956: Untersuchungen über den Vorfruchtwert von Rotklee, verschiedenen Gräsern und Klee gras gemischen. *Die Deutsche Landwirtschaft* **7**, 320-326.
- PEOPLES, M., HERRIDGE, D. & LADHA, J., 1995: Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* **174**, 3-28.
- PETERSEN, J., HANSEN, B. & SØRENSEN, P., 2004: Nitrification of ^{15}N -ammonium sulphate and crop recovery of ^{15}N -labelled ammonium nitrates injected in bands. *European Journal of Agronomy* **21**, 81-92.

- PIORR, A., 1995: Zum N-Mineralisationsverhalten von Klee grasresiduen in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und Möglichkeiten der Regulation der Mineralisationsintensität durch Wirtschaftsdüngeranwendung. *Agribiological Research* **48** [3-4], 207-218.
- RUHE, I., 2000: Winterweizenanbau in stickstofflimitierten Produktionssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Ertragsbildung, der organischen Düngung und der mechanischen Beikrautregulierung. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 13, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2001: Vergleichende Analyse der N-Flüsse in Fruchtfolgen N-intensiver und N-extensiver ökologischer Produktionssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Nitratverluste. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 6.-8. März 2001 in Freising-Weihenstephan, Hrsg. H. Reents, Verlag Dr. Köster, Berlin, 237-240.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Manz Crossmedia GmbH & Co KG, Wien, 97-100.
- SCHMIDT, H., 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau, Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation, Fachbereich Landwirtschaft, internationale Agrarentwicklung und ökologische Umweltsicherung der Universität Gesamthochschule Kassel.
- SCHMIDT, H., 2004: Viehloser Öko-Ackerbau Beiträge Beispiele Kommentare, Hrsg. H. Schmidt, Offset-Druckerei Gerhard Weinert GmbH, Berlin, 1-207.
- SELING, K., 2000: Untersuchungen zu den Auswirkungen unterschiedlicher Produktionssysteme auf einige Parameter des N-Haushaltes von Boden und Pflanze, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 16, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- SELING, K., SCHRÖDER, H., FINCK, M. & HANUS, H., 1998: Yield, N uptake, and apparent N-use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science* **131**, 375-387.
- SOMMER, S. & HUTCHINGS, N., 2001: Ammonia emission from field applied manure and its reduction - invited paper. *European Journal of Agronomy* **15**, 1-15.
- SOMMER, S. & OLESEN, J., 1991: Effects of Dry Matter Content and Temperature on Ammonia Loss from Surface-Applied Cattle Slurry. *Journal of Environmental Quality* **20**, 679-683.
- SPARLING, G., PANKHURST, C., DOUBE, B., GUPTA, V. & GRACE, P., 1999: Low-input agriculture: matching of organic resources, soil microbial activity and plant nutrient demand. In: *Soil biota: management in sustainable farming systems*, Ed. C. Pankhurst, B. Doube & V. Gupta, CSIRO, East Melbourne, 209-216.
- SPIERTZ, J. & DE VOS, N., 1983: Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant and Soil* **75**, 379-391.

- SPRATT, E. & GASSER, J., 1970: Effects of fertilizer-nitrogen and water supply on distribution of dry matter and nitrogen between the different parts of wheat. *Canadian Journal of Plant Science* **50** [6], 613-625.
- STEIN-BACHINGER, K. & WERNER, W., 1997: Effect of Manure on Crop Yield and Quality in an Organic Agricultural System. *Biological Agriculture and Horticulture* **14**, 221-235.
- STICKSEL, E., MAIDL, F., RETZER, F. & FISCHBECK, G., 1999: Nitrogen Uptake and Utilization in Winter Wheat under Different Fertilization Regimes, with Particular Reference to Main Stems and Tillers. *Journal of Agronomy and Crop Science* **183**, 47-52.
- STINNER, P.-W., MÖLLER, K. & LEITHOLD, G., 2004: Pflanzenbauliche Systemwirkungen der Vergärung von Klee gras und pflanzlichen Koppelprodukten in einem Betriebssystem der ökologischen Landwirtschaft ohne Viehhaltung. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **16**, 109-110.
- STOPES, C., MILLINGTON, S. & WOODWARD, L., 1996: Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **57**, 189-196.
- STÖPPLER, H., KÖLSCH, E. & VOGTMANN, H., 1990: Zum Einfluß von Saatzeiten, Saatkraften und Sorten auf agronomische Merkmale von Winterweizen in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen. *Journal of Agronomy and Crop Science* **165**, 28-38.
- SWIFT, R. S. & POSNER, A. M., 1977: Humification of plant materials: Properties of humic acid extracts. In: *Soil organic matter studies*, Ed. The international atomic energy agency, Vienna, 171-182.
- TRINSOUTROT, I., RECOUS, S., BENTZ, B., LINÈRES, M., CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B., 2000: Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal* **64**, 918-926.
- VAN FAASSEN, H. G. & VAN DIJK, H., 1987: Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. In: *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?*, Ed. H. v. d. Meer, R. Unwin, T. v. Dijk & G. Ennik, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, 27-45.
- VAN KEULEN, H., LANTINGA, E. & VAN LAAR, H., 1998: Mixed Farming Systems in Europe Workshop Proceedings, Dronten, The Netherlands 25-28 May 1998. Wageningen, APMinderhoudhoeve-reeks **2**.
- VANDRÉ, R., CLEMENS, J., GOLDBACH, H. & KAUPENJOHANN, M., 1997: NH₃ und N₂O Emissions after Landspreading of Slurry as Influenced by Application Technique and Dry Matter-Reduction. I. NH₃ Emissions. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **160**, 303-307.
- VETTER, H. & SCHARAFAT, S., 1964: Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **120**, 275-298.

- VIGIL, M. & KISSEL, D., 1991: Equations for Estimation the Amount of Nitrogen Mineralized from Crop Residues. *Soil Science Society of America Journal* **55**, 757-761.
- WARREN, G. P. & WHITEHEAD, D. C., 1988: Available soil nitrogen in relation to fractions of soil nitrogen and other soil properties. *Plant and Soil* **112**, 155-165.
- WHITEHEAD, D., 1995: *Grassland Nitrogen*, CAB International, Wallingford/UK, 1-397.
- WICHMANN, S., 2004: Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und Gemenge mit Getreide. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 35, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- WICHMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Vergleich von Körnererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste in Hinblick auf Ertrag und Ertragsentwicklung sowie N-Fixierungsleistung, Ernterückstandsmengen und Vorfruchtwirkung. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Manz Crossmedia GmbH & Co KG, Wien, 185-188.
- WIVSTAD, M., 1997: Plant morphology and content of nitrogen, cell wall and lignin at different phenological stages of red clover and yellow sweetclover. *Swedish Journal of Agricultural Research* **27**, 3-14.
- WIVSTAD, M., 1999: Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. *Plant and Soil* **208**, 21-31.
- WIVSTAD, M., SALOMONSSON, L. & SALOMONSSON, A., 1996: Effects of green manure, organic fertilizers and urea on yield and grain quality of spring wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica* **46**, 169-177.
- YADVINDER-SINGH, BIJAY-SINGH & KHIND, C., 1992: Nutrient transformations in soils amended with green manures. *Advances in soil science* **20**, 237-309.
- ZIOGAS, G., 1995: Geologie und Böden der Versuchsbetriebe Lindhof und Hohen-schulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Quartärgeologische und bodenkundliche Kartierung, Genese, Vergesellschaftung, Ökologie, Funktionen. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.

3.7 Anhang

Tab. A1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für das C:N-Verhältnis der Residuen von Rotklee und Gras im zweijährigen Mittel

C:N-Verhältnis	Nutzungssystem	Saatmischung				Sign.	SE
		100% RK	67% RK + 33% DW	33% RK + 67% DW	100% DW		
Sprossmaterial	S	12,79 ^c	15,36 ^{bc}	16,39 ^b	33,84 ^a	***	0,63
	S+GD	14,11 ^c	17,54 ^b	17,45 ^b	31,22 ^a	***	
	GD	14,85 ^c	18,47 ^{bc}	19,72 ^b	29,34 ^a	***	
Wurzeln	S	19,33 ^c	26,18 ^b	27,94 ^b	40,84 ^a	***	0,96
	S+GD	19,78 ^d	25,62 ^c	28,92 ^b	41,54 ^a	***	
	GD	19,21 ^c	23,89 ^b	25,64 ^b	35,88 ^a	***	
Gesamt-Residuen	S	16,36 ^c	22,55 ^b	24,61 ^b	38,77 ^a	***	0,74
	S+GD	17,63 ^d	22,71 ^c	25,78 ^b	39,19 ^a	***	
	GD	16,93 ^c	21,77 ^b	23,81 ^b	33,84 ^a	***	

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4) (slice= Nutzungssystem); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Tab. A2: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die N-Konzentration der Residuen von Rotklee und Gras im zweijährigen Mittel

N-Konzentration [%]	Nutzungssystem	Saatmischung				Sign. ¹⁾	SE
		100% RK	67% RK + 33% DW	33% RK + 67% DW	100% DW		
Sprossmaterial	S	4,09 ^a	3,52 ^a	3,34 ^a	1,67	***	0,08
	S+GD	3,68 ^b	3,03 ^b	2,94 ^b	1,73	***	
	GD	3,53 ^b	2,90 ^b	2,72 ^c	1,75	***	
	Sign. ²⁾	***	***	***	ns		
Wurzeln	S	2,67	2,02 ^b	1,88 ^b	1,31 ^b	***	0,07
	S+GD	2,61	2,05 ^b	1,83 ^b	1,30 ^b	***	
	GD	2,67	2,16 ^a	2,03 ^a	1,44 ^a	***	
	Sign.	ns	***	***	***		
Gesamt-Residuen	S	3,32 ^a	2,52	2,29	1,40	***	0,07
	S+GD	3,03 ^b	2,40	2,13	1,39	***	
	GD	3,13 ^b	2,45	2,24	1,53	***	
	Sign.	**	ns	ns	ns		

¹⁾ Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4) (slice= Nutzungssystem);

²⁾ Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (slice= Saatmischung), die Buchstabenverteilung (vertikale Leserichtung) resultiert aus dem multiplen Mittelwertvergleich der Nutzungssysteme innerhalb einer Saatmischung (vgl. Tab. 5)

Tab. A3: Sprossmassebildung, N-Konzentration und N-Menge in der Sprossmasse von Winterweizen zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von den Prüffaktoren

Winterweizen zu Vegetationsbeginn		Parameter		
		oberirdische Biomasse [g TM m ⁻²]	N-Konzentration [%]	N-Menge [g N m ⁻²]
Jahr	1999	12,17	4,56	0,56
	2000	28,21	4,16	1,17
	Sign.	***	***	***
Kleegras-Saatmischung	100% RK	22,41	4,21	0,90
	67% RK + 33% DW	17,75	4,45	0,79
	33% RK + 67% DW	20,58	4,40	0,91
	100% DW	20,03	4,39	0,86
	Sign.	ns	ns	ns
Kleegras-Nutzungssystem	S	20,25	4,17 ^b	0,82
	S+GD	19,59	4,54 ^a	0,88
	GD	20,74	4,37 ^{ab}	0,89
	Sign.	ns	**	ns

Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Tab. A4: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für Winterweizen zu Vegetationsbeginn

F-Test Parameter	Varianzursache						
	j	sys	j*sys	mi	j*mi	sys*mi	j*mi*sys
oberirdische Biomasse [g TM m ⁻²]	116,81***	ns	3,71*	ns	ns	ns	ns
N-Konzentration [%]	18,39***	6,79**	ns	ns	ns	ns	ns
N-Menge [g N m ⁻²]	85,27	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); j= Jahr; mi= Saatmischung; sys= Nutzungssystem

Tab. A5: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Korn-TM, die Korn-N-Menge, die scheinbare Residuen-N-Verwertung (ANR_{Δ leg.}) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) im zweijährigen Mittel

Parameter	Nutzung	Saatmischung				Sign.
		100% RK	67% RK+33% DW	33% RK+67% DW	100% DW	
Korn-TM	S	39,14 ^a	36,48 ^{ab}	34,65 ^b	25,83 ^c	***
	S+GD	42,07 ^a	40,70 ^a	36,57 ^b	26,47 ^c	***
	GD	38,15 ^a	37,00 ^{ab}	34,69 ^b	27,37 ^c	***
Korn-N	S	65,08 ^a	63,10 ^a	60,43 ^a	44,86 ^b	***
	S+GD	71,68 ^a	72,15 ^a	64,92 ^b	46,70 ^c	***
	GD	65,36 ^a	65,93 ^a	61,43 ^a	49,06 ^b	***
ANR _{Δ leg.}	S	93,07 ^a	54,07 ^{ab}	48,21 ^b	-	*
	S+GD	69,26	72,23	42,31	-	ns
	GD	58,94	35,95	28,35	-	ns
ANR _{slurry}	S	7,29	7,18	3,18	7,57	ns
	S+GD	11,12 ^{ab}	17,35 ^a	11,08 ^{ab}	-0,66 ^b	***
	GD	9,20	12,31	9,03	1,65	ns

Sign. Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4) (slice = Nutzungssystem); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5

Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die Korn-TM, die Korn-N-Menge, die scheinbare Residuen-N-Verwertung ($ANR_{\Delta \text{ leg.}}$) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) im zweijährigen Mittel

	Org. Düngung	Nutzungssystem			Sign.
		S	S+GD	GD	
Korn-TM	N ₀	32,91	34,20	32,39	ns
	N ₅₀ EC 25	34,11	35,89	36,88	ns
	N ₅₀ EC 30	36,46 ^{ab}	39,04 ^a	33,91 ^b	*
	N ₅₀ EC 45	32,61 ^b	36,68 ^a	34,03 ^{ab}	*
Korn-N	N ₀	56,43	60,00	57,15	ns
	N ₅₀ EC 25	57,56	60,73	63,23	ns
	N ₅₀ EC 30	61,29 ^{ab}	67,75 ^a	58,53 ^b	*
	N ₅₀ EC 45	58,20 ^b	66,97 ^a	62,86 ^{ab}	*
$ANR_{\Delta \text{ leg.}}$	N ₀	68,33 ^a	52,77 ^{ab}	37,92 ^b	*
	N ₅₀ EC 25	61,20 ^a	63,13 ^a	28,18 ^b	**
	N ₅₀ EC 30	64,05	63,61	47,57	ns
	N ₅₀ EC 45	66,88	65,56	50,64	ns
ANR_{slurry}	N ₀	-	-	-	-
	N ₅₀ EC 25	2,30	1,46	12,15	ns
	N ₅₀ EC 30	10,91	12,91	4,67	ns
	N ₅₀ EC 45	5,71	14,79	7,33	ns

Org.= organische, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4) (slice= Düngung); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5;

Kapitel 4

Bedeutung der Bewirtschaftung von Rotklee gras für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen

*Impact of grass-red clover defoliation system on nitrate in the leachate
and the yield performance of succeeding wheat*

4 Bedeutung der Bewirtschaftung von Rotklee gras für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen

4.1 Einleitung

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts führt der zunehmende Stickstoff-(N)-Eintrag aus atmosphärischer Deposition, kommunalen und industriellen Abwassereinleitungen sowie aus der Landwirtschaft zur Einschränkung der Grundwasserverwertung als Trinkwasser und zur Überdüngung von Gewässern (FRIED 1991; FEWTRELL 2004). Auf internationaler Ebene wurden Vereinbarungen (OSPAR 1992; HELCOM 1992) getroffen, um u.a. die N-Einträge in marine Ökosysteme und deren Eutrophierung zu beschränken. Seitens der EU wurde zum Schutz von Gewässern und von Trinkwasser die Nitratrichtlinie (91/676/EWG) und die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) erlassen (ANONYM 1991a, 2000) und zur Sicherung der Trinkwasserqualität ein Trinkwassergrenzwert von $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ auf Basis der WHO-Richtlinie (WHO 1971) festgelegt. Obgleich der N-Eintrag in Gewässer aus punktuellen Quellen vermindert werden konnte, geht aus der Abschätzung der Nährstoffbelastung der Ostsee durch die BERNET-Studie (BERNET 2001) und den Bericht der Helsinki-Kommission (HELCOM 2003) hervor, dass die vereinbarte 50%-Reduktion der N-Einträge in die Ostsee gegenüber dem Referenzjahr 1988 nicht erreicht wurde und der Eutrophierungszustand weitere Maßnahmen notwendig macht. Den Berichten zufolge stellt die Landwirtschaft die anteilig größte Quelle der N-Einträge des Ostseeanrainerstaates Deutschland dar. Auch eine in Schleswig-Holstein landesweit durchgeführte Studie weist erhöhte NO_3^- -Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser und für ein Drittel der Messstellen eine Überschreitung des Grenzwertes von $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ nach, hervorgerufen durch den Einfluss der Landwirtschaft (STEINMANN 2002).

Im norddeutschen Klimaraum ist im Winterhalbjahr die Menge des Niederschlages größer als die Verdunstung und es kommt zur Grundwasserneubildung durch Wasserversickerung im Boden (BEINHAUER & GÜNTHER 1990; WOHLRAB et al. 1992) und damit zum N-Transport aus der landwirtschaftlichen Fläche. Der sickerwassergebundene N-Austrag wird aufgrund seiner hohen Mobilität im Boden (JOHNSON et al. 1986; TONER et al. 1989) überwiegend durch das Nitrat-Ion (NO_3^-) verursacht (WHITE

1988). NO_3^- wird durch die Mineralisierung organischer Substanz im Boden freigesetzt. Dieser Prozess hat im Ökologischen Landbau eine große Bedeutung aufgrund des Einsatzverbotes von mineralischen Düngemitteln (ANONYM 1991b). In den ökologisch wirtschaftenden Betrieben Norddeutschlands erfolgt die N-Versorgung von Getreide hauptsächlich über Klee gras-Bestände, die hohe Mengen an organisch gebundenem N über Ernterückstände bereitstellen (LOGES 1998; KASKE 2000). Dadurch wird aber ein N-Austragspotential verursacht, das über die natürliche Grundlast des N-Eintrages in Gewässer hinausgehen kann (FELDWISCH & FREDE 1999). Das N-Austragsrisiko ist u.a. abhängig von der Nutzung der Klee gras-Bestände, die mit der Betriebsausrichtung variiert. Auf viehlos wirtschaftenden Betrieben wird der Klee gras-Bestand in der Regel als Gründüngung gemulcht, wobei die Biomasse auf der Fläche verbleibt. Bekannt ist, dass das Mulchen im Vergleich zur Schnittgutabfuhr niedrigere N_2 -Fixierungsleistungen und höhere umweltrelevante N-Verluste verursacht (LOGES 1998; HEUWINKEL 2001; WEBER et al. 2002; RUHE et al. 2003), die den Brutto-N-Input des Betriebes mindern. Da seit dem Wirtschaftsjahr 2001/02 die Abfuhr von Klee gras von ökologischen Stilllegungsflächen erlaubt ist (ANONYM 2002), nehmen in jüngster Zeit auch marktfruchtorientierte Betriebe einen Teil der Klee gras-Biomasse von der Fläche. Traditionell wird Klee gras als hochwertiges Futter in der Wiederkäuerfütterung eingesetzt (MEINSEN 1983), es kann aber auch als Gärsubstrat verwertet werden (MÖLLER 2004).

Als Kulturart mit hohem Vorfurchtanspruch und hoher Marktleistung ist Weizen häufig direkte Klee gras-Folgefrucht (HØGH-JENSEN 1999; TAYLOR et al. 2001). Der praxisübliche Klee gras-Umbruch kann allerdings eine erhebliche Freisetzung von mineralischem N bewirken (BELAU et al. 1995), der insbesondere auf leichten Böden der Auswaschungsgefahr unterliegt (DUYNISVELD & STREBEL 1985; HEß 1990; PETER & HARRACH 1991; FAßBENDER 1998; HAAS 2000). Umfassende Untersuchungen zeigen jedoch, dass mittels pflanzenbaulicher Steuergrößen das Ausmaß und die Geschwindigkeit der N-Freisetzung beeinflusst werden kann: Schon die Bestandesnutzung hat einen wesentlichen Einfluss auf die N-Akkumulation auf der Fläche (MEINSEN & WEGENER 1992; RUHE et al. 2003; WACHENDORF et al. 2004) und im Falle von Gründüngungs-Beständen ist deren Nutzungsintensität bedeutend für die Umsetzbarkeit der Biomasse (WIVSTAD 1997; NICOLARDOT et al. 2001). Bezüglich des Umbruchtermins ist für im Herbst umgebrochene Klee gras-Bestände mit einer deutlich höheren N-Mineralisation zu rechnen als für überwinterte Klee gras-

Bestände (HEß et al. 1990; AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994). Gleichwohl vermag auch die Verschiebung eines frühen Umbruchzeitpunktes in den Spätherbst die vorwinterliche N-Mineralisation zu mindern und den N-Austrag zur ersten Klee gras-Nachfrucht Winterweizen zu reduzieren, diese Vorhergehensweise schließt aber ein spätsaatbedingtes Ertragsrisiko ein (HEß 1995; FAßBENDER 1998; LOGES 1998).

Im Hinblick auf das Leitbild des Ökologischen Landbaus als eine ressourcenschonende Landnutzungsform und der hohen Anbaubedeutung von Winterweizen bedarf es einer wissenschaftlichen Vergleichsuntersuchung verschiedenster Klee gras-Nutzungssysteme nach Herbstumbruch auf einem N-austragsgefährdeten Standort, um eine optimale Folgefruchtertragsleistung bei gleichzeitig minimalem NO_3^- -Austrag zu erzielen. Dieses ist insbesondere angesichts der stetigen Zunahme viehlos wirtschaftender ökologischer Betriebe (SCHMIDT 2004) notwendig, um die durch Mulchen erhöhte Nitrat-Austragsproblematik zu entschärfen.

Im Rahmen dieser Untersuchung soll daher i) eine reine Klee gras-Schnittnutzung, ii) eine aus den klassischen Nutzungen Schnitt und Mulchen kombinierte Nutzungsform, iii) eine praxisüblich mehrmalig gemulchte Gründüngung und iiiii) eine extensiv bewirtschaftete Gründüngung sowohl nach Herbst- als auch nach Frühjahrs umbruch hinsichtlich des Boden-N-Haushaltes, des Nitrat-Vorkommens im Sickerwasser und der Folgefruchtertragsleistung überprüft werden.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Standort und Versuchsanlage

Die Untersuchungen wurden in zwei Versuchszeiträumen (2001/2002 und 2002/2003) auf dem Versuchsgut für Ökologischen Landbau und extensive Landnutzungssysteme „Lindhof“ der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel im Rahmen von Feldversuchen durchgeführt. Der Untersuchungsstandort liegt in Schleswig-Holstein in der Jungmoränenlandschaft Ostholsteins direkt an der Eckernförder Bucht und setzt sich aus weichselzeitlichen Ablagerungen sandigen bzw. lehmigen Geschiebemergels zusammen. Die Bodenart ist ein schwach humoser sandiger Lehm (sL) bzw. lehmiger Sand (IS) mit einer Bodenwertzahl von 40 bis 45 und die Bodentypen Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley und Kolluvisol wechseln oft kleinräumig (ZIOGAS 1995; JANETZKO & SCHMIDT 1996). Charakteristisch für den Standort ist das gemäßigte maritime Klima.

Die Witterungsdaten der Untersuchungszeiträume und das langjährige Mittel wurden von der 20 km entfernt liegenden Messstation des Deutschen Wetterdienstes Kiel-Holtenau erhoben. Im Versuchsjahr 2002 lag die Niederschlagsmenge sowohl innerhalb der Vegetationsperiode als auch in der Jahressumme deutlich über dem langjährigen Mittel, während im Versuchsjahr 2003 wesentlich geringere Niederschläge festgestellt wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen im Versuchszeitraum 2001 bis 2003 und langjähriges Mittel (Messstation des Dt. Wetterdienstes Kiel-Holtenau)

Mean annual temperature and annual rainfall of the experimental period 2001-2003 and long-term average

	2001	2002	2003	langjähriges Mittel (1980-2003)
Temperatur [°C]	8,8	9,7	9,6	8,7
Niederschlag				
Jahressumme	810	961	524	774
[mm]				
Summe April bis Oktober	544	609	332	467

Die Sickerwasserbeprobungen wurden jeweils im Zeitraum November bis März durchgeführt. Während sich die Sickerwasserperiode (SWP) 2001/02 durch einen milden Winter mit wenig Bodenfrost und hohen Niederschlagsereignissen auszeichnete (Abb. 1), war die SWP 2002/03 niederschlagsarm und ab Dezember auftretende Frostperioden führten zu einer geringeren Anzahl an Beprobungsterminen als im Jahr zuvor. Für die SWP 2001/02 bzw. 2002/03 konnte

von November bis März eine Niederschlagssumme von 380 mm bzw. 194 mm festgestellt werden (langjähriges Mittel: 307 mm). Die potentielle Evapotranspiration (ETp) wurde nach HAUDE berechnet (HAUDE, 1955).

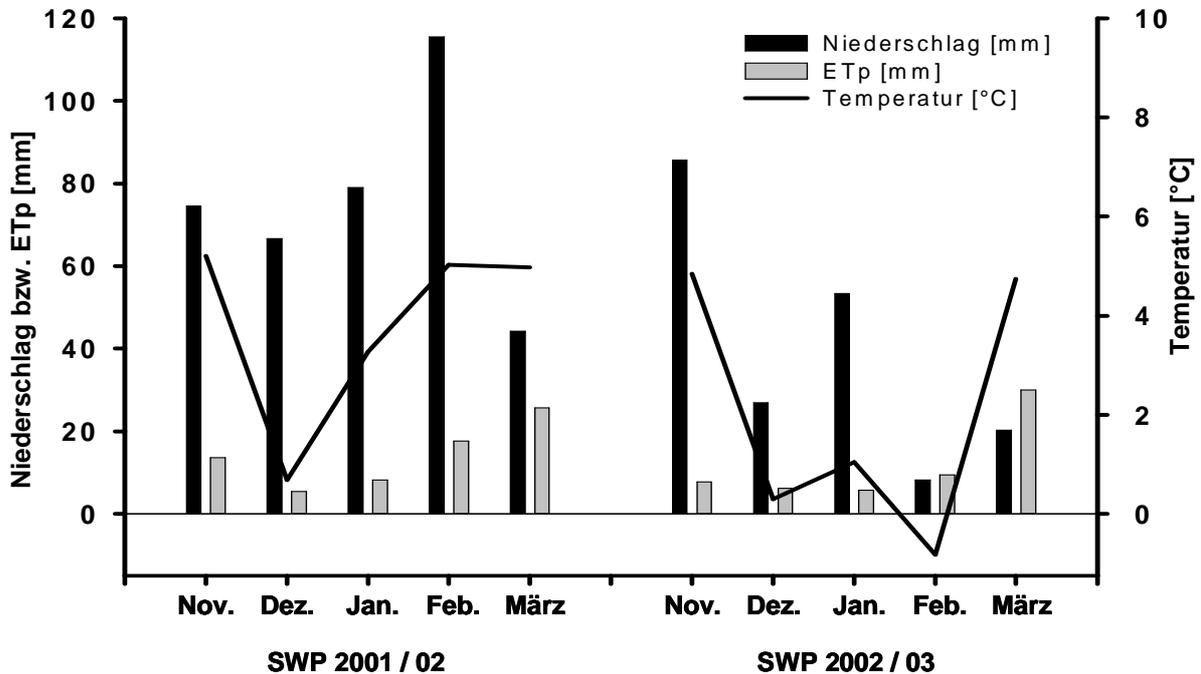


Abb. 1: Monatliche Niederschlagssumme [mm] und potenzielle Evapotranspiration (ETp) [mm] sowie monatliche Tagesmitteltemperatur [°C] der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03

Amount of precipitation [mm] and evapotranspiration (ETp) [mm] and medium daytime temperature averaged by month [°C] in the leaching periods 2001/02 and 2002/03

Zur Bestimmung der Klee gras-Residuen, Boden-N_{min}-Gehalte, Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser und Ertragsleistung der Folgefrucht diente eine zweifaktorielle Streifenanlage in dreifacher Wiederholung. Als Saatmischung wurde ein kleebetontes Gemenge verwendet mit Rotklee (*Trifolium pratense* L. cv. Pirat: 8 kg ha⁻¹) und Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L. cv. Fennema: 10 kg ha⁻¹). Die Klee gras-Bestände wurden im Jahr 2000 bzw. 2001 als Untersaat in Getreide angelegt und im folgenden Jahr unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen (Nutzungssystemen) (vertikaler Streifen; Großteilstück) unterzogen. Nach Umbruch der Bestände im Herbst bzw. Frühjahr wurde Winter- bzw. Sommerweizen als Folgefrucht (horizontaler Streifen; Kleinteilstück) etabliert. Im ersten Untersuchungszeitraum (2001/02) umfasste die Parzellengröße für Klee gras 12 x 50 m bzw. für die Folgefrucht 3 x 12 m und in der zweiten Versuchsperiode (2002/03) für Klee gras 9 x 14 m bzw. für die Folgefrucht 3 x 12 m. Tab. 2 zeigt die Versuchsfaktoren und deren Abstufungen.

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage

Factors and levels of factors of the experimental design

Faktor	Faktorstufe	
1. Klee gras- Nutzungs- system	1.1 Schnittgutabfuhr (S)	3 Schnitte
	1.2 Mischsystem (S+GD)	2 Schnitte + 1x Mulchen
	1.3 Gründüngung (intensiv) (GD _{int.})	3x Mulchen
	1.4 Gründüngung (extensiv) (GD _{ext.})	1x Mulchen
2. Umbruch- zeitpunkt	2.1 Herbst	Folgefrucht Winterweizen
	2.2 Frühjahr	Folgefrucht Sommerweizen
3. Untersuchungs- periode	3.1 2001 / 2002	Klee gras 1. HNJ*/Erntejahr Weizen
	3.2 2002 / 2003	Klee gras 1. HNJ*/Erntejahr Weizen

* 1. HNJ: 1. Hauptnutzungs jahr

Die Schnittnutzung wurde mit einem Kreiselmäher auf 5 cm Stoppelhöhe durchgeführt und das Aufwuchsmaterial von der Fläche entfernt, während das durch Mulchnutzung mit einem Schlegelmäher auf gleicher Höhe gemähte Grünkut auf der Fläche verblieb. Tabelle 3 gibt Auskunft über die Zeitpunkte der verschiedenen Klee gras-Bewirtschaftungsmaßnahmen. Die erste Nutzung erfolgte in beiden Untersuchungsjahren Ende Mai zum Zeitpunkt „späte Siloreife“.

Tab. 3: Termine der Bewirtschaftung von Rotklee gras in den Jahren 2001 und 2002

Date of defoliation of grass-red clover in the years 2001 and 2002

Klee gras-Nutzungssystem		Termine 2001			Termine 2002		
		30. Mai	10. Juli	25. August	27. Mai	9. Juli	26. August
S	3-Schnitte	S	S	S	S	S	S
S+GD	2-Schnitte+1x Mulchen	S	S	M	S	S	M
GD _{int.}	3x Mulchen	M	M	M	M	M	M
GD _{ext.}	1x Mulchen	-	M	-	-	M	-

S= Schnittgutabfuhr, M= Mulchen

Zum Herbstumbruch am 16. Oktober 2001 bzw. 8. Oktober 2002 wurden die Parzellen geteilt und der Klee gras-Bestand mit dem nach der letzten Nutzung gewachsenen Aufwuchs durch den Pflug eingearbeitet. Die Ansaat von Winterweizen (*Triticum aestivum* L. cv. Bussard; 330 Körner m⁻²) erfolgte direkt im Anschluss. Auf der anderen Hälfte der Parzellen überwinterte ein intakter Klee gras-Bestand, dessen Aufwuchs nach der letzten Nutzung auf dem Halm belassen wurde. Der Frühjahrs umbruch dieser Parzellen erfolgte am 2. April 2002 bzw. am 19. März 2003 mit dem Pflug. Die Aussaat von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L. cv. Combi; 320 Körner m⁻²) erfolgte direkt im Anschluss.

4.2.2 Pflanzenprobenahme und Untersuchung

Kurz vor Umbruch der Klee gras-Bestände wurde die ober- und die unterirdische Klee gras-Biomasse (Klee gras-Residuen) in zweifacher Wiederholung à 0,25 m² je Parzelle erfasst. Die Beprobung des Restaufwuchses (Spross > 5 cm Schnitthöhe) erfolgte mit einer Rasenkantenschere und die der Stoppeln (Spross < 5 cm Schnitthöhe) an gleicher Stelle mit einem Furniermesser. Im Vergleich zu der schnittgenutzten Variante (S) wurde in den gemulchten Beständen zusätzlich abgestorbenes Pflanzenmaterial vorheriger Aufwüchse (Mulch) aufgenommen. Obgleich die oberirdische Biomasse in den Fraktionen Restaufwuchs und Stoppeln/Altmulch getrennt ermittelt wurde, erfolgt die Darstellung zusammengefasst als oberirdisches Residuen-Sprossmaterial. Die Wiederholungen innerhalb einer Parzelle gehen als arithmetisches Mittel in die statistische Analyse ein.

Von den freigeräumten Probenahme flächen wurden Wurzelproben mit einem Wurzelbohrer (Durchmesser 8 cm, Fa. EIJKELKAMP) in einer Tiefe von 0-30 cm in sechsfacher Messwiederholung je Parzelle genommen. Die Klee gras-Wurzeln wurden unter Einwirkung von Druckluft und von Wasserstrahlen in einer Wurzelwaschanlage aus dem Erdzylinder ausgespült und mit einem Sieb (1 mm) aufgefangen. Nach der Ermittlung von Frisch- und Trockenmasse (Trocknung bei 65°C mindestens 20 Stunden) wurde das Klee gras-Grüngut sowie Stoppeln und Wurzeln mit einer Labormühle (Fa. TECATOR, 1 mm Sieb) vermahlen und anschließend die Qualitätsparameter Stickstoff (N), Kohlenstoff (C) und Asche mit dem Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie-Verfahren (NIRS) (NIRS-Gerät 5000, Fa. FOSS) bestimmt. Die Auswertung der Reflexionswerte erfolgte mit dem Programmpaket WINISI (Fa. Infrasoftware International). Die qualitative Laboranalyse der Kalibrations- und Validationsproben wurde mit dem C/N-Analyser Vario MAX CN (Fa. ELEMENTAR ANALYSENSYSTEME) nach der DUMAS-Methode durchgeführt. Die Aschegehalte der Klee gras-Stoppel- und Wurzelproben wurden nach Veraschung im Muffelofen bei 550°C bestimmt.

Zur Ermittlung von Sprossmasse und Ertragsstruktur der Folgefrucht wurde aus jeder Parzelle direkt vor der Kornernte Winter- bzw. Sommerweizen von 0,25 m² mit einer Rasenkantenschere direkt über der Bodenoberfläche beerntet, die Triebzahl bestimmt und eine repräsentative Unterprobe zur Trockenmasse- und Qualitätsbestimmung weiterverarbeitet (s.o.). Die Kornernte erfolgte am 16. August 2002 (Winter- und Sommerweizen) bzw. am 1. August 2003 (Winterweizen) und am

7. August 2003 (Sommerweizen) nach dem Kerndruschverfahren mit einem Parzellenmähdrescher (Fa. HALDRUP) mit einer Schnittbreite von 1,75 m und einer Kerndruschlänge von 9,0 m. Aus einer Unterprobe wurde mit einem Kornzählgerät die Tausendkornmasse (TKM) bestimmt und die Anzahl Körner je Ähre rechnerisch aus den Parametern Kornertrag, Triebanzahl und TKM ermittelt. Die Kornertragsparameter beziehen sich auf 100% Trockenmasse. Das NIRS-Verfahren wurden zur Messung des Korn-N-Gehaltes eingesetzt und die Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalte aus der Multiplikation der N-Gehalte mit dem Faktor 5,71 abgeleitet (KIRCHGESSNER 1997). Der folgenden Tabelle 4 sind die statistischen Kennzahlen der erstellten Kalibrations- und Validationsgleichungen zu entnehmen.

Tab. 4: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration für N, C und Asche (n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; SEC: Standardfehler der Kalibration; r^2C : Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Kalibrationsproben; SEV: Standardfehler der Validation)

Statistical characteristics of NIRS-calibration for N, C and ash (n: number of samples; MW: mean; SD: standard deviation; SEC: standard error of calibration; r^2C : coefficient of determination of calibration; SEV: standard error of validation)

		Parameter	n	MW	Spannbreite	SD	SEC	r^2C	SEV
Kleegras	Spross- material > 5 cm	N	134	2,77	0,94-4,99	0,99	0,10	0,99	0,16
		C	142	44,67	42,23-46,86	0,95	0,46	0,76	0,49
	< 5 cm	N	172	1,73	0,41-3,68	0,80	0,10	0,98	0,13
		C	174	37,60	15,57-46,58	6,33	1,31	0,96	1,74
	Wurzeln	Asche	172	24,48	5,00-69,50	13,63	2,83	0,96	3,84
		N	116	1,30	0,24-2,42	0,50	0,07	0,98	0,07
		C	113	30,89	6,31-45,06	8,42	0,98	0,99	0,98
Weizen	Spross	Asche	107	40,48	4,84-85,85	17,20	2,75	0,98	2,74
		N	232	2,31	0,28-5,99	1,60	0,11	0,99	0,10
	Korn	N	261	1,83	1,25-2,78	0,28	0,04	0,98	0,06

4.2.3 Boden- N_{\min} -Probennahme und Untersuchung

Die Bodenprobennahme zur Untersuchung des mineralischen Bodenstickstoffs (N_{\min}) erfolgte zum Herbstumbruch in der ersten Oktoberdekade (4. Oktober 2001 bzw. 7. Oktober 2002), zum Vegetationsende (23. November 2001 bzw. 20. November 2002) und zum Vegetationsbeginn (21. März 2002 bzw. 14. März 2003). Je Parzelle wurden Bodenproben aus drei Einstichen mit einem Pürckhauer Bohrstock in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm entnommen und bis zur Weiterverarbeitung bei -24°C gelagert. Die Extraktion der Proben erfolgte feldfeucht mit einer 0,0125 mol CaCl_2 -Lösung. Anschließend wurden die Nitrat-Konzentrationen bei 210 nm und die

Ammonium-Konzentrationen bei 660 nm mit einem Spektralphotometer (Fa. HITACHI) bestimmt und unter Berücksichtigung der Bodenlagerungsdichte die Menge des mineralischen Stickstoffs (N_{\min}) je Hektar ermittelt.

4.2.4 Saugkerzenanlage und Sickerwasser-Probennahme

Die Gewinnung von Sickerwasserproben erfolgte mit einer Saugkerzenanlage. Mit einem Pürckhauer Bohrstock (\varnothing 32 mm, 120 cm Länge) wurden in jeder Parzelle drei Bodenlöcher in einem Winkel von 60° und ca. 75 cm Tiefe vorbereitet und anschließend Keramikkerzen (Typ Mullit, \varnothing 20 mm, max. Porengröße 1 μm) mit einer PVC-Rohrverlängerung (\varnothing 28 mm, 100 cm Länge) eingesetzt. Ein Unterdruck von 300 bis 400 mbar (0,3 bis 0,4 bar Absolutdruck) wurde wöchentlich vor und nach der Sickerwasserprobenahme über Vakuumleitungen (Polyethylen 8 x 6 x 1 mm) direkt an die Saugkerzen angelegt. Ein Absperrhahn trennte die Einheit Saugkerze / Auffanggefäß vom Leitungssystem und sicherte den Unterdruck zwischen den Beprobungsterminen. Das Sickerwasser wurde durch Polyethylen-Leitungen (6 x 4 x 1 mm) oberirdisch in Glasflaschen geleitet. In der SWP 2001/02 wurde zwischen dem 20. November 2001 und dem 20. März 2002 an 17 Terminen und in der SWP 2002/03 vom 13. November 2002 bis zum 18. März 2003 aufgrund von Frostperioden nur an 12 Terminen Sickerwasser entnommen.

Das von drei Saugkerzen je Parzelle gewonnene Sickerwasser wurde als Mischprobe in Scintillationsgefäße abgefüllt und bei -24°C bis zur Analyse aufbewahrt. Die Bestimmung der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser erfolgte bei einer Wellenlänge von 210 nm mit einem Spektralphotometer (Fa. SHIMADZU). Die Nitrat-Konzentration [mg l^{-1}] wird sowohl im Zeitverlauf als auch in Form des arithmetischen Mittels dargestellt.

4.2.5 Berechnung der Sickerwassermenge

Die Sickerwassermenge wurde auf der Basis der klimatischen Wasserbilanz KWB [mm] berechnet (DVWK 1996):

$$\text{KWB} = \text{ND} - \text{ETp} \quad (1)$$

wobei ND der Niederschlag [mm] und ET_p die potenzielle Evapotranspiration [mm] nach HAUDE (1955) ist. Positive Werte bedeuten Wasserüberschuss und kennzeichnen in der ersten Näherung die Sickerwassermenge.

Mit der Gleichung (2) wird in Anlehnung an DVWK (1996) die Bodenwasservorratsänderung in Tagesschritten berechnet. W_{i+1} [mm] stellt die Menge an Bodenwasser im effektiven Wurzelraum des jeweils folgenden Tages dar:

$$W_{i+1} = W_i + (ND_i - ET_{p_i}) - SW_i \quad (2)$$

$$W_{i+1} = B_i - SW_i \quad B_i = W_i + (ND_i - ET_{p_i})$$

W_i [mm] ist der Bodenwasservorrat am Tag i und SW_i [mm] ist die Sickerwassermenge aus der klimatischen Wasserbilanz (1) am Tag i . Dieser Gleichung liegen zwei Randbedingungen zu Grunde:

$$SW_i = \begin{cases} B_i - HW & \text{wenn } B_i > HW \\ 0 & \text{wenn } B_i \leq HW \end{cases}$$

HW stellt das Haftwasser [mm] dar, das in den Mittel- und Feinporen mit mehr als 300 mbar Saugspannung gebunden ist und durch den angelegten Unterdruck nicht erfasst wird. Als Haftwassermenge wurden 150 mm angenommen (ZIOGAS 1995). Die berechnete Sickerwassermenge bezieht sich auf das bis zu einer Saugspannung von max. 300 mbar ($pF \leq 2,5$) gebundene Bodenwasser der schnell und langsam dränenden Grobporen (AG BODEN 1996). Die Berechnung der Sickerwassermenge wurde ab dem Zeitpunkt begonnen, an dem Sickerwasser in den Auffanggefäßen auftrat, unter der Annahme, dass die Feldkapazität des Bodens erreicht ist.

Aus der Summe des täglichen Sickerwasseranfalls zwischen zwei Probenahmeterminen berechnet sich die wöchentliche Sickerwassermenge [mm] (SW_w). Das Produkt aus SW_w und Nitrat-N-Konzentration [$mg\ l^{-1}$] ergibt die Nitrat-N-Fracht [$kg\ NO_3-N\ ha^{-1}$] zwischen zwei Probenahmen. Die Berechnung der kritischen Nitrat-N-Fracht [$kg\ NO_3-N\ ha^{-1}$] ($N\text{-Fracht}_{kr}$) im Sickerwasser, die zu einer Überschreitung des EU-Trinkwassergrenzwertes von $50\ mg\ NO_3^-\ l^{-1}$ führt (ANONYM 1998), berücksichtigt die kumulierte Sickerwassermenge [mm] (SW_k) einer Sickerwasserperiode:

$$N\text{-Fracht}_{kr} = SW_k * 50 / 4,43 \quad (3)$$

4.2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS[®] (ANONYM 1999) auf Basis eines gemischten Modells (Prozedur MIXED) mit den Faktoren Klee gras-Nutzung, Umbruchzeitpunkt und Versuchsjahr sowie deren Interaktionen.

Vor Beginn der statistischen Analyse wurde der Datensatz mit Hilfe eines Residuen-Schätzwertplots auf Varianzhomogenität überprüft.

Da die Messwiederholung der N_{\min} -Gehalte zu den Terminen Herbstumbruch, Vegetationsende und Frühjahrsumbruch eine Abhängigkeit der Beobachtungen erwarten ließ, wurde die Kovarianzstruktur des Datensatzes überprüft (WOLFINGER 1993). Es wurde eine Korrelation ermittelt und in der statistischen Analyse berücksichtigt, indem die Randomisierungseinheit „Kleinteilstück“, auf der die Messwiederholung erfolgte, als Fehlerterm definiert und mit dem Statement „repeated“ in das Modell aufgenommen wurde. Mit Hilfe des Modellselektionskriteriums AIC wurde der Kovarianzstrukturtyp des Datensatzes ermittelt (PIEPHO et al. 2003).

Durch die Anweisung „random“ wurde die Wiederholung innerhalb der Versuchsjahre $w_{dh}(\text{jahr})$ als zufälliger Effekt in das statistische Modell aufgenommen. Die Varianzanalyse erfolgte mittels F-Test bzw. Test of Effect Slices und die multiplen Mittelwertsvergleiche wurden mittels T-Test mit anschließender Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach dem Bonferroni-Holm-Prinzip (HORN & VOLLANDT 1995) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% auf Signifikanz geprüft. Bei den angegebenen Mittelwerten handelt es sich um Least Square Means (LSM). Regressionen wurden in SAS mit der Prozedur REG berechnet.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Rotklee gras-Residuen

Die Charakterisierung der Rotklee gras-Residuen erfolgt für die Residuenfraktionen Sprossmaterial und Wurzeln sowie für die Gesamt-Rückstände anhand ausgewählter Parameter. Die Residuenfraktion ‚Sprossmaterial‘ setzt sich aus dem Restaufwuchs (> 5 cm) und den Klee gras-Stoppeln (< 5 cm) zusammen und enthält je nach Nutzungssystem auch Mulch vorheriger Aufwüchse.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse für die Parameter organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und C:N-Verhältnis angegeben. Da in dieser Untersuchung die Einflussnahme des Klee gras-Managements auf die Menge und Qualität der Klee gras-Residuen geprüft wird, kommt der Interaktion zwischen Nutzungssystem und Umbruchtermin eine zentrale Bedeutung zu. Diese Interaktion zeigt sich für die Parameter OM und N-Menge des Sprossmaterials und der Gesamt-Residuen als signifikant (Tab. 5). Die qualitätsbeschreibenden Parameter N-Konzentration und C:N-Verhältnis des Sprossmaterials und der Wurzeln sowie der Gesamt-Residuen werden nicht von dieser Interaktion beeinflusst.

Tab. 5: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und das C:N-Verhältnis von Rotklee gras-Residuen

Source of variance and levels of significance for organic matter (OM), N-concentration, amount of N and C:N-ratio of grass-clover residues

F-Test		Varianzursache						
Residuen-Fraktion	Parameter	j	sys	j*sys	umbr	j*umbr	umbr*sys	j*umbr*sys
Sprossmaterial	OM	26,21***	16,17***	3,54*	24,11**	ns	11,51***	ns
	N-Konz.	ns	18,70***	4,82*	ns	8,89**	ns	ns
	N-Menge	28,94***	6,74**	5,36**	15,63**	ns	8,92***	ns
	C:N	ns	10,07***	ns	ns	ns	ns	ns
Wurzeln	OM	ns	ns	ns	ns	5,29*	ns	5,56**
	N-Konz.	4,60*	6,64**	ns	5,51*	ns	ns	6,41**
	N-Menge	ns	ns	ns	ns	7,07*	ns	3,84*
	C:N	31,26***	6,27**	ns	4,73*	ns	ns	5,26**
Gesamt-Residuen	OM	19,97**	ns	ns	8,19*	ns	13,75***	11,91**
	N-Konz.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	N-Menge	28,27**	ns	4,22*	ns	ns	10,61**	5,99*
	C:N	4,55*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

N-Konz.= N-Konzentration; j= Jahr; sys= Nutzungssystem; umbr= Umbruchtermin;

Signifikanzniveaus aus dem F-Test mit ns: nicht signifikant ($P \geq 5\%$), *: signifikant ($5\% > P \geq 1\%$), **: hoch signifikant ($1\% > P \geq 0,1$), ***: höchst signifikant ($P < 0,1\%$)

Der Test of Effect Slices ermöglicht die nähere Betrachtung der Hauptfaktorwirkung auf Faktorstufenebene und wird im Rahmen der Interaktion zwischen Nutzungssystem und Umbruchtermin auf Schätzwerten (LSM) basierend für alle Parameter dargestellt (Tab. 6).

Die organische Masse (OM) und N-Menge der Gesamt-Residuen der Nutzungsformen S, S+GD und GD_{int.} unterscheiden sich nicht (Tab. 6). Im Mittel der Umbruchtermine Herbst (HU) und Frühjahr (FU) besteht die Gesamt-OM zu 39% aus oberirdischem Material und zu 61% aus Wurzeln, während die Gesamt-N-Menge zu 45% in der oberirdischen Biomasse und zu 55% in den Wurzeln vorliegt.

In der Variante GD_{ext.} ist die OM und N-Menge der oberirdischen Residuenfraktion zum HU im Vergleich zu den anderen geprüften Nutzungsformen um 100% bzw. 70% höher, während zum Zeitpunkt FU kein Unterschied zwischen den Nutzungssystemen bezüglich OM und N-Menge der oberirdischen Residuen festgestellt wird. Gleichzeitig ist für GD_{ext.} zum Termin FU im Vergleich zum HU eine signifikant niedrigere OM (-56%) bzw. N-Menge (-54%) in der oberirdischen Residuenfraktion zu verzeichnen.

Im Rahmen der betrachteten Interaktion wird weder für die OM noch für die N-Menge der Wurzeln ein Effekt der Versuchsfaktoren auf der Faktorstufenebene ermittelt. Dagegen ist die von den Versuchsfaktoren auf die OM und N-Menge der oberirdischen Residuenfraktion ausgehende Wirkung auch für die Gesamt-Residuen festzustellen. Zum Zeitpunkt HU weisen die Gesamt-Residuen der extensiven Gründüngung (GD_{ext.}) im Vergleich zu den anderen geprüften Nutzungen eine um 45% bzw. 40% höhere OM bzw. N-Menge auf, während zum FU kein Unterschied ermittelt wird. Im Vergleich zum HU ist die für GD_{ext.} zum Termin FU ermittelte OM bzw. N-Menge um 40% niedriger. Die Gesamt-Residuen OM und N-Menge der Variante GD_{ext.} besteht zum HU zu 61% aus oberirdischem und zu 39% aus Wurzel-Material und zum FU zu 46% aus oberirdischem und 54% aus Wurzeln.

Die qualitätsbeschreibenden Parameter der Gesamt-Residuen stehen in keinem signifikanten Zusammenhang zu den Versuchsfaktoren Klee gras-Nutzung und Umbruchtermin. Indessen ist die N-Konzentration der oberirdischen Biomasse für GD_{ext.} gegenüber den mehrfach genutzten Varianten (S; S+GD; GD_{int.}) zu den Terminen HU und FU um 0,6 bzw. 0,7 Prozentpunkte signifikant niedriger, während das C:N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse für GD_{ext.} im Vergleich zu den anderen geprüften Nutzungen einen höheren Wert annimmt.

Tab. 6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und das C:N-Verhältnis von Rotklee-Residuen

*Impact of defoliation system*date of ploughing interaction on organic matter (OM), N-concentration, amount of N and C:N-ratio of grass-clover residues*

Parameter	Residuenfraktion	Termin	Klee-Residuen-Nutzung				Sign. ¹⁾
			3-Schnitte (S)	2-Schnitte + 1x Mulchen (S+GD)	3x Mulchen (GD _{int.})	1x Mulchen (GD _{ext.})	
OM [g m ⁻²]	Sprossmaterial	HU	209,5 ^b	252,3 ^b	271,6 ^b	494,8 ^a	***
		FU	182,9	205,1	214,3	217,6	ns
		Sign. ²⁾	ns	ns	ns	***	SE= 25,80
	Wurzeln	HU	323,5	269,4	354,7	315,8	ns
		FU	394,6	355,3	384,0	260,5	ns
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 38,86
	Gesamt-Residuen	HU	533,0 ^b	521,7 ^b	626,3 ^b	810,5 ^a	***
		FU	577,5	560,4	598,3	478,1	ns
		Sign.	ns	ns	ns	***	SE= 44,04
N-Konzentration [%]	Sprossmaterial	HU	3,45 ^a	3,12 ^a	3,12 ^a	2,67 ^b	***
		FU	3,32 ^a	3,25 ^a	3,40 ^a	2,63 ^b	***
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,10
	Wurzeln	HU	2,50	2,47	2,46	2,71	ns
		FU	2,60 ^b	2,53 ^b	2,61 ^b	2,93 ^a	**
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,08
	Gesamt-Residuen	HU	2,86	2,79	2,75	2,68	ns
		FU	2,82	2,79	2,89	2,72	ns
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,07
N-Menge [g m ⁻²]	Sprossmaterial	HU	7,21 ^b	7,85 ^b	8,27 ^b	13,28 ^a	***
		FU	6,08	6,69	7,30	6,12	ns
		Sign.	ns	ns	ns	***	SE= 0,78
	Wurzeln	HU	7,91	6,68	8,43	8,49	ns
		FU	10,15	8,88	9,91	7,22	ns
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,88
	Gesamt-Residuen	HU	15,11 ^b	14,53 ^b	16,70 ^b	21,76 ^a	***
		FU	16,23	15,57	17,21	13,34	ns
		Sign.	ns	ns	ns	***	SE= 1,14
C:N	Sprossmaterial	HU	16,46	17,66	16,99	19,75	ns
		FU	14,64 ^b	14,40 ^b	14,38 ^b	20,72 ^a	***
		Sign.	ns	*	ns	ns	SE= 1,03
	Wurzeln	HU	21,59	21,68	21,70	19,79	ns
		FU	20,55 ^{ab}	21,32 ^a	20,70 ^{ab}	18,23 ^b	*
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,64
	Gesamt-Residuen	HU	19,60	19,62	19,45	19,75	ns
		FU	18,66	18,82	18,39	20,03	ns
		Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,60

HU= Herbstumbruch, FU= Frühjahrsumbruch; SE= Standardfehler, Sign. Signifikanzniveau aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 5); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) mit Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach Bonferroni-Holm, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$: ¹⁾Vergleich der Nutzungssysteme innerhalb eines Umbruchtermins (slice= Umbruchtermin) und ²⁾Vergleich Herbstumbruch vs. Frühjahrsumbruch innerhalb einer Nutzungsform (slice= Nutzungssystem)

Zum Termin FU ist das C:N-Verhältnis für $GD_{ext.}$ um 43% signifikant weiter als das mittlere C:N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse der mehrfach genutzten Varianten. Eine gegenläufige Beziehung lässt sich für die Fraktion Wurzeln feststellen. Im Vergleich zu den häufiger genutzten Beständen ist die Wurzel-N-Konzentration für $GD_{ext.}$ höher und das C:N-Verhältnis enger. Die um 0,4%-Punkte höhere Wurzel-N-Konzentration und das um 13% engere C:N-Verhältnis von $GD_{ext.}$ ist zum Frühjahrs umbruch (FU) gegenüber S, S+GD und $GD_{int.}$ signifikant (Tab. 6).

4.3.2 Boden- N_{min} -Gehalte

Die mineralischen Boden-N-Gehalte (N_{min}) werden für die Beprobungstermine Herbst umbruch (HU), Vegetationsende (VE) und -beginn (VB) in der Tiefe 0-90 cm vorgestellt. Die N_{min} -Gehalte der Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm sind der Tab. A1 zu entnehmen. Da in dieser Untersuchung geprüft werden soll, welchen Einfluss die Klee gras-Nutzung auf den N_{min} -Gehalt hat und welche Bedeutung dem Umbruchtermin in Abhängigkeit von der Klee gras-Nutzung zu kommt, erfolgt die statistische Analyse für intaktes Klee gras zum HU und zu den Terminen HU, VE und VB. Ferner wird der N_{min} -Gehalt von umgebrochenem, mit Winterweizen bestellten und von überwinterndem Klee gras zu VE und VB betrachtet.

Tab. 7: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Boden- N_{min} -Gehalte (0-90 cm) in Abhängigkeit vom Termin der Probenahme

Source of variance and levels of significance for mineral soil N depending on date of sampling

Boden- N_{min} -Gehalt	Klee gras zum Termin HU	Klee gras zu den Terminen HU, VE und VB	Winterweizen und Klee gras zu den Terminen VE und VB
Varianzursache			
j	12,06*	ns	ns
sys	12,32***	30,85***	16,03***
j*sys	ns	4,62**	5,78**
umbr	-	-	20,61***
j*umbr	-	-	ns
sys*umbr	-	-	6,40**
j*sys*umbr	-	-	ns
ter	-	8,40***	97,82***
ter*j	-	19,46***	171,69***
ter*sys	-	3,46**	11,09***
ter*j*sys	-	5,66***	24,86***
ter*umbr	-	-	ns
ter*sys*umbr	-	-	2,86*
ter*j*sys*umbr	-	-	6,61***

HU= Herbst umbruch, VE= Vegetationsende, VB= Vegetationsbeginn; j= Jahr, sys= Nutzungssystem, umbr= Umbruchzeitpunkt, ter= Probenahmetermin; Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5)

Die Klee gras-Bestände unterscheiden sich zum Termin HU nur hinsichtlich der Nutzung und es ist eine signifikante Wirkung dieses Versuchsfaktors auf den Boden- N_{\min} -Gehalt festzustellen (Tab. 7 und Abb. 2). Die varianzanalytische Auswertung der Boden- N_{\min} -Gehalte unter Klee gras zu den Terminen HU, VE und VB zeigt für die Klee gras-Nutzung in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt einen signifikanten Effekt (Tab. 7 und Abb. 3). Ebenso ist der Vergleich Klee gras vs. Winterweizen in Abhängigkeit von der Nutzung und dem Termin signifikant (Tab. 7 und Abb. 4).

Zum Termin Herbstumbruch unterscheiden sich die Boden- N_{\min} -Gehalte der Klee gras-Bestände mit Schnittnutzung (S und S+GD) signifikant von den ausschließlich gemulchten Varianten (GD_{int.} und GD_{ext.}) (Abb. 2). Für die Bestände mit Schnittgutabfuhr ist der Boden- N_{\min} -Gehalt um ca. 27 kg N ha⁻¹ niedriger. Zwischen den Nutzungssystemen S und GD_{ext.} ist der größte Unterschied mit einer Differenz von 34 kg N ha⁻¹ festzustellen. Die Betrachtung der Einzeltiefen zeigt in der Tiefe 0-30 cm den stärksten nutzungsbedingten Unterschied (Tab. A1).

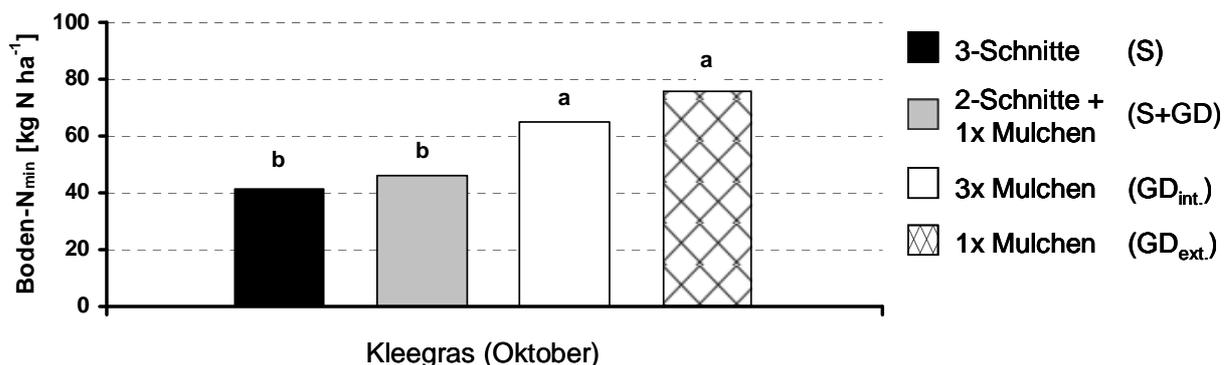


Abb. 2: Bedeutung der Rotklee gras-Bewirtschaftung für den Boden- N_{\min} -Gehalt [kg N ha⁻¹] zum Termin Herbstumbruch (Oktober) im Mittel der Jahre 2001 und 2002 ($P= 0,0003$, $SE= 5,02$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$

Impact of grass-red clover-defoliation system on mineral soil N [kg N ha⁻¹] at date of ploughing (October), average of 2001 and 2002 ($P= 0.0003$, $SE= 5.02$), comparison of mean values (T-Test), bars with different letters are significantly different at $P < 5\%$

Während sich die Boden- N_{\min} -Gehalte der Nutzungsvarianten mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) zu den Terminen Herbstumbruch (Oktober), Vegetationsende (November) und Vegetationsbeginn (März) nicht unterscheiden, treten in den ausschließlich gemulchten Varianten (GD_{int.} und GD_{ext.}) im Zeitverlauf signifikante Veränderungen auf (Abb. 3). Für die intensive Gründüngung ist der Boden- N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende bzw. zu -beginn im Vergleich zum Herbstniveau um

21 kg ha⁻¹ erniedrigt, während nach extensiver Gründüngung gegenüber dem Herbsttermin zu Vegetationsende ein Anstieg um 23 kg ha⁻¹ auf insgesamt 98 kg N ha⁻¹ festzustellen ist. Für GD_{ext.} wird zu Vegetationsbeginn gegenüber dem Termin Vegetationsende ein um 38 kg ha⁻¹ geringerer N_{min}-Gehalt ermittelt, der auch im Vergleich zum Ausgangsniveau (Oktober) signifikant niedriger ist.

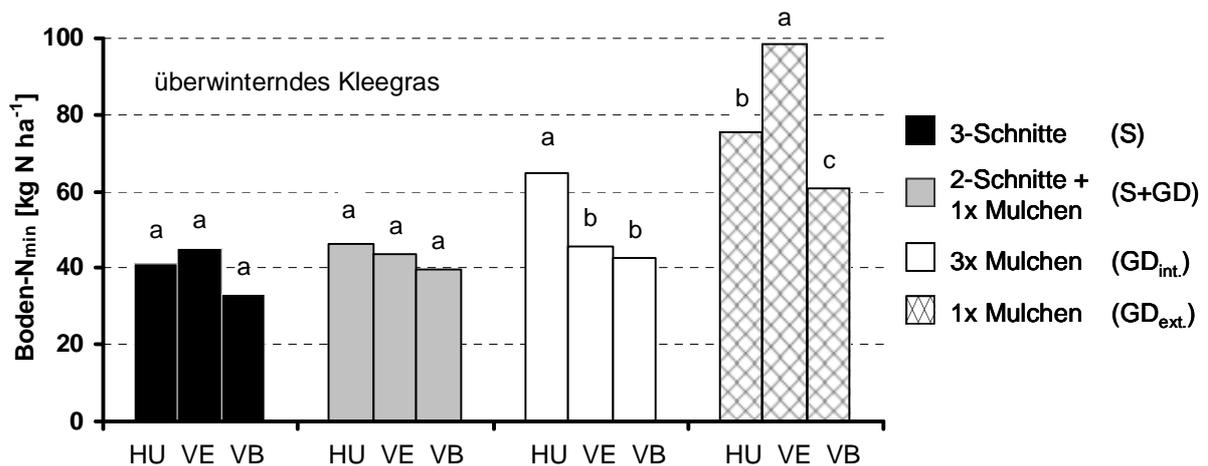


Abb. 3: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Probenahmetermin für den Boden-N_{min}-Gehalt [kg N ha⁻¹] von überwinterndem Rotklee gras (P= 0,0069, SE= 5,58) im zweijährigen Mittel; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) der Termine innerhalb eines Nutzungssystems, HU= Herbstumbruch / Oktober, VE= Vegetationsende / November, VB= Vegetationsbeginn / März)

*Impact of defoliation system*sampling date on mineral soil N [kg N ha⁻¹] of intact grass-red clover swards (P= 0.0069, SE= 5.58), comparison of mean values (T-Test) for sampling dates within defoliation system (HU= October, VE= November, VB= March)*

Die Boden-N_{min}-Gehalte zu Vegetationsende unter Klee gras der mehrfach genutzten Varianten (S, S+GD, GD_{int.}) unterscheiden sich nicht und ergeben im Mittel 45 kg N ha⁻¹ (Abb. 4a). Gegenüber diesen Varianten erzeugt die Nutzungsform 1x Mulchen (GD_{ext.}) einen um 53 kg ha⁻¹ signifikant höheren N_{min}-Gehalt. Der signifikant höhere N_{min}-Gehalt unter GD_{ext.} ist auch für die drei einzelnen Tiefen festzustellen (Tab. A1). Zum selben Zeitpunkt treten ebenso nach HU in der Variante GD_{ext.} die höchsten N_{min}-Gehalte auf, die sich mit einer Differenz von 20 kg ha⁻¹ aber lediglich von der reinen Schnittnutzung (S) signifikant unterscheiden (Abb. 4a). In der dem Bearbeitungshorizont gleichzusetzenden (0-30 cm) und der darauffolgenden Tiefe (30-60 cm) werden nach Herbstumbruch (HU) keine nutzungsbedingten Unterschiede festgestellt. Erst die Bodentiefe 60-90 cm zeigt einen Einfluss der Klee gras-Nutzung auf den N_{min}-Gehalt nach HU unter Winterweizen zu Vegetationsende (Tab. A1).

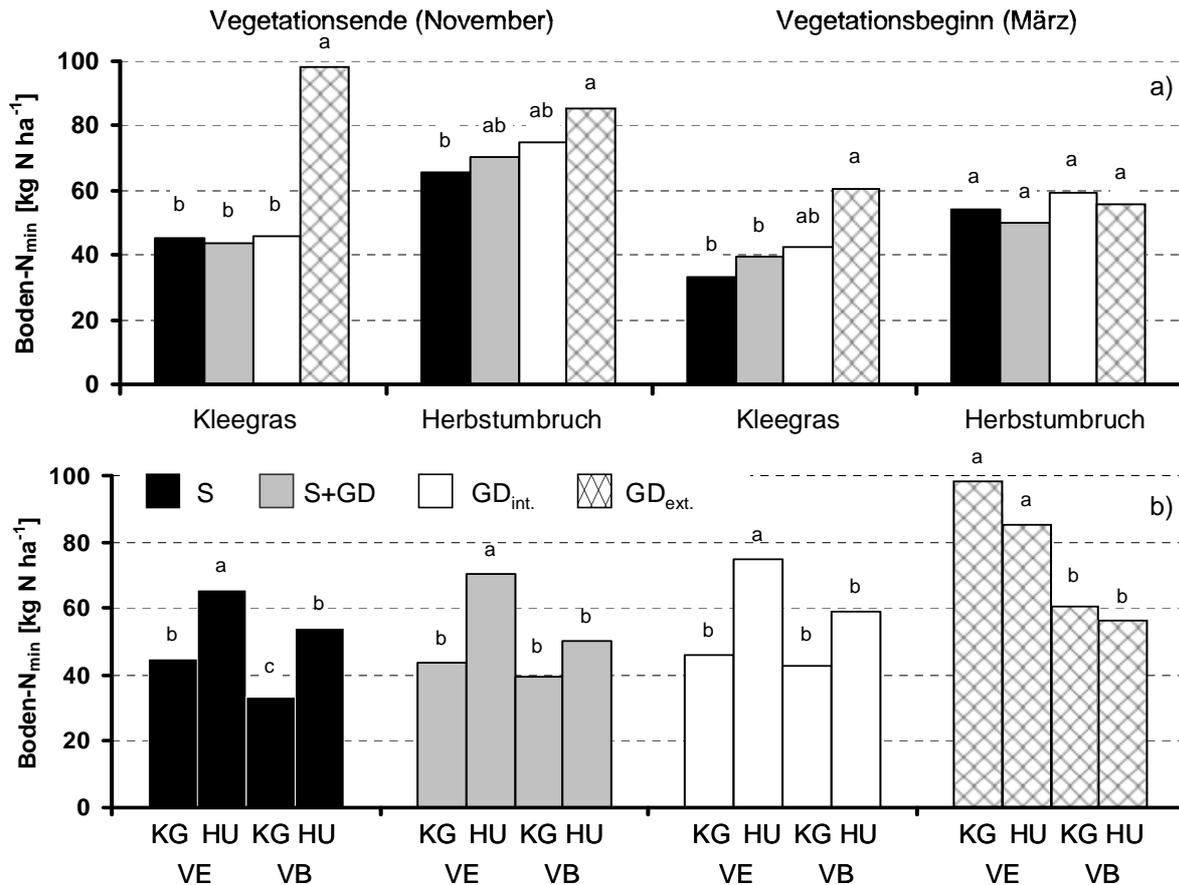


Abb. 4: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Probenahmetermin*Umbruchtermin für den Boden-N_{min}-Gehalt [kg N ha⁻¹] (P= 0,0419, SE= 4,39) im zweijährigen Mittel; a) multipler Mittelwertvergleich (T-Test) der Nutzungssysteme je Probenahme- und Umbruchtermin, b) multipler Mittelwertvergleich innerhalb eines Kleegras-Nutzungssystems (KG= Kleegras, HU= Herbststumbuch / Oktober, VE= November, VB= März)

*Impact of defoliation system*sampling date*date of ploughing on mineral soil N [kg N ha⁻¹] (P= 0.0419, SE= 4.39), a) comparison of mean values (T-Test) for defoliation system within date of sampling and date of ploughing, b) comparison of mean values within defoliation system (KG= grass-red clover, HU= ploughed grass-red clover / October, VE= November, VB= March)*

Während zu Vegetationsbeginn unter Kleegras nutzungsbedingte signifikante Unterschiede ermittelt werden, liegen die N_{min}-Gehalte unter Winterweizen zu diesem Termin unabhängig von der Vorfruchtutzung auf einem Niveau von ca. 55 kg ha⁻¹. Die unter Kleegras ermittelten Unterschiede liegen auf einem niedrigeren Niveau als beim vorherigen Termin Vegetationsende und sind nur zwischen den schnittgenutzten Varianten (S und S+GD) und GD_{ext.} mit einer Differenz von 24 kg ha⁻¹ abzusichern.

Der zu Vegetationsende unter Kleegras für die einzelnen Tiefen festgestellte Nutzungseinfluss ist zu Vegetationsbeginn nur für die Tiefe 60-90 cm nachzuweisen.

Nach Herbstumbruch werden zu diesem Zeitpunkt in den einzelnen Tiefen keine systembedingten Unterschiede ermittelt (Tab. A1).

Der Vergleich der N_{\min} -Gehalte innerhalb einer Nutzungsform in Abhängigkeit von der Folgefrucht und dem Probenahmetermin (Abb. 4b) zeigt für die reine Schnittnutzung (S) sowohl für Klee gras als auch nach Herbstumbruch zu Vegetationsende um 11 kg ha^{-1} höhere N_{\min} -Gehalte als zu Vegetationsbeginn. Gleichzeitig ist an beiden Terminen der N_{\min} -Gehalt unter Klee gras im Vergleich zum Herbstumbruch um 20 kg ha^{-1} signifikant geringer. Während für die Nutzungsvarianten S+GD und GD_{int} zu Vegetationsende noch ein signifikanter Unterschied zwischen den Umbruchterminen (KG vs. HU) abzusichern ist, zeigt sich zu Vegetationsbeginn nur eine Tendenz zu höheren N_{\min} -Gehalten für HU. Für die 1x gemulchte Gründüngung (GD_{ext}) ist kein Unterschied des Boden- N_{\min} -Gehaltes zwischen den Umbruchvarianten abzusichern. Zu Vegetationsende beträgt der mittlere N_{\min} -Gehalt 92 kg N ha^{-1} gegenüber durchschnittlich 58 kg N ha^{-1} zu Vegetationsbeginn.

4.3.3 Sickerwassermenge

Die im Probenahmezeitraum der Sickerwasserperiode (SWP) 2001/02 ermittelte Sickerwassermenge von 286 mm (Abb. 5) entspricht 85% des zwischen November und März gefallenen Niederschlages.

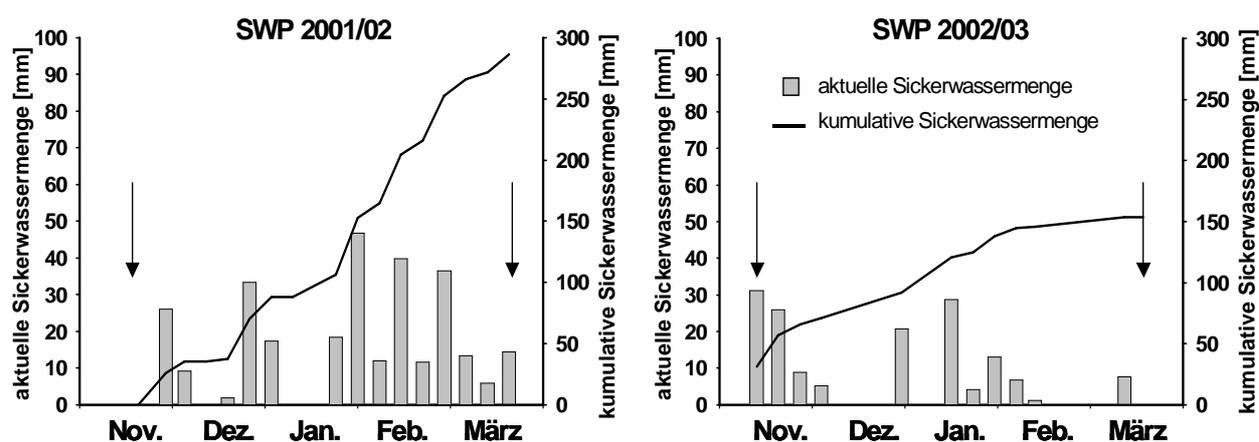


Abb. 5: Aktuelle und kumulative Sickerwassermenge [mm] im Probenahmezeitraum (durch Pfeile gekennzeichnet) der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03

Actual and cumulative amounts of leachate [mm] in the sampling periods of leaching periods 2001/02 and 2002/03

In der SWP 2002/03 wird mit 154 mm 84% des im Beprobungszeitraums gefallenen Niederschlages als Sickerwassermenge bestimmt. In der SWP 2001/02 sind die Sickerwassermengen bis Ende Januar 2002 und in der SWP 2002/03 bis Mitte Dezember 2002 zu 50% aufgetreten.

4.3.4 NO_3^- -Konzentration und NO_3 -N-Fracht im Sickerwasser

Die NO_3^- -Konzentrationen und die kumulativen NO_3 -N-Frachten werden im Mittel der drei Wiederholungen aufgrund der unterschiedlichen Sickerwassermenge und der Beprobungsterminanzahl einzeln für jede Sickerwasserperiode im Zeitverlauf dargestellt (Abb. 6 und Abb. 7).

In beiden Untersuchungszeiträumen ist die NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser der Nutzungsformen S, S+GD und $\text{GD}_{\text{int.}}$ für die überwinternden Klee gras-Bestände deutlich niedriger als für die Variante Herbstumbruch mit Winterweizenansaat (Abb. 6 und Abb. 7). Eine zum Herbstumbruch vergleichbare oder höhere NO_3^- -Konzentration ist nur an wenigen Terminen im Bereich bis max. $30 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ festzustellen. Die NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser nach Herbstumbruch der Varianten S, S+GD und $\text{GD}_{\text{int.}}$ überschreitet unabhängig von der Klee gras-Nutzung und SWP wiederholt den EU-Trinkwassergrenzwert von $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, während unter überwinterndem Klee gras für diese Varianten sowohl in der SWP 2001/02 als auch in der SWP 2002/03 mit nur einer Ausnahme (SWP 2002/03 $\text{GD}_{\text{int.}}$) eine unter dem EU-Trinkwassergrenzwert liegende NO_3^- -Konzentration festzustellen ist. Dagegen bewirkt die 1x gemulchte Gründung ($\text{GD}_{\text{ext.}}$) in beiden Untersuchungsperioden sowohl unter überwinterndem Klee gras als auch unter Winterweizen in der Mehrzahl der Termine eine Grenzwertüberschreitung. Für die Nutzungsform $\text{GD}_{\text{ext.}}$ wird in beiden SWP unter Klee gras eine im Vergleich zur Variante Herbstumbruch gleich hohe bzw. höhere NO_3^- -Konzentration festgestellt. Die höchste NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser wird in der SWP 2001/02 mit $144 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ für $\text{GD}_{\text{ext.}}$ und in der SWP 2002/03 mit $163 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ für $\text{GD}_{\text{int.}}$ nach Herbstumbruch unter Winterweizen bestimmt.

Die kumulierte NO_3 -N-Fracht im Sickerwasser unter Klee gras, welches schnittgenutzt wurde (S und S+GD) und überwinterte, ist in beiden Sickerwasserperioden nahezu identisch, während nach Herbstumbruch bzw. in den ausschließlich gemulchten Varianten in Abhängigkeit von der Sickerwasserperiode deutliche Unterschiede festzustellen sind (Abb. 6 und Abb. 7).

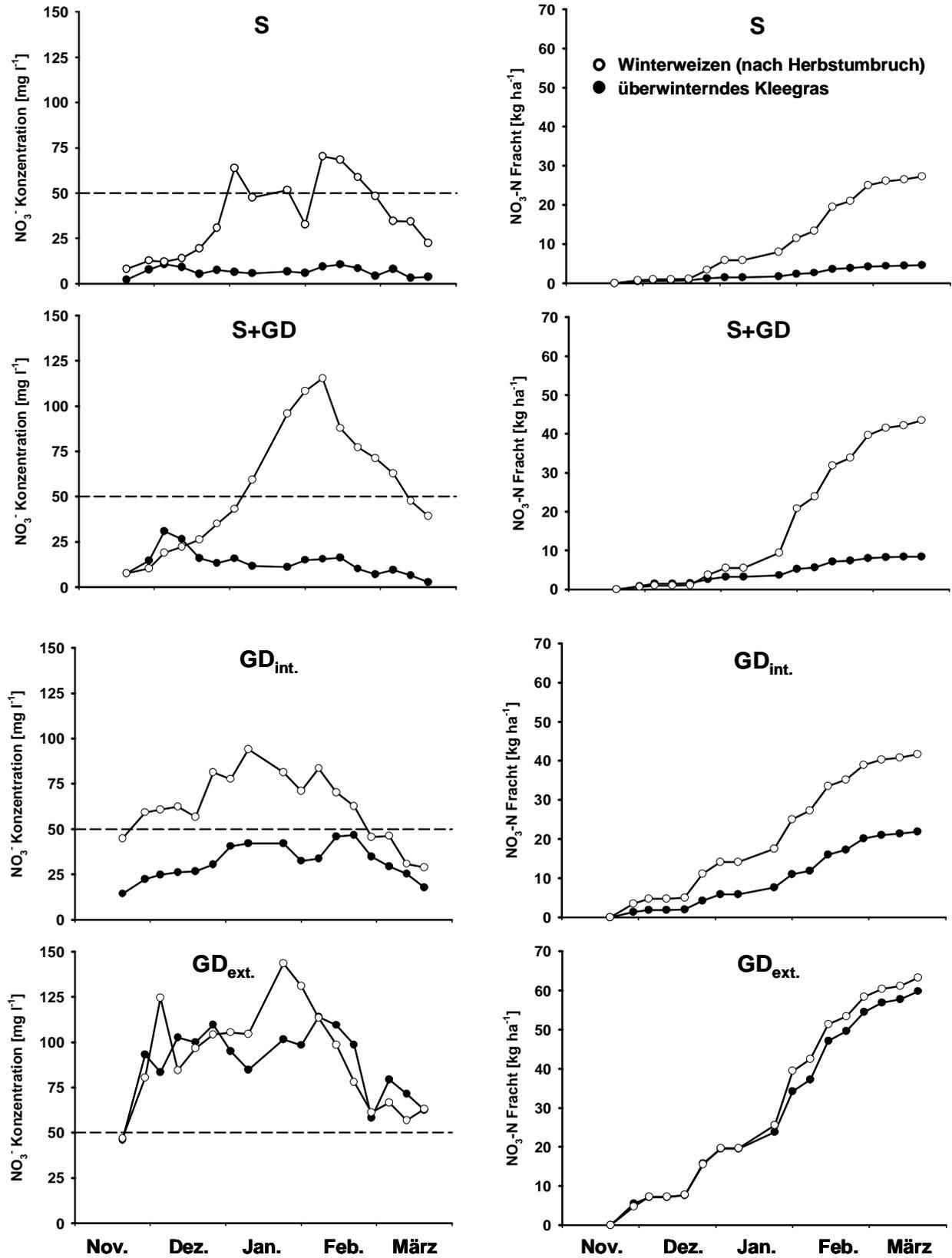


Abb. 6: NO₃⁻ Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] und kumulierte NO₃-N Fracht [kg NO₃-N ha⁻¹] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2001/02 (Sickerwassermenge: 286 mm)

NO₃⁻ concentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] and accumulated NO₃-N load [kg NO₃-N ha⁻¹] in the leachate of leaching period 2001/02 (amount of leachate: 286 mm)

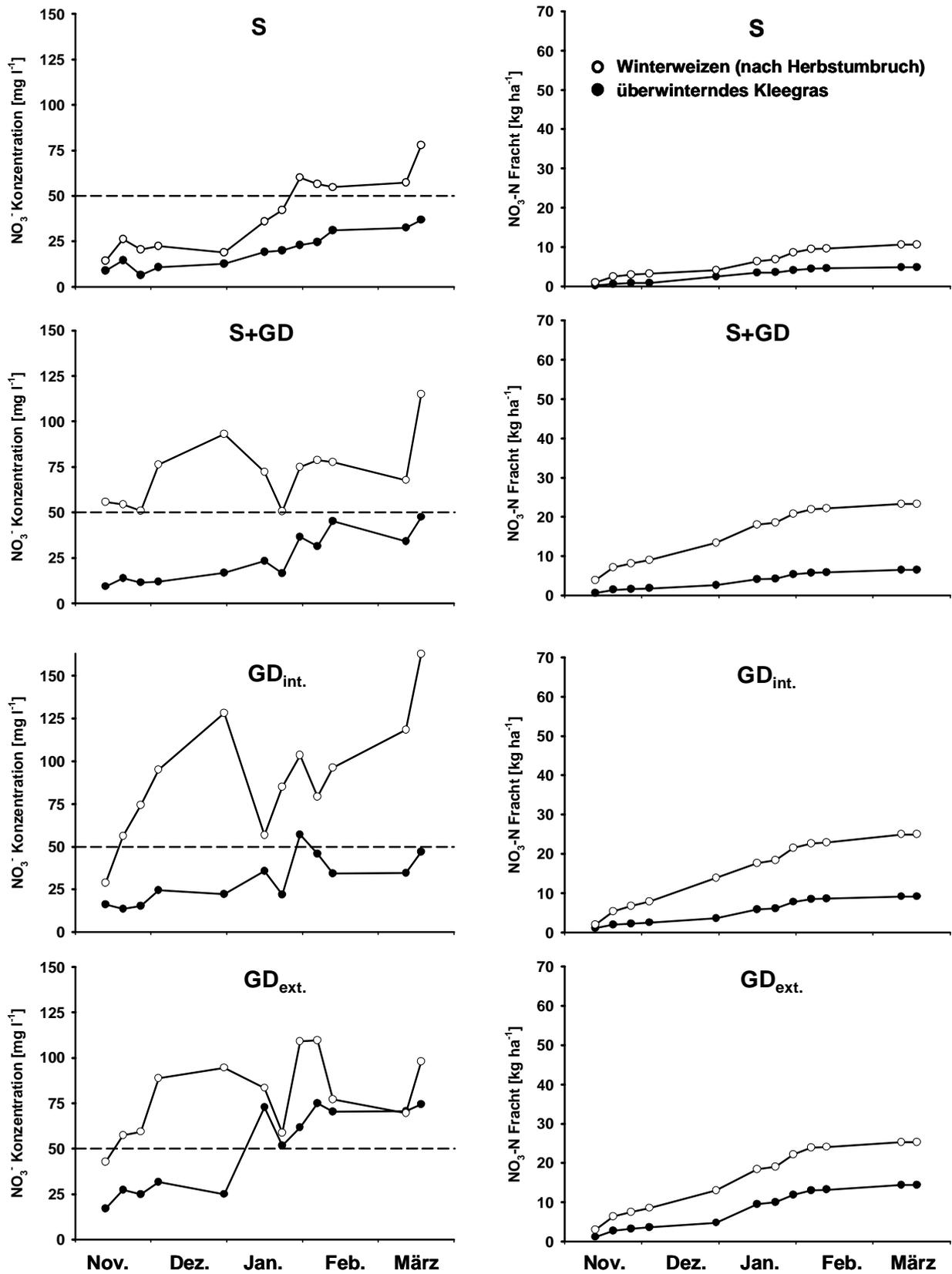


Abb. 7: NO₃⁻ Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] und kumulierte NO₃-N Fracht [kg NO₃-N ha⁻¹] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2002/03 (Sickerwassermenge: 154 mm)

NO₃⁻ concentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] and accumulated NO₃-N load [kg NO₃-N ha⁻¹] in the leachate of leaching period 2002/03 (amount of leachate: 154 mm)

Die varianzanalytische Auswertung der mittleren NO_3^- -Konzentration und der kumulativen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht des gesamten Untersuchungszeitraums ergibt für die Prüffaktoren Klee gras-Nutzungssystem und Umbruchtermin sowohl in der Hauptfaktorwirkung als auch in der Interaktion einen signifikanten Effekt (Tab. 8). Die Darstellung der mittleren NO_3^- -Konzentration bzw. der kumulativen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht erfolgt als Wechselwirkung zwischen Nutzungssystem und Umbruchtermin im Mittel beider Sickerwasserperioden (Abb. 8a & b). Die Mehrfachwechselwirkung mit dem Jahr ist nicht signifikant.

Tab. 8: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die mittlere Nitrat-Konzentration [$\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] und die kumulierte Nitrat-N-Fracht [$\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$] im Sickerwasser

Source of variance and levels of significance for nitrate-concentration [$\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] and accumulated nitrate-N load [$\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$] in the leachate

Parameter	Varianzursache						
	j	sys	j*sys	umbr	j*umbr	umbr*sys	j*umbr*sys
NO_3^- Konzentration	ns	23,34***	4.29*	92,79***	ns	4.23*	ns
$\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht	55.23***	26.62***	10.75***	65.75***	ns	4.99*	ns

j= Jahr; sys= Nutzungssystem; umbr= Umbruchtermin; Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5)

Die mittlere NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser (Abb. 8a) der mehrfach genutzten überwinternden Klee gras-Bestände (S, S+GD, $\text{GD}_{\text{int.}}$) liegt zwischen 12 und 31 mg l^{-1} und damit unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes von 50 $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, während nach Herbstumbruch die mittlere NO_3^- -Konzentration aller Varianten mit Mulchvorgängen oberhalb des Grenzwertes bestimmt wird. Die mittlere NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ liegt unabhängig vom Umbruchtermin deutlich oberhalb des Grenzwertes.

Die kritische $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht, die im Mittel der beiden Untersuchungszeiträume bei einer durchschnittlichen Sickerwassermenge von 220 mm zum Überschreiten des EU-Grenzwertes von 50 $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ führt, beträgt 24,8 $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (Abb. 8b). Im Hinblick auf den Trinkwassergrenzwert ist die Ausprägung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht der geprüften Varianten gleichgerichtet zur mittleren NO_3^- -Konzentration. Da die NO_3^- -Konzentration als arithmetisches Mittel angegeben und nicht aus der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht und der durchschnittlichen Sickerwassermenge (220 mm) abgeleitet wird, ergeben sich leichte Abweichungen in der Ausprägung der Varianten zwischen diesen beiden Parametern (Abb. 8a+b). Für überwinterndes Klee gras ist kein Unterschied der beiden Nutzungsformen mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) hinsichtlich der NO_3^- -

Konzentrationen und der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser (Abb. 8a & b) festzustellen. Dagegen zeigt die umgebrochene Variante S+GD ein signifikant erhöhtes $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorkommen im Sickerwasser gegenüber S, unterscheidet sich aber nicht von der 3x gemulchten Variante ($\text{GD}_{\text{int.}}$). Durch Umbruch der Bestände im Herbst erhöht sich die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht der Varianten mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) um das 4-fache und die der 3x gemulchten Gründung ($\text{GD}_{\text{int.}}$) um das doppelte, ist aber damit immer noch signifikant niedriger gegenüber der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$.

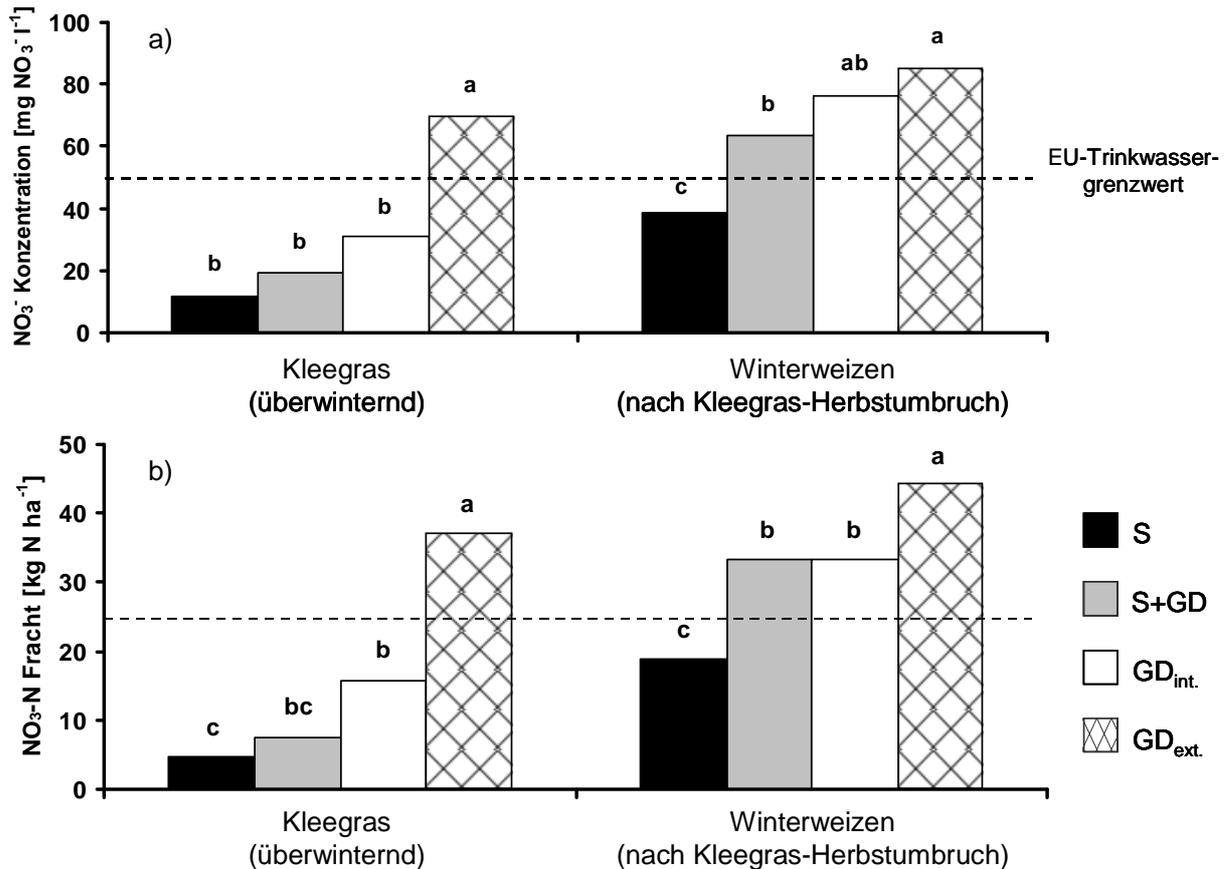


Abb. 8: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die a) mittlere NO_3^- -Konzentration [mg $\text{NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] ($P=0,0222$, $\text{SE}=5,71$) und b) kumulierte $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht [kg N ha^{-1}] ($P=0,0201$, $\text{SE}=3,01$) im Sickerwasser im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Umbruchtermins

*Impact of defoliation system*date of ploughing interaction on a) mean NO_3^- concentration [mg $\text{NO}_3^- \text{ l}^{-1}$] ($P=0.0222$, $\text{SE}=5.71$) and b) accumulated $\text{NO}_3\text{-N}$ load [kg $\text{NO}_3\text{-N} \text{ ha}^{-1}$] ($P=0.0201$, $\text{SE}=3.01$) in the leachate, average of leaching periods 2001/02 and 2002/03, comparison of mean values (T-Test) within date of ploughing*

4.3.5 Rotklee gras-Folgefrucht Winter- bzw. Sommerweizen

In Tabelle 9 wird die Bedeutung der Versuchsfaktoren Klee gras-Nutzungssystem und Folgefrucht für die Ertragsleistung der Folgefrucht dargestellt. Die Parameter Korn-N- und Spross-N-Menge sowie Ähren/m² und Körner/Ähre werden signifikant vom Prüffaktor Klee gras-Nutzungssystem beeinflusst. Der Faktor Folgefrucht ist signifikant für den Korn-TM-Ertrag sowie für die Korn-N-Menge und Ähren/m². Als einziger Parameter steht der Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt in einem signifikanten Zusammenhang zu den Hauptfaktoren und deren Interaktion (Nutzungssystem*Folgefrucht). Die Ertragsparameter werden in Abhängigkeit von den Hauptfaktoren dargestellt (Tab. 10) und zusätzlich für den Korn-Rp-Gehalt die Wechselwirkung zwischen Nutzungssystem und Folgefrucht abgebildet (Abb. 9). Ergänzend wird im Anhang für alle Ertragsparameter der Einfluss der Versuchsfaktoren auf der Faktorstufenebene im Rahmen der Wechselwirkung Nutzungssystem*Folgefrucht gezeigt (Tab. A3).

Tab. 9: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Ertragsleistungsparameter von Weizen

Source of variance and levels of significance for yield determining parameters of wheat

Varianz- ursache	Parameter							
	Korn- Ertrag	Rp- Gehalt	Korn-N- Menge	Spross- N-Menge	Ähren/ m ²	Körner/ Ähre	TKM	Harvest Index
j	9,90*	22,08**	ns	ns	91,25***	27,02**	20,32**	14,04**
sys	ns	19,13***	3,24*	5,26**	6,63**	4,36*	ns	ns
j*sys	ns	ns	3,28*	ns	ns	ns	ns	ns
ffr	7,43*	178,80***	6,40*	ns	5,67*	ns	ns	ns
j*ffr	ns	18,89*	ns	ns	ns	ns	6,82*	ns
sys*ffr	ns	3,33*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
j*ffr*sys	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

j= Jahr, sys= Nutzungssystem, ffr= Folgefrucht, ter= Termin; TKM= Tausendkornmasse, Rp-Gehalt= Korn-Rohprotein-Gehalt; Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5)

Im Mittel von Nutzungssystem, Folgefrucht und Jahr beträgt der Korn-TM-Ertrag 35,8 dt ha⁻¹, die TKM 45,8 g und der Harvest-Index 0,37 (Tab. 10). Die Klee gras-Bewirtschaftung GD_{ext.} bewirkt im Vergleich zur Variante S+GD eine um 12% höhere Korn-N-Menge. Die Anzahl Ähren/m² des Weizens nach ausschließlich gemulchtem Klee gras (GD_{int.} und GD_{ext.}) hebt sich mit durchschnittlich 365 um 60 Ähren/m² signifikant von der Bestandesdichte der Variante S ab. Dagegen ist die Anzahl Körner/Ähre von Weizen nach S im Vergleich zu den ausschließlich gemulchten Varianten (GD_{int.} & GD_{ext.}) signifikant höher. Die Betrachtung des Hauptfaktors

Folgekultur zeigt für Winterweizen einen um 3,6 dt ha⁻¹ höheren Korn-TM-Ertrag und eine um 27 Ähren/m² höhere Triebdichte im Vergleich zum Sommerweizen. Indessen hebt sich die Korn-N-Menge des Sommerweizens um 8,2 kg ha⁻¹ im Vergleich zum Winterweizen ab, während sich die TKM, Anzahl Körner/Ähre und der Harvest-Index der beiden Weizenformen nicht unterscheiden.

Tab. 10: Bedeutung der Hauptfaktoren (Kleegrass-Nutzungssystem und Folgefrucht) für die Ertragsleistungsparameter von Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003

Impact of main effects (grass-clover defoliation system and crop variety) on yield determining parameters of wheat, average of 2002 and 2003

Faktor	Faktor- stufe	Korn- ertrag ¹⁾ [dt ha ⁻¹]	Rp- Gehalt [%]	Korn-N [kg ha ⁻¹]	Spross-N [kg ha ⁻¹]	Ähren / m ²	Körner / Ähre	TKM [g]	Harvest- Index
Kleegrass- Nutzung	S	35,48	11,78 ^b	72,87 ^{ab}	96,9 ^b	304,0 ^b	26,92 ^a	45,97	0,41
	S+GD	34,56	11,92 ^b	71,42 ^b	95,0 ^b	331,0 ^{ab}	23,60 ^{ab}	45,49	0,38
	GD _{int.}	36,81	12,47 ^a	79,24 ^{ab}	117,9 ^a	369,3 ^a	21,80 ^b	45,90	0,35
	GD _{ext.}	36,37	12,69 ^a	79,93 ^a	124,1 ^a	359,7 ^a	22,56 ^b	45,81	0,35
	SE / Sign.	1,37ns	0,15***	3,35*	6,4**	11,5**	1,10*	0,55ns	0,02ns
Folge- frucht	WW	37,59	10,89	71,75	102,8	354,67	23,88	45,19	0,37
	SW	34,02	13,54	79,98	114,1	327,33	23,56	46,40	0,38
	SE / Sign.	1,18*	0,16***	3,08*	4,5ns	8,12*	0,79ns	0,57ns	0,02ns

¹⁾Kornertag bei 100% Trockenmasse, TKM= Tausendkornmasse, Rp-Gehalt= Korn-Rohprotein-Gehalt, WW= Winterweizen, SW= Sommerweizen, SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5), multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 6

Die Betrachtung des Korn-Rp-Gehaltes in Abhängigkeit von den Hauptfaktoren zeigt einerseits für Weizen nach ausschließlich gemulchtem Kleegrass (GD_{int.} und GD_{ext.}) mit 12,58% einen um 0,73 Prozentpunkte höheren Rp-Gehalt gegenüber schnittgenutzter Vorfrucht (S und S+GD), andererseits erzielt Sommerweizen mit 13,54% einen um 2,65 Prozentpunkte höheren Korn-Rp-Gehalt im Vergleich zum Winterweizen. Aus der Darstellung der Wechselwirkung geht hervor, dass der Einfluss der Kleegrass-Nutzungssysteme auf den Korn-Rp-Gehalt von Sommerweizen ausgeprägter ist als beim Winterweizen (Abb. 9 und Tab. A3). Während der Korn-Rp-Gehalt von Winterweizen nach GD_{ext.} im Vergleich zur Variante S+GD signifikant höher ist, zeigt sich der Korn-Rp-Gehalt von Sommerweizen nach S+GD gegenüber S, aber auch nach ausschließlicher Mulchnutzung (GD_{int.} und GD_{ext.}) im Vergleich zur Schnittgutabfuhr (S+GD und S) signifikant erhöht.

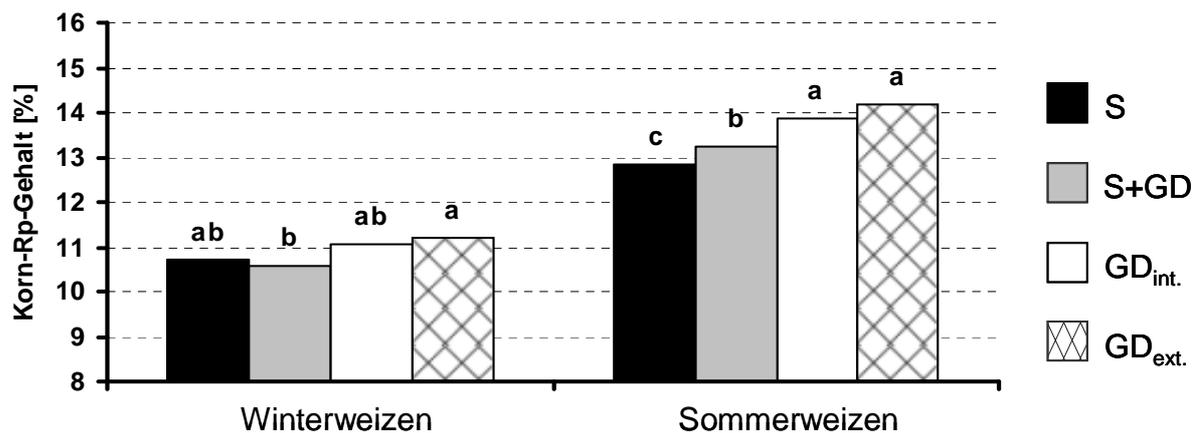


Abb. 9: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Folgefrucht für den Korn-Rp-Gehalt [%] ($P=0,0366$, $SE=0,20$) im Mittel der Jahre 2002 und 2003; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Folgefrucht

*Impact of grass-red clover defoliation system*crop species interaction on grain crude protein content [%] ($P=0.0366$, $SE=0.20$), average of 2002 and 2003, comparison of mean values (T-Test) within crop species*

4.4 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Untersuchung dokumentieren den Einfluss unterschiedlich genutzter Klee gras-Bestände auf den Boden-N-Haushalt und auf die Ertragsleistung der Folgefrucht in Abhängigkeit vom Umbruchzeitpunkt der Bestände. Im zweijährigen Mittel erzeugen die geprüften Faktorstufen eine vergleichsweise geringe Variation im Hinblick auf die Menge und die Qualität der Klee gras-Residuen zum Herbst- bzw. Frühjahrs umbruch, während der mineralische Stickstoff im Boden (N_{\min}) und im Sickerwasser (NO_3^- -Konzentration bzw. NO_3 -N-Fracht) erheblich von der Wahl des Klee gras-Nutzungssystems und des Umbruchzeitpunktes beeinflusst wird. Die Ertragsleistung der Klee gras-Folgefrucht wird im wesentlichen vom Umbruchtermin in Verbindung mit der Kulturwahl (Winter- bzw. Sommerform von Weizen) bestimmt.

4.4.1 Umsetzbarkeit der Rotklee gras-Residuen

Die Gesamt-Residuen-N-Mengen der Klee gras-Nutzungsvarianten S, S+GD und GD_{int} unterscheiden sich nicht, während in Kapitel 2 für entsprechende Nutzungssysteme ein Unterschied abgesichert wird. Diese Untersuchung wurde bei einem geringeren Stichprobenumfang im Vergleich zu der in Kapitel 2 und in anderen Versuchsjahren sowie unter Einbeziehung einer weiteren Klee gras-Nutzung (1x gemulchte Gründung: GD_{ext}) durchgeführt. Dadurch ist die Variationsbreite der Residuen-N-Menge erhöht und die statistische Analyse ergibt ein größeres Streuungsmaß. Nur die residuale N-Menge der Variante GD_{ext} ist signifikant unterschiedlich zu der aus den mehrmalig bewirtschafteten Beständen (S, S+GD, GD_{int}) (Tab. 6).

Durch den Vergleich der vier verschiedenen Klee gras-Bewirtschaftungen hinsichtlich ihrer Residuen wird deutlich, dass nicht generell ausschließlich gemulchte Bestände zu einer höheren Residuenakkumulation führen gegenüber denen mit Schnittgutabfuhr (Tab. 6). Die Mulchintensität ist entscheidend für die auf der Fläche ermittelten residualen OM- und N-Mengen von Klee gras, da mit der Anzahl der Mulchvorgänge das Alter des Pflanzenmaterials und demzufolge die Substratverfügbarkeit für den mikrobiellen Abbau beeinflusst wird. Neben der Bodenart, der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit (VAN VEEN et al. 1985; STOTT

et al. 1986; KLADIVKO & KEENEY 1987) sind insbesondere die Qualitätsparameter N-Konzentration, C:N-Verhältnis und Lignifizierungsgrad von zentraler Bedeutung für die Zersetzung pflanzlicher Biomasse und bestimmen das Ausmaß und die Geschwindigkeit der N-Mineralisation bzw. der N-Immobilisierung (GUTSER & VILSMEIER 1985; FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985; SCHOMBERG et al. 1994; BELAU et al. 1995; HAUGGAARD-NIELSEN et al. 1998; WIVSTAD 1999; TRINSOUTROT et al. 2000; NICOLARDOT et al. 2001). LOGES (1998) und KASKE (2000) ermitteln für vergleichbare kleebetonte Rotklee gras-Bestände nach zweimaligem Mulchen (Juli und Oktober) im Vergleich zur Schnittgutabfuhr zum Herbstumbruch wesentliche Unterschiede in der OM und N-Menge der Ernterückstände. In den oben genannten Untersuchungen handelt es sich um grasdominierte Bestände, die aus Blankansaaten hervorgehen. Demzufolge besitzt das Residuenmaterial der Gründungs-Varianten im Vergleich zur eigenen Studie eine geringere N-Konzentration bzw. ein weiteres C:N-Verhältnis und weist eine geringere Umsatzfähigkeit auf (LOGES 1998; KASKE 2000).

Entgegen den Erwartungen, in der eigenen Untersuchung für die Gesamt-Residuen der Variante $GD_{ext.}$ (1x Mulchen) gegenüber $GD_{int.}$ (3x Mulchen) eine niedrigere N-Konzentration bzw. ein weiteres C:N-Verhältnis zu erzeugen, bewirkte die Variation der Mulchintensität keinen Unterschied in der Gesamt-Residuenqualität (Tab. 6). Gleichwohl lässt sich für $GD_{ext.}$ in der oberirdischen Biomasse eine signifikant niedrigere N-Konzentration und ein weiteres C:N-Verhältnis gegenüber $GD_{int.}$ nachweisen und damit hinreichend die größere Akkumulation der Residuenmenge (OM und N) zum HU auf die geringere Materialumsetzbarkeit der oberirdischen Biomasse zurückführen. Das einmalige Mulchen von $GD_{ext.}$ erfolgte zum zweiten Bewirtschaftungstermin der Varianten S, S+GD und $GD_{int.}$, wodurch eine vergleichsweise hohe Biomasseakkumulation mit gleichzeitig größerem Lignifizierungsgrad erzeugt wurde. Die OM bzw. N-Menge in der Variante $GD_{ext.}$ ist zum HU zu 55% aus oberirdischer Biomasse und zu 45% aus Wurzeln zusammengesetzt, während nach mehrmaliger Klee gras-Nutzung die Wurzeln den Hauptanteil der ermittelten Gesamt-Residuenmenge bilden. In der Variante $GD_{ext.}$ kann die geringere N-Konzentration bzw. das weitere C:N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse (Tab. 6) jedoch nicht ausschließlich auf die Verschiebung der Inhaltstoffzusammensetzung mit zunehmendem Pflanzenalter zurückgeführt werden (WIVSTAD 1997; NICOLARDOT et al. 2001). Auch die Auswaschung leichtlösbarer N-Verbindungen aus der oberirdisch aufliegenden pflanzlichen

Biomasse hat einen Einfluss (SCHOMBERG et al. 1994). Die Wurzel-N-Konzentration ist in dieser Variante höher bzw. das C:N-Verhältnis niedriger (Tab. 6), da infolge der extensiven Klee gras-Bewirtschaftung der Gemengepartner Deutsches Weidelgras fast vollständig verdrängt wurde (Tab. A5) und vorhandenes Wurzelmaterial nahezu ausschließlich aus Kleewurzeln bestand.

In der Variante $GD_{ext.}$ wird ein signifikanter Massenverlust vom HU zum FU hinsichtlich OM und N-Menge sowohl in der oberirdischen Residuenfraktion als auch bei den Gesamt-Residuen festgestellt (Tab. 6). Generell ist durch das Vorhandensein von leicht zersetzba ren Komponenten in der Initialphase des Abbaus von pflanzlicher Biomasse ein exponentieller Zerfall anzutreffen, während in der sich anschließenden zweiten Abbauphase ein Massenverlust aus der widerstandsfähigeren Fraktion nur über einen sehr langen Zeitraum nachgewiesen werden kann (ABER et al. 1990; BRELAND 1994; TRINSOUTROT et al. 2000). Selbst unter Norwegischen Bedingungen kann im Winterhalbjahr für aufliegendes Rotklee-Sprossmaterial nach fünf Monaten eine N-Mengenabnahme von 27% ermittelt werden (BRELAND 1994).

Mit der angewandten Methode wird für 3x gemulchtes Klee grases ($GD_{int.}$) nicht mehr residuale OM bzw. N-Menge nachgewiesen als nach Schnittgutabfuhr (S und S+GD) (Tab. 6). Im wesentlichen ist dieses Ergebnis darauf zurückzuführen, dass die durch Mulchen auf der Bodenoberfläche akkumulierte pflanzliche Biomasse schon während der Vegetationsperiode einem Zersetzungsprozess unterliegt. Aus gemulchten Klee gras-Aufwüchsen können erhebliche N-Mengen mineralisiert und vom wachsenden Folgeaufwuchs aufgenommen werden (HEUWINKEL 2001), aber auch durch die zunehmende Mikroorganismenmasse bzw. durch die Humifizierung im organischen Boden-Pool festgelegt werden (SWIFT & POSNER 1977; AVNIMELECH 1986; NICOLARDOT et al. 2001). Zusätzlich ist mit gasförmigen N-Verlusten zu rechnen. So stellten LARSSON et al. (1998) aus N-reichhaltigem Mulch (Gras 2,12% N, Luzerne 4,33% N in TM) direkte N-Freisetzungen in Form von Ammoniak bzw. Lachgas in einer Größenordnung von 17-39% (NH_3) bzw. 1% (N_2O) der applizierten Mulch-N-Menge fest. Neben den Feinwurzeln werden insbesondere die freigesetzten niedermolekularen Verbindungen beim Auswaschen der Wurzeln aus dem Bodenbohrkern nicht erfasst und beeinträchtigen als methodische Verlustquelle das Ergebnis (LOGES 1998; WIVSTAD 1999). Im Vergleich zu den Parametern, die die Residuen charakterisieren, ist die Wirkung der Versuchsfaktoren auf den mineralischen N im Boden und auf das Sickerwasser ausgeprägter. Offensichtlich

müssen methodisch bedingte N-Verluste bei der Erfassung des residualen N stärker minimiert und weitere Parameter einbezogen werden, um die tatsächliche flächengebundene N-Akkumulation unterschiedlich genutzter Klee gras-Bestände darstellen zu können.

4.4.2 Boden-N_{min}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser

Die Varianzanalyse weist der Klee gras-Nutzung eindeutige Effekte auf den Boden-N_{min}-Gehalt zu (Tab. 7). Unter den humiden Bedingungen des norddeutschen Klimaraumes bestätigen auch andere Autoren die Möglichkeit der Einflussnahme auf den mineralischen Stickstoff im Boden durch die Klee gras-Bewirtschaftung (Schnittgutabfuhr vs. Mulchen bzw. Beweidung) (MEINSEN & WEGENER 1992; KASKE 2000; RUHE et al. 2003; WACHENDORF et al. 2004). Dagegen wird in niederschlagsarmen Regionen durch die Variation der Futterleguminosen-Nutzung kein Effekt auf den Boden-N_{min}-Gehalt festgestellt (FARTHOFER et al. 2004).

4.4.2.1 Boden-N_{min}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser bei überwinterndem Klee gras

In dieser Untersuchung zeigen die überwinternden Klee gras-Bestände der Varianten S, S+GD und GD_{int.} angesichts signifikant niedrigerer Boden-N_{min}-Gehalte zu Vegetationsende (November) eine geringere N-Freisetzung im Vergleich zu den im Oktober umgebrochenen Beständen (Abb. 4b), da ein Großteil der oberirdischen Biomasse als lebendiges Grüngut auf dem Halm überwintert. Generell führt oberflächlich aufliegendes Pflanzenmaterial im Vergleich zu eingearbeitetem zu einer geringeren Mineralisation (AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994).

Für überwinterndes Klee gras mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) wird sowohl vor als auch nach der Sickerwasserperiode ein N_{min}-Niveau von ca. 40 kg N ha⁻¹ nachgewiesen (Abb. 3), und obgleich die Sickerwassermengen 2001/02 und 2002/03 sehr unterschiedlich waren, ist die kumulierte NO₃-N-Fracht der beiden Untersuchungszeiträume für S (4,6 bzw. 4,8 kg NO₃-N ha⁻¹) und für S+GD (8,4 bzw. 6,5 kg NO₃-N ha⁻¹) nahezu identisch (Abb. 6 & 7). Daraus ist zu folgern, dass der N-Export durch die Schnittgutabfuhr in Verbindung mit dem unversehrten Klee gras-Bestand zu einem niedrigen mineralischen N-Niveau auf der Fläche führt und einen Nitrataustrag verursacht, welcher auch in natürlichen Ökosystemen unter humiden Klimabedingungen festgestellt wird. So ermittelt RUHE et al. (2003) am gleichen

Standort unter Mischwald eine $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht von 4 kg N ha^{-1} , während FELDWISCH & FREDE (1999) die natürliche Grundlast in Gewässer mit $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angeben. Indessen ist der N_{min} -Gehalt zu Vegetationsende für überwinterndes Klee gras nach extensiver Gründüngung ($\text{GD}_{\text{ext.}}$) im Vergleich zu S, S+GD und $\text{GD}_{\text{int.}}$ mehr als doppelt so hoch (Abb. 4a). In der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ konnte N, der im Boden u.a. aus Rhizodeposition freigesetzt wird (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 2001), nicht vom Gemengepartner Gras abgeschöpft werden, da das einmalige Mulchen (Mitte Juli) in der Bestandesentwicklung zu einer Verdrängung des Grasses durch den Rotklee geführt hat (Tab. A5). Auch KASKE (2000) stellt in einer vergleichbaren Klee gras-Gründüngung einen Rückgang von Gras fest und hat Rotkleeanteile von 72-99% in der TM im Oktober gefunden. In der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ führt die außerordentlich hohe Ansammlung oberirdischer Rotklee-Biomasse auf der Fläche, aus der lösliche N-Verbindungen ausgewaschen sowie aufliegende Rotklee-Stängel und -Blätter mineralisiert werden können (AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994), zu einer großen Akkumulation von mineralischen N im Boden, die ohne den Gemengepartner Gras dem Auswaschungsrisiko unterliegt. Demgegenüber ist die N_{min} -Akkumulation nach $\text{GD}_{\text{int.}}$ nicht so ausgeprägt, aber dennoch im Oktober nachweisbar (Abb. 3).

Die höhere Sickerwassermenge in der SWP 2001/02 (286 mm) verursacht in den Varianten $\text{GD}_{\text{int.}}$ und $\text{GD}_{\text{ext.}}$ eine deutlich größere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht ($21,9$ bzw. $59,8 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) im Vergleich zur SWP 2002/03 ($9,2$ bzw. $14,4 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$), die durch eine geringe Sickerwassermenge (154 mm) gekennzeichnet ist. Somit kann das Belassen der gesamten oberirdischen Klee gras-Biomasse auf der Fläche in Abhängigkeit von der Sickerwassermenge zu einem $\text{NO}_3\text{-N}$ -Austrag führen, dessen Bedeutung sowohl für den Gewässer- und als auch den Betriebs-N-Haushalt immens ist. Verbleibt durch die Nutzung Aufwuchsmaterial auf der Fläche, kann nur ein Klee gras-Bestand mit sicherem Grasanteil das N-Auswaschungsrisiko minimieren (vgl. Kapitel 2).

Festzuhalten ist, dass alle mehrfach genutzten überwinternden Klee gras-Bestände (S, S+GD, $\text{GD}_{\text{int.}}$) mit ihrer mittleren NO_3^- -Konzentration unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes bzw. mit ihrer $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht unterhalb des kritischen Wertes und im Bereich des natürlichen Vorkommens von $\text{NO}_3\text{-N}$ im Sickerwasser ($10 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) liegen (WHO 1978). Gleichwohl ist aber zu beachten, dass an einzelnen Terminen kurzzeitig eine Grenzwertüberschreitung auftreten kann (Abb. 7),

die zu einer Gewässerbelastung führen und die Folgenutzung als Trinkwasser beeinträchtigen kann (MEISSNER et al. 1993).

4.4.2.2 Boden- N_{\min} -Gehalt und Nitrat im Sickerwasser nach Herbstumbruch

Durch die Einarbeitung von Klee gras-Beständen in den Boden kommt es zur Freisetzung von mineralischem Stickstoff (FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985; LADD & AMATO 1986; HEß et al. 1990; MEINSEN et al. 1991; LINDEN & WALLGREN 1993; WATSON et al. 1993; FAßBENDER 1998). Nach frühem Herbstumbruch kann sich der N_{\min} -Gehalt innerhalb von 30 Tagen um 40% erhöhen (LOGES 1998) und über Winter auch bei niedrigen Temperaturen weiterhin eine N-Mineralisation stattfinden (BRELAND 1994; MAGID et al. 2004). In der eigenen Untersuchung tritt der Umbrucheffect in einer signifikanten Interaktion mit der Klee gras-Nutzung auf. In den Varianten S, S+GD und GD_{int} sind erhöhte N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsende festzustellen, die auf eine erhebliche Stickstoff-Mineralisierung nach Herbstumbruch hinweisen, während für GD_{ext} auf hohem Niveau kein Unterschied im Boden- N_{\min} -Gehalt zwischen umgebrochenem und intaktem Klee gras bestimmt wird (Abb. 4b). Die durch den Herbstumbruch hervorgerufene erhöhte N-Freisetzung in den Varianten S, S+GD und GD_{int} verursacht gegenüber den überwinterten Beständen höhere NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser (Abb. 6, 7 & 8a). In den Prüfgliedern mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) führt der Anstieg der NO_3^- -Konzentrationen zu einer 4-fachen NO_3 -N-Fracht, während nach Herbstumbruch von GD_{int} die NO_3 -N-Fracht um das Doppelte erhöht ist (Abb. 8b, Tab. A2). Die Akkumulation von mineralischem N im Boden unter GD_{ext} erzeugt unabhängig vom Umbruchtermin äußerst hohe NO_3 -N-Frachten (Abb. 8b, Tab. A2). Obwohl durch den Herbstumbruch das N-Vorkommen im Sickerwasser in allen geprüften Varianten stark ansteigt, bewirkt das Nutzungssystem mit vollständiger Abfuhr der genutzten Aufwüchse (S) eine NO_3^- -Konzentration bzw. NO_3 -N-Fracht, die unterhalb des Trinkwassergrenzwertes liegt (Abb. 8a & b). Im Hinblick auf das NO_3 -N-Vorkommen im Sickerwasser ließe sich daraus ableiten, dass sich Winterweizen als Klee gras-Folgefrucht unter den gegebenen maritimen Klimabedingungen nicht eignet, wenn nutzungsbedingt Aufwuchsmaterial auf der Fläche verbleibt, da die vorwinterliche N-Aufnahme von relativ spät gesättem Winterweizen nach Klee gras-Herbstumbruch sehr gering ist. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang eine N-Aufnahme von 1 bis 8 kg N ha⁻¹ angegeben (LINDEN & WALLGREN 1993; LOGES 1998; KASKE 2000).

Verschiedene Autoren ermitteln unter Winterweizen N-Verluste, die vergleichbar sind mit denen eines unbestellten Ackerbodens (LINDEN & WALLGREN 1993; FRANCIS et al. 1995; HAYNES 1997). Daher kann unter den geprüften Klimabedingungen bei Umbruch der Klee gras-Bestände im Oktober und anschließender Bestellung mit Winterweizen nur die ausschließliche Schnittgutabfuhr die N-Auswaschungsverluste über Winter akzeptabel niedrig halten. Nach Klee gras-Mulchnutzung und Herbstumbruch kann alternativ der Anbau von Winterraps als Klee gras-Folgefrucht in Betracht gezogen werden, da Winterraps im Vergleich zu Winterweizen durch eine wesentlich höhere vorwinterliche N-Aufnahme (HEß 1990; SIELING 2000) die N-Auswaschung nachweislich verringert (LOGES et al. 2005).

4.4.3 Zusammenhang zwischen Boden-N_{min}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser

In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass ein Zusammenhang zwischen dem mineralischen Boden-N-Gehalt im Herbst und dem NO₃⁻-Vorkommen im Sickerwasser bestehen kann. Bei einem Methodenvergleich ermittelte FAßBENDER (1998) eine relativ gute Übereinstimmung zwischen dem NO₃-N-Gehalt im Bodenextrakt und im Bodenwasser in einer Parabraunerde in 100 cm Tiefe während der Sickerwasserperiode. WACHENDORF et al. (2004) zeigten für einen humosen Sandboden in Norddeutschland unter Weißklee gras einen linearen Zusammenhang zwischen dem Boden-N_{min}-Gehalt zu Vegetationsende und der NO₃-N-Fracht im Sickerwasser. Aus den eigenen Ergebnissen ist mit Hilfe der Regressionsanalyse auch ein genereller Zusammenhang zwischen dem N_{min}-Gehalt zu Vegetationsende bzw. dem N_{min}-Saldo (Vegetationsende – Vegetationsbeginn) und der NO₃-N-Fracht im Sickerwasser abzuleiten, wenn alle Varianten als Variablen eingehen (n = 48) und eine lineare Beziehung vorausgesetzt wird (Abb. 10a & Abb. 11a). Die Ergebnisse der Varianzanalyse lassen jedoch erkennen, dass die NO₃-N-Fracht im Sickerwasser nicht ausschließlich vom Boden-N_{min}-Gehalt beeinflusst wird: die Herbstumbruchvarianten von S, S+GD und GD_{int.} unterscheiden sich kaum im N_{min}-Gehalt zu Vegetationsende (Abb. 4a); aber hinsichtlich der mittleren NO₃⁻-Konzentration bzw. NO₃-N-Fracht werden für S+GD und GD_{int.} gegenüber S signifikant höhere Werte ermittelt (Abb. 8a & b). Daher wurde geprüft, inwieweit durch die Berücksichtigung von Jahres- und Nutzungssystem-Effekten (Covarianz-Analyse) innerhalb einer Umbruchvariante (Klee gras bzw. Winterweizen) ein funktionaler Zusammenhang festzustellen ist. Unter diesen Voraussetzungen konnte

schließlich kein linearer Zusammenhang abgesichert werden, weil innerhalb der Untersuchungsjahre einerseits der Stichprobenumfang zu gering ist und andererseits die unabhängige Variable (N_{\min}) keinen eindeutigen Zusammenhang zur $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht aufweist (o. Darstellung). Dagegen sind lineare Zusammenhänge signifikant, wenn jedes Nutzungssystem einer Umbruchvariante einzeln betrachtet und die N_{\min} -Variationsbreite der Untersuchungsjahre ohne eine Korrektur des Jahreseffektes in die Regressionsanalyse aufgenommen wird ($n = 6$). Die Ausprägung des Zusammenhangs variiert dann in Abhängigkeit von der Klee gras-Nutzung. Ausgewählte lineare Regressionen einzelner Klee gras-Nutzungssysteme werden im folgenden dargestellt (Abb. 10b & c, Abb. 11b & c). Daraus folgernd führt nach Herbstumbruch eine Steigerung des mineralischen Boden-N um 1 kg ha^{-1} in der Variante S zu einer Erhöhung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht um $0,38 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$, während für $\text{GD}_{\text{ext.}}$ die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht-Zunahme fast doppelt so hoch ist ($0,63 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) (Abb. 10c). Nach Herbstumbruch ist bei gleichem Boden- N_{\min} im Bereich von 45 bis $93 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht von S deutlich geringer im Vergleich zu $\text{GD}_{\text{ext.}}$ (Abb. 10c).

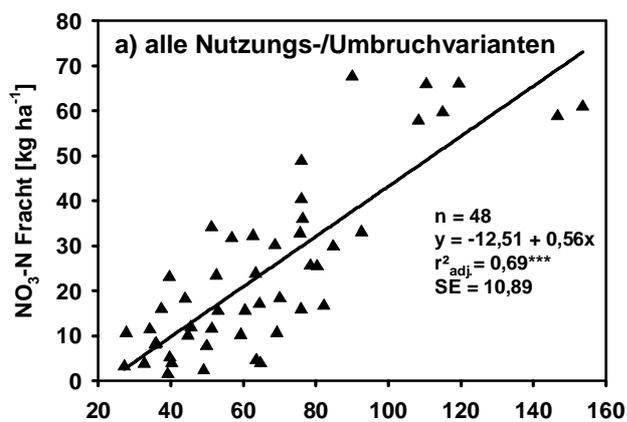
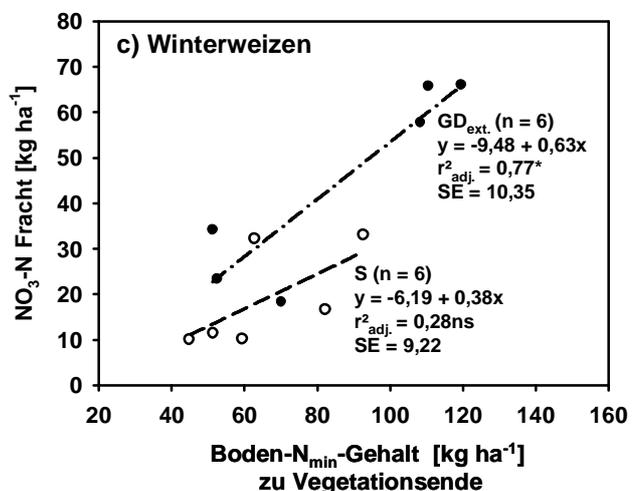
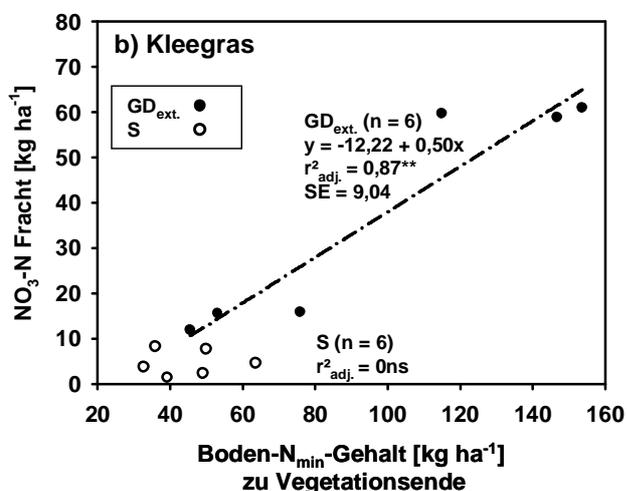


Abb. 10: Zusammenhang zwischen der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser und dem Boden- N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Klee gras und c) Winterweizen

Relationship between $\text{NO}_3\text{-N}$ -load and soil mineral N at the end of the growing season for a) all varieties and for selected defoliation systems of b) grass-clover and c) winter wheat



Dagegen ist unter intaktem Klee gras für S kein Zusammenhang zwischen dem N_{\min} zu Vegetationsende und der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser festzustellen. In der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ ist eine N_{\min} -Zunahme um 1 kg ha^{-1} mit einer im Vergleich zum Herbstumbruch geringeren Steigerung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht ($0,50 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) verbunden (Abb. 10b). Im Hinblick auf den Boden- N_{\min} -Saldo (Vegetationsende - Vegetationsbeginn) zeigt sich unter überwinterndem Klee gras (Abb. 11b), dass die stark positiven N_{\min} -Salden (bis 110 kg ha^{-1}) der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ in einer engen Beziehung zu hohen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten stehen. Mäßig positive N_{\min} -Salden (bis 40 kg ha^{-1}) können sowohl zu geringen (S) als auch zu hohen ($\text{GD}_{\text{ext.}}$) $\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten führen. Auch nach Herbstumbruch ist festzustellen (Abb. 11c), dass in der reinen Schnittgutabfuhr-Variante (S) N_{\min} -Salden bis $60 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ zu einer deutlich geringeren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht führen als in der extensiven Gründung ($\text{GD}_{\text{ext.}}$).

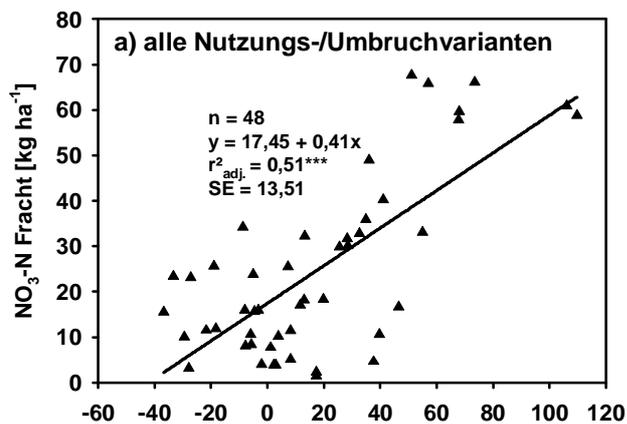
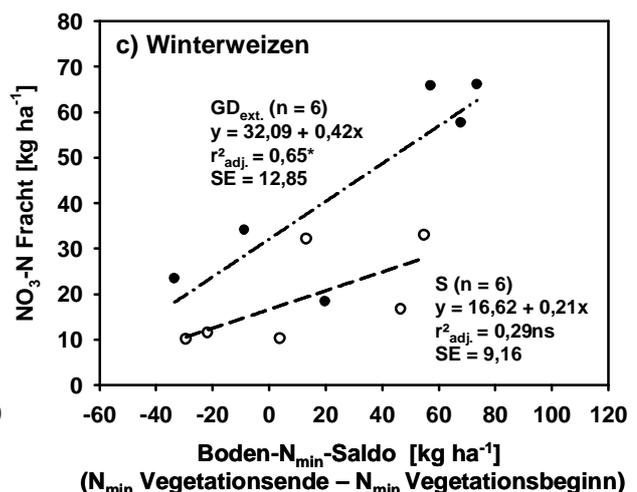
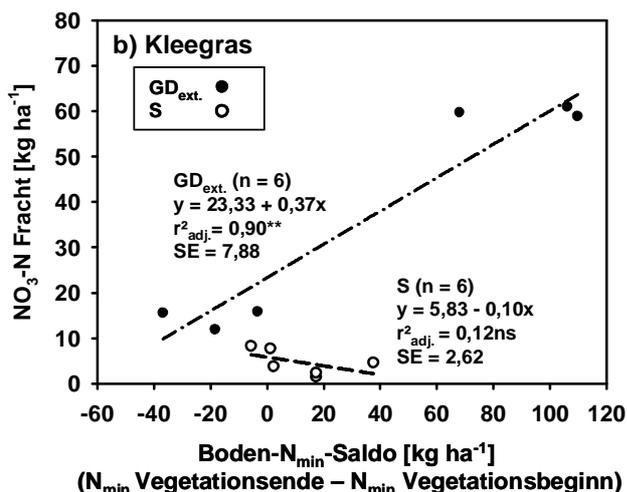


Abb. 11: Zusammenhang zwischen der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser und dem Boden- N_{\min} -Saldo für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Klee gras und c) Winterweizen

Relationship between $\text{NO}_3\text{-N}$ -load and balance of soil mineral N for a) all varieties and for selected defoliation systems of b) grass-clover and c) winter wheat



Die Ergebnisse der Regressionsanalyse (Abb. 10 & Abb. 11) zeigen, dass der mineralische Boden-N-Gehalt nicht generell zur Abschätzung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht herangezogen werden kann, sondern die Beurteilung des N-Austragspotentials in Verbindung mit der vorherigen Klee gras-Nutzung erfolgen muss. Offensichtlich

verursacht das Belassen von Klee gras-Aufwüchsen auf der Fläche eine N-Akkumulation im Boden, die nicht mit der Analyse auf mineralischen N nachzuweisen ist. Vermutlich tragen leicht mineralisierbare organische N-Verbindungen einen großen Anteil zum $\text{NO}_3\text{-N}$ -Vorkommen im Sickerwasser bei.

In der Literatur wird der DOM (Dissolved Organic Matter), die sowohl rasch als auch langsam abbaubar ist und aus Humus sowie insbesondere aus Pflanzenresiduen hervorgeht (OHNO & CRANNELL 1996; KALBITZ et al. 2000), eine sehr große Bedeutung für N-Umsetzungsprozesse im Boden zugeschrieben. Sie stellt das wichtigste Substrat für Mikroorganismen dar (KALBITZ et al. 2000; MARSCHNER & KALBITZ 2003). Darüber hinaus kann die Einarbeitung von Pflanzenresiduen eine Freisetzung von bodenbürtigem organischen N bewirken („priming-effect“) (BINGEMANN et al. 1953; JANSSON & PERSSON 1982; JENKINSON et al. 1985; LADD & AMATO 1986).

Andererseits können durch die Zufuhr von Pflanzenresiduen auch Prozesse ausgelöst werden, die zur Reduktion der Nitrat-Konzentration im Boden führen. Sowohl die N-Immobilisierung als auch die Denitrifikation mindern die Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung, gleichzeitig kann letztere zusätzlich klimarelevante N-Verluste verursachen (AULAKH et al. 1991a, 1991b; MCKENNEY et al. 1993; HELMERT et al. 2003).

In frühen Stadien der Residuenzersetzung wird unabhängig von der N-Konzentration bzw. vom C:N-Verhältnis des Materials eine N-Immobilisierung im Boden beobachtet, die sich mit zunehmender Zeit für Residuen mit weitem C:N-Verhältnis verstärkt bzw. für Residuen mit engem C:N-Verhältnis in einer Netto-N-Mineralisierung resultiert (GUTSER & VILSMEIER 1985; FRANKENBERGER & ABDELMAGID 1985; AULAKH et al. 1991a; MCKENNEY et al. 1993; MARY 1996; TRINSOUTROT et al. 2000). Die Festlegung von N in mikrobieller Biomasse bietet somit die Möglichkeit die N-Auswaschung vorübergehend zu verringern, insbesondere wenn das pflanzliche Material auf der Oberfläche verbleibt (AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994). Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigen jedoch, dass durch eine extensive (1x Mulchen; $\text{GD}_{\text{ext.}}$) im Vergleich zu einer intensiven Klee gras-Nutzung (3x Mulchen; $\text{GD}_{\text{int.}}$) keine Biomasse erzeugt wird, die für eine effektive N-Immobilisierung ein entsprechend weites C:N-Verhältnis besitzt. Darüber hinaus verzögerte die Verschiebung des Umbruchzeitpunktes der Variante $\text{GD}_{\text{ext.}}$ ins Frühjahr nicht die N-Freisetzung gegenüber dem Herbstumbruch. In dieser Studie bewirkt die extensive Klee gras-Bewirtschaftung durch die überaus starke N-Akkumulation auf der Fläche

gegenteiliges und verursacht das höchste Nitrat-Vorkommen im Sickerwasser. Demzufolge ist die Einflussnahme auf die N-Freisetzung und Nitrat-Auswaschung über Winter durch das C:N-Verhältnis bei Klee gras-Beständen sehr schwierig. Zur zuverlässigen Reduzierung des Nitrat-Austragspotentials sind, neben der Verschiebung des Umbruchtermins, die Schnittgut-Abfuhr und die Sicherung von Gras-Anteilen im Bestand effektive Einflussgrößen. Zusätzlich sei erwähnt, dass N-reichhaltiges, sich zersetzendes Pflanzenmaterial zu gasförmigen klimarelevanten N-Verlusten führen kann (MCGINN & JANZEN 1998; HELMERT et al. 2003)

4.4.4 Folgefruchtertragsleistung

Das von Winter- bzw. Sommerweizen in direkter Fruchtfolgestellung nach Klee gras unter ökologischen Anbaubedingungen erzielte Ertragsniveau entspricht den Angaben aus der Literatur (HEß 1989; WIVSTAD et al. 1996; OLESEN et al. 2002; RUHE et al. 2003), ist aber gemessen am derzeitigen Ertragspotential der Kulturart Weizen als niedrig einzustufen (SPANAKAKIS 2000).

Die Varianzanalyse ergibt für den Versuchsfaktor Nutzungssystem keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag (Tab. 9). Diese Beobachtung machten auch FARTHOFER et. al (2003) für Winterweizen nach gemulchter im Vergleich zu schnittgenutzter Luzerne/Gras-Vorfrucht. Die Autoren führen dies auf eine eingeschränkte N-Verfügbarkeit bedingt durch das limitierte Niederschlagsangebot des Anbaubereiches zurück, da auch keine Unterschiede in den Boden-N_{min}-Gehalten festgestellt wurden. Dagegen belegen die eigenen Ergebnisse eine signifikante Beeinflussung des Vorkommens von mineralischem N im Boden bzw. im Sickerwasser sowohl durch die vorherige Klee gras-Nutzung als auch durch den Umbruchtermin. Eine durch die Klee gras-Bewirtschaftung hervorgerufene höhere N-Akkumulation ließe somit eine Ertragssteigerung der Folgefrucht erwarten. Die erzielten Ergebnisse stützen die Annahme auf eine Ertragswirksamkeit von Mulch-N beim Sommerweizen in der Variante GD_{ext.} (1x Mulchen) gegenüber den dreimal gemähten Beständen (S, S+GD und GD_{int.}), da der Boden-N_{min}-Gehalt von einmal gemulchtem, überwinterten Klee gras um ca. 20 kg ha⁻¹ höher ist (Abb. 4a). Dies weist auf eine wesentlich höhere N-Akkumulation im Boden hin, obgleich eine hohe NO₃-N-Fracht im Sickerwasser ermittelt wurde (Abb. 8b). Ebenso kann ein höheres N-Freisetzungspotential für das überwinterte Klee gras der Varianten S+GD und GD_{int.} angenommen werden als bei der Variante S (Abb. 8b).

Dass die Klee gras-Nutzung keine Variation im Kornertrag verursacht, ist u.a. mit der Schwierigkeit der zeitlichen Übereinstimmung von N-Freisetzung aus organischen Material und N-Aufnahme bzw. N-Bedarf der Getreidepflanze zu begründen (HEß & KLEIN 1987; STOPEs et al. 1996; SPARLING et al. 1999; ANGUS 2001; BERRY et al. 2002). Für die im Frühjahr umgebrochenen Varianten kann der asynchrone Verlauf von N-Mineralisierung und N-Bedarf der Pflanze jedoch nicht alleinig verantwortlich sein für die geringe Wirksamkeit des akkumulierten Residuen-N, da bei Klee grasumbruch im Frühjahr von hohen N-Freisetzungen auszugehen ist (HEß 1989; AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994). Indessen kann auch zum Zeitpunkt der höchsten N-Freisetzung aus Kleeresiduen ein N-Defizit bei den Getreidepflanzen auftreten, da der Boden eine erhebliche N-Senke für freigesetzten Leguminosen-N darstellt (MÜLLER & SUNDMAN 1988; HAYNES 1997) und beim Zersetzungsprozess von Pflanzenmaterial das Kulturpflanzenwachstum in N-Aufnahmekonkurrenz zur mikrobiellen Biomasse tritt (KAYE & HART 1997).

Obwohl der Weizenkornertrag nicht von der vorherigen Klee gras-Bewirtschaftung beeinflusst wird, zeigt die Weizenspross-N-Menge und die Ertragsstruktur einen signifikanten Zusammenhang zum Klee gras-Nutzungssystem (Tab. 10). So wird nach ausschließlich gemulchtem Klee gras ($GD_{int.}$ & $GD_{ext.}$) eine um 21-29 kg ha⁻¹ höhere N-Akkumulation in der oberirdischen Weizenbiomasse ermittelt als beim Weizen mit Klee gras-Schnittgutabfuhr (S & S+GD). Im Vergleich zur reinen Schnittgutabfuhr (S) ist bei diesen Weizen-Beständen ($GD_{int.}$ & $GD_{ext.}$) zusätzlich eine signifikant höhere Triebdichte festzustellen, die auf eine höhere N-Versorgung in frühen Entwicklungsstadien zurückgeführt werden kann (HARMS 1982; SPIERTZ & DE Vos 1983). Jedoch führte das angelegte Ertragspotential nicht zu einem größeren Kornertrag, da in der Phase der Ertragsorganausbildung die N-Versorgung begrenzt war: in den Weizen-Varianten $GD_{int.}$ und $GD_{ext.}$ ist die Kornzahl je Ähre signifikant geringer gegenüber S. Die N-Versorgung der vergleichsweise geringeren Triebanzahl beim Weizen nach Schnittgutabfuhr S wirkte sich positiv auf die Bekörmung der Haupttriebe aus (HARMS 1982). Eine Gegenüberstellung des Weizen-Spross-N mit dem Weizen-Korn-N zeigt (Tab. 10), dass in den Varianten $GD_{int.}$ und $GD_{ext.}$ ein größerer Anteil an N in der nicht erntbaren Biomasse gebunden ist.

Bekannt ist, dass unter ökologischen Anbaubedingungen Sommerweizen im Vergleich zu Winterweizen höhere Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalte bei niedrigeren Kornerträgen erzeugt (TAYLOR et al. 2001). Dies wird auch in der eigenen

Untersuchung in Abhängigkeit von dem Klee gras-Nutzungssystem beobachtet (Abb. 9). Während für Winterweizen bei niedrigen Korn-Rp-Gehalten ein nur geringer Einfluss der Klee gras-Nutzung auf den Korn-Rp-Gehalt festgestellt wird, war für Sommerweizen auf einem deutlich höheren Niveau eine Steigerung des Korn-Rp-Gehaltes um bis zu 1,33 Prozentpunkte durch die Vorruchtnutzung Mulchen gegenüber Schnittgutabfuhr zu erkennen (Abb. 9 und Tab. A3). In der Literatur wird dagegen oft eine Erhöhung des Korn-TM-Ertrages aber nicht des Korn-Rp-Gehaltes ermittelt, bedingt durch die eingeschränkte N-Nachlieferung aus Leguminosen-Residuen (WALLGREN & LINDÉN 1991; GOODING et al. 1993; WIVSTAD et al. 1996).

Für den Weizen nach extensiver Klee gras-Gründung ($GD_{ext.}$) wird im Vergleich zur Variante S+GD eine um $8,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ höhere Korn-N-Menge bestimmt. Diese relativ geringe Steigerung der Korn-N-Menge stand allerdings in Verbindung mit einer deutlichen Erhöhung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser im Mittel der Kulturen um $20 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (Tab. A2). Die Regressionsanalyse zeigt sowohl für Sommerweizen als auch für Winterweizen, dass auch bei niedrigen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten durchaus hohe Korn-N-Entzüge realisiert werden können (Abb. 12). Beim Winterweizen stehen niedrigere Korn-N-Mengen im Zusammenhang mit höheren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten (Abb. 12b).

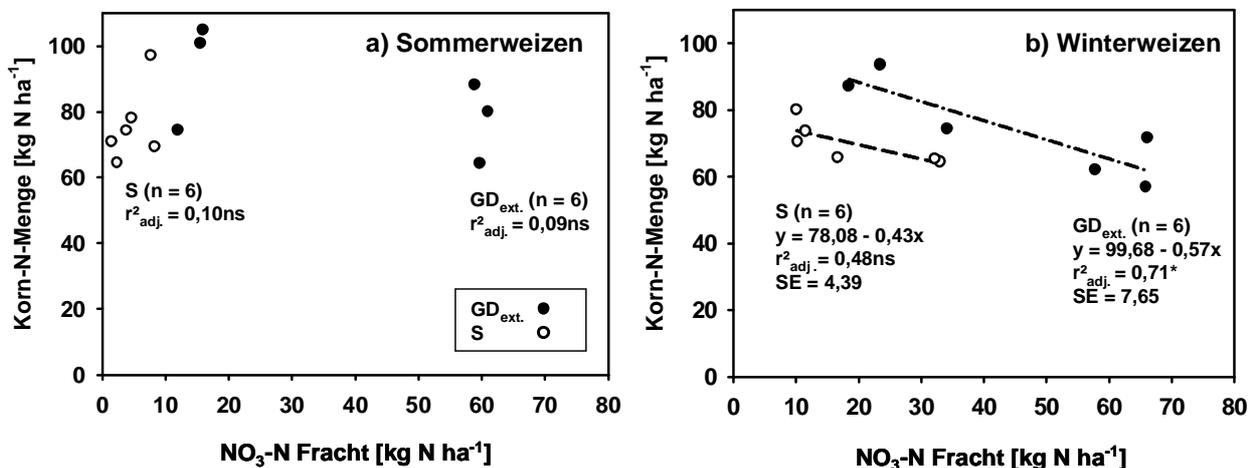


Abb. 12: Zusammenhang zwischen der Korn-N-Menge von a) Sommerweizen bzw. b) Winterweizen und der kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Fracht im Sickerwasser für ausgewählte Klee gras-Nutzungssysteme (Sickerwasserperioden 2001/02 & 2002/03 sowie Erntejahre 2002 & 2003)

Relationship between grain-N of a) spring wheat and b) winter wheat and the $\text{NO}_3\text{-N}$ load in the leachate for selected grass-clover defoliation systems (leaching periods 2001/02 and 2002/03 and years of harvest 2002 and 2003)

Unter den geprüften Standortverhältnissen ist die direkte Vorfruchtwirkung verschieden genutzter Klee gras-Bestände für Weizen als Folgekultur sehr begrenzt. Die Ergebnisse bestätigen die Beobachtungen aus der Praxis, dass häufiges Mulchen von Klee gras nicht zu angemessenen Ertragssteigerungen der Folgefrucht führt, u. a. bedingt durch das Rezyklieren von N während der Klee gras-Periode (LOGES 1998; HEUWINKEL 2001). Weiterhin kann gezeigt werden, dass der erzielte Folgefruchtertrag nach S+GD vergleichbar ist mit dem nach mehrmalig gemulchter Gründung und die Abfuhr der ersten beiden Klee gras-Aufwüchse (S+GD) nicht zu Folgefrucht-Ertragseinbußen führt.

Im Hinblick auf die Belastung von Umwelt und Betriebs-N-Kreislauf ist es beim Anbau von Winterweizen sinnvoll, den Klee gras-Aufwuchs im Hauptnutzungsjahr nicht zu mulchen sondern abzufahren. Für viehlos wirtschaftende Betriebe bietet sich die Möglichkeit, mit viehhaltenden bzw. solchen Betrieben, die Biomasse als Kosubstrat in Biogasanlagen einsetzen, zu kooperieren. Gehandelte Klee gras-Aufwüchse können gegen nährstoffäquivalente Mengen an Wirtschaftsdünger in den viehlosen Betrieb zurückfließen und vermögen eine Ertragssteigerung im Winterweizen zu bewirken (DREYMAN et al. 2003; STINNER et al. 2004) bei gleichzeitiger Reduktion des N-Austragspotentials.

4.5 Zusammenfassung

In einem Feldversuch wurde das Fruchtfolgeglied ‚Kleegras - Weizen‘ (*Trifolium pratense* L. / *Lolium perenne* L. - *Triticum aestivum* L.) mit den Versuchsfaktoren Kleegras-Bewirtschaftung (S: 3-Schnitte; S+GD: 2-Schnitte + 1x Mulchen; GD_{int.}: 3x Mulchen; GD_{ext.}: 1x Mulchen) und Umbruchtermin (Herbstumbruch HU mit Winterweizen; Frühjahrsumbruch FU mit Sommerweizen) im Hinblick auf wesentliche Kenngrößen des Stickstoff-(N)-Haushaltes und Folgefruchertrages in zwei Untersuchungszeiträumen geprüft. Es wurden Parameter zur Charakterisierung der Kleegras-Residuen erhoben sowie der Boden-N_{min}-Gehalt, das Nitrat-Vorkommen im Sickerwasser während der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03 und der Weizenertrag im jeweils anschließenden Erntejahr bestimmt.

In Bezug auf die Kleegras-Residuen kann nur eine geringe Variation in der organischen Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und dem C:N-Verhältnis in Abhängigkeit von den gewählten Faktorstufen nachgewiesen werden. Zum Herbstumbruch wird festgestellt, dass Mulchen im Vergleich zur Schnittgutabfuhr nicht generell zu einer höheren Akkumulation von Kleegras-Biomasse auf der Fläche führt, sondern dass die Mulchintensität (GD_{int.} vs. GD_{ext.}) entscheidend ist für die im Herbst ermittelte residuale OM- und N-Menge. Unabhängig vom Umbruchtermin verursacht GD_{ext.} das höchste Aufkommen von mineralischem N im Boden und im Sickerwasser. In dieser Variante ist es einerseits zu einer außerordentlich hohen Akkumulation von Rotklee-Biomasse und andererseits zu einer Verdrängung des Gemengepartners Gras während der Bestandesentwicklung gekommen.

Im Gegensatz zum Pflanzenresiduen-N wird das Vorkommen von mineralischem N im Boden (N_{min}) und im Sickerwasser (NO₃⁻) erheblich von der Kleegras-Bewirtschaftung und vom Umbruchzeitpunkt beeinflusst. Die Schnittgutabfuhr (S, S+GD) führt in Verbindung mit der Kleegras-Überwinterung (FU) zu einer geringen Akkumulation von mineralischem N im Boden, so dass unabhängig von der Sickerwassermenge eine kumulierte NO₃-N-Fracht auftritt (S: 4,6 bzw. 4,8 NO₃-N ha⁻¹; S+GD: 6,5 bzw. 8,4 kg NO₃-N ha⁻¹), welche vergleichbar ist mit der naturbelassener Ökosysteme unter humiden Klimabedingungen. Dagegen kann der Verbleib der gesamten oberirdischen Kleegras-Biomasse auf der Fläche in Abhängigkeit von der Sickerwassermenge zu wesentlich höheren NO₃-N-Frachten führen (GD_{int.}: 9,2 bzw. 21,9 kg NO₃-N ha⁻¹; GD_{ext.}: 14,4 bzw. 59,8 kg NO₃-N ha⁻¹). Die mittlere NO₃-

Konzentration im Sickerwasser der mehrmalig genutzten überwinterten Klee gras-Bestände (S, S+GD, GD_{int.}) liegt unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes. Gegenüber den überwinterten Beständen wird nach Herbstumbruch und Winterweizenansaat in den Varianten S, S+GD und GD_{int.} eine erhöhte N-Mineralisierung festgestellt, die ein höheres NO₃⁻-Aufkommen im Sickerwasser verursacht. Nach Herbstumbruch ermöglicht nur die reine Schnittnutzung (S) die Einhaltung des EU-Trinkwassergrenzwertes. Aus den Ergebnissen kann ein Zusammenhang zwischen Boden-N_{min}-Gehalt und NO₃-N-Fracht abgeleitet werden. Allerdings muss die Abschätzung des N-Austragspotentials anhand von Boden-N_{min}-Gehalten unter Berücksichtigung der vorherigen Klee gras-Nutzung erfolgen.

Die Ertragsleistung der Folgekultur Weizen wird nur geringfügig von der vorherigen Klee gras-Nutzung beeinflusst. Obwohl der Weizen nach ausschließlich gemulchtem Klee gras (GD_{int.}, GD_{ext.}) eine höhere Anzahl Ähren je m² aufweist und im Weizenspross eine höhere N-Menge gebunden ist als in den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD), unterscheiden sich die Kornerträge von S, S+GD, GD_{int.} und GD_{ext.} nicht. Durch GD_{ext.} wird gegenüber S+GD eine signifikante Steigerung der Weizenkorn-N-Menge um ca. 8 kg N ha⁻¹ erzielt, die einhergeht mit einer deutlichen Erhöhung der NO₃-N-Fracht im Sickerwasser um ca. 20 kg NO₃-N ha⁻¹. Für den Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt zeigt sich die Interaktion zwischen Klee gras-Nutzung und Folgefrucht signifikant: Der Rp-Gehalt von Winterweizen liegt zwischen 10,6-11,2% und wird nur geringfügig durch die Nutzung beeinflusst, während der Rp-Gehalt bei Sommerweizen auf hohem Niveau zwischen 12,8-14,2% liegt und jede Faktorstufe einen signifikanten Effekt erzeugt.

Unter den geprüften Standortverhältnissen ist die zuverlässige Einflussnahme auf die N-Freisetzung und Nitrat-Auswaschung über Winter im Fruchtfolgeglied ‚Klee gras-Weizen‘ bei Herbstumbruch möglich, wenn in der Klee gras-Bewirtschaftung auf Mulchen verzichtet und der Klee gras-Aufwuchs vollständig der Fläche entzogen wird. Insbesondere für viehlos wirtschaftende Betriebe ist es von Bedeutung, dass mit einem geeigneten Klee gras-Management (Mulchintensität, Umbruchzeitpunkt) auch gemulchte Klee gras-Bestände eine geringe N-Auswaschung hervorrufen können.

4.6 Literaturverzeichnis

- ABER, J., MELILLO, J. & MCCLAUGHERTY, C., 1990: Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany* **68** [10], 2201-2208.
- AG BODEN, 1996: *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 4. Aufl., Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 1-392.
- ANGUS, J., 2001: Nitrogen supply and demand in Australian agriculture. *Australian Journal of Agricultural Research* **41** [3], 277-288.
- ANONYM, 1991a: Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft* Nr. L 375.
- ANONYM, 1991b: Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24.06.1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft* Nr. L 198.
- ANONYM, 1998: Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft* Nr. L 330.
- ANONYM, 1999: *Statistical Analysis System (SAS®)*, 1999-2001), 8.02 edn., Cary, NC: SAS Institute.
- ANONYM, 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft* Nr. L 327.
- ANONYM, 2002: *Agenda 2000 Pflanzlicher Bereich; Agrarumweltmaßnahmen*.
- AULAKH, M., DORAN, J., WALTERS, D., MOSIER, A. & FRANCIS, D., 1991a: Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Science Society of America Journal* **55**, 1020-1025.
- AULAKH, M., DORAN, J., WALTERS, D. & POWER, J., 1991b: Legume residue and soil water effects on denitrification in soils of different textures. *Soil Biology and Biochemistry* **23** [12], 1161-1167.
- AVNIMELECH, Y., 1986: Organic residues in modern agriculture. In: *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Ed. Y. Chen & Y. Avnimelech, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Boston Lancaster, 1-10.
- BEINHAUER, R. & GÜNTHER, J., 1990: *Agrarmeteorologische Arbeitsunterlagen und Planungshilfen für Norddeutschland*, Vauk, Kiel, 1-316.

- BELAU, L., HONERMEIER, B. & MATHEIS, F., 1995: Modelluntersuchungen zur Einschätzung der potentiellen N-Freisetzung nach Klee grasumbruch. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **39**, 37-43.
- BERNET, 2001: Baltic Eutrophication Regional Network BERNET Gesamtbericht: Strategien für ein verbessertes Eutrophierungsmanagement im Ostseeraum aus Sicht der Regionen, Hrsg. M. Möller, Reproff Grafisk A/S, Odense, Dänemark. 1-88.
- BERRY, P., SYLVESTER-BRADLEY, R., PHILIPPS, L., HATCH, D., CUTTLE, S., RAYNS, F. & GOSLING, P., 2002: Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management* **18**, 248-255.
- BINGEMANN, C., VARNER, J. & MARTIN, W., 1953: The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. *Soil Science Society of America Proceedings* **17**, 24-38.
- BRELAND, T., 1994: Measured and predicted mineralization of clover green manure at low temperatures at different depths in two soils. *Plant and Soil* **166**, 13-20.
- DREYMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte unter Berücksichtigung einer variierten organischen Düngung. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003. Hrsg. B. Freyer, Wien 89-92.
- DUYNISVELD, W. & STREBEL, O., 1985: Nitrat-Auswaschungsgefahr bei verschiedenen grundwasserfernen Ackerstandorten in Nordwestdeutschland. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* **136**, 429-439.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Hrsg. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.(DVWK) Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2003: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Futterleguminosen (Schnitt- und Mulchnutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Österreich. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003. Hrsg. B. Freyer, Wien, 513-514.
- FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSCH, G. & FREYER, B., 2004: Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Luzerne (Schnitt- und Grünbrachenutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Ostösterreich. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **16**, 67-68.
- FARBENDER, K., 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Klee grasumbruch. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

- FELDWISCH, N. & FREDE, H.-G., 1999: Stoffeinträge in Gewässer aus der Landwirtschaft. In: Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, Hrsg. H. Frede & S. Dabbert, ecomed, Landberg. 4-21.
- FEWTRELL, L., 2004: Drinking-Water Nitrate, Methemoglobinemia, and Global Burden of Disease: A Discussion. *Environmental Health Perspectives* **112** [14], 1371-1374.
- FRANCIS, G., HAYNES, R. & WILLIAMS P. H., 1995: Effects of the timing of ploughing-in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on nitrogen mineralization, nitrate leaching and spring wheat growth. *Journal of Agricultural Science* **124**, 1-9.
- FRANKENBERGER, W. & ABDELMAGID, H., 1985: Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant and Soil* **87**, 257-271.
- FRIED, J., 1991: Nitrates and their Control in the EEC Aquatic Environment. In: Nitrate Contamination. Exposure, Consequence, and Control, Ed. I. Bogárdi & R. Kuzelka, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 3-11.
- GOODING, M., DAVIES, W., THOMPSON, A. & SMITH, S., 1993: The challenge of achieving breadmaking quality in organic and low input wheat in the UK - a review. In: *Cereal Quality III*, 189-198.
- GUTSER, R. & VILSMEIER, K., 1985: N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **148** [6], 595-606.
- HAAS, G., 2000: Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements, Dr. Hans-Joachim Köster, Berlin, 1-152.
- HARMS, H., 1982: Organogenese und Ertragsbildung der Weizenähre in Haupt- und Nebentrieben in Abhängigkeit von N-Versorgung, Standraum und Saatzeit. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes* **11** [2], 1-24.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., NEERGAARD, D. A., JENSEN, L., HØGH-JENSEN, H. & MAGID, J., 1998: A field study of nitrogen dynamics and spring barley growth as affected by the quality of incorporated residues from white clover and ryegrass. *Plant and Soil* **203**, 91-101.
- HAYNES, R., 1997: Fate and recovery of ¹⁵N derived from grass/clover residues when incorporated into a soil and cropped with spring or winter wheat for two succeeding seasons. *Biology and Fertility of Soils* **25**, 130-135.
- HELCOM, 1992: Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area (Helsinki Convention), ed. by Helsinki Commission (Baltic Marine Environment Protection Commission) Helsinki.

- HELCOM, 2003: The Baltic Marine Environment 1999-2002, Baltic Sea Environment Proceedings No. 87, Helsinki Commission, 1-45.
- HELMERT, M., HEUWINKEL, H., GUTSER, R. & SCHMIDHALTER, U. , 2003: Verändert Mulchen von Klee gras die N-Flüsse in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus? In: Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 47. Jahrestagung 28.-30. August 2003 in Braunschweig, 79-82.
- HEß, J., 1995: Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus, Habilitationsschrift an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HEß, J. & KLEIN, A., 1987: Möglichkeiten zur Verringerung der N-Frühjahrs-lücke im Organischen Landbau durch verbesserte Nutzung von Leguminosen-N und systemkonforme Düngungsmaßnahmen. In: Wissenschaftliche Berichte der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn Heft Nr. 36, 42-63.
- HEß, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras - Klee gras - Weizen - Roggen. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HEß, J., 1990: Acker- und pflanzenbauliche Strategien zum verlustfreien Stickstoff-transfer beim Anbau von Klee gras im Organischen Landbau. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **3**, 241-244.
- HEß, J., PAULY, J. & FRANKEN, H., 1990: Standorterhebungen zur Stickstoffdynamik nach Klee grasumbruch. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **3**, 269-272.
- HEUWINKEL, H., 2001: N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 6.-8. März 2001 Freising-Weihenstephan, Hrsg. H. J. Reents, 183-186.
- HORN, M. & VOLLANDT, R., 1995: Biometrie: Multiple Tests und Auswahlverfahren, Gustav Fischer Verlag Stuttgart-Jena.
- HØGH-JENSEN, H., 1999: The proportion of green fallow in stockless farming systems: grain N yield, N leaching and soil organic N. In: Designing and testing crop rotations for organic farming, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 223-234.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJOERRING, J. K., 2001: Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. Soil Biology and Biochemistry **33**, 439-448.
- JANETZKO, P. & SCHMIDT, R., 1996: Norddeutsche Jungmoränenlandschaften. In: Handbuch der Bodenkunde - Böden als Teile von Landschaften, Hrsg. Blume H.-P., Felix-Henningsen P., Fischer W.R., Frede H.-G., Horn R. & Stahr K., ecomed 1-36.
- JANSSON, S. L. & PERSSON, J., 1982: Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Nitrogen in agricultural soils, Ed. F. J. Stevenson, American Society of Agronomy, Madison, Wisc., 229-252.

- JENKINSON, D. S., FOX, R. H. & RAYNER, J., 1985: Interactions between fertiliser nitrogen and soil nitrogen - the so-called 'priming-effect'. *Journal of Soil Science* **36**, 425-444.
- JOHNSON, D., COLE, D., VAN MIEGROET, H. & HORNG, F., 1986: Factors affecting anion movement and retention on four forest soils. *Soil Science Society of America Journal* **50** [3], 776-783.
- KALBITZ, K., SOLINGER, S., PARK, J., MICHALZIK, B. & MATZNER, E., 2000: Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science* **165** [4], 277-304.
- KASKE, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 17, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- KAYE, J. & HART, S., 1997: Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Trends in Ecology and Evolution* **12**, 139-143.
- KIRCHGESSNER, M., 1997: Tierernährung, 10. Aufl. S. 23. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt (Main).
- KLADIVKO, E. & KEENEY, D., 1987: Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biology and Fertility of Soils* **5**, 248-252.
- LADD, J. N. & AMATO, M., 1986: The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* **18** [4], 417-425.
- LINDEN, B. & WALLGREN, B., 1993: Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research* **23**, 77-89.
- LOGES, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 9, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- LOGES, R., MAUSCHERNING, I. & TAUBE, F., 2005: Beisat von Zwischenfrüchten als Möglichkeit zur Reduzierung der N-Auswaschung in Wintergetreide? In: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 1.-4. März 2005. Hrsg. Heß, J. und G. Rahmann, kassel university press GmbH, Kassel, 593-594.
- MAGID, J., LUXHØI, J. & LYSHEDE, O. B., 2004: Decomposition of plant residues at low temperatures separates turnover of nitrogen and energy rich tissue components in time. *Plant and Soil* **258**, 351-365.
- MARSCHNER, B. & KALBITZ, K., 2003: Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma* **113**, 211-235.
- MARY, B., 1996: Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* **181**, 71-82.

- MCGINN, S. & JANZEN, H., 1998: Ammonia sources in agriculture and their measurement. *Canadian Journal of Soil Science* **78** [1], 139-148.
- MCKENNEY, D., WANG, S., DRURY, C. & FINDLAY, W., 1993: Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues. *Soil Science Society of America Journal* **57**, 1013-1020.
- MEINSEN, C., 1983: Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotklee gras. Dissertation, Arbeit aus der Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Wissenschaftsbereich Pflanzenbau und Grünland, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- MEINSEN, C., SCHMUDE, D. & BELAU, L., 1991: Untersuchungen zum Nmin-Gehalt im Boden bei Herbst- und Frühjahrsumbruch von zwei- und dreijährigem Rotklee gras. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **4**, 151-154.
- MEINSEN, C. & WEGENER, M., 1992: Zum Stickstoff-Reproduktionsvermögen von einjährigen, zweijährigen und dreijährigen Rotklee gras-Gemengen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 36. Jahrestagung vom 8.-10 Oktober in Rostock, Wissenschaftlicher Fachverlag Giessen, 223-236.
- MEISSNER, R., SEEGER, J., RUPP, H. & SCHONERT, P., 1993: Der Einfluss von Flächenstilllegung und Extensivierung auf den Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser. *Vom Wasser* **81**, 197-215.
- MÖLLER, K., 2004: Neue Möglichkeiten der Nutzung von Klee gras aufwüchsen und Koppelprodukten in viehlosen Betrieben. *Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare*, 32-33.
- MÜLLER, M. & SUNDMAN, V., 1988: The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant and Soil* **105**, 133-139.
- NICOLARDOT, B., RECOUS, S. & MARY, B., 2001: Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant and Soil* **228**, 83-103.
- OHNO, T. & CRANNELL, B., 1996: Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption. *Journal of Environmental Quality* **25** [5], 1137-1143.
- OLESEN, J., RASMUSSEN, I., ASKEGAARD, M. & KRISTENSEN, K., 2002: Whole-rotation dry matter and nitrogen grain yields from the first course of an organic farming crop rotation experiment. *Journal of Agricultural Science* **139**, 361-370.
- OSPAR, 1992: Convention for the protection of the marine environment of the north-east atlantic, OSPAR Commission, 1-35.
- PETER, M. & HARRACH, T., 1991: Bewertung der potentiellen Nitrataustragsgefährdung in Wasserschutzgebieten. *Feldwirtschaft* **32**, 453-455.

-
- PIEPHO, H., BÜCHSE, A. & RICHTER, C., 2003: A mixed modelling approach for randomized experiments with repeated measures. *Journal of Agronomy and Crop Science* **190**, 230-247.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Wien, 97-100.
- SCHMIDT, H., 2004: Viehloser Öko-Ackerbau Beiträge Beispiele Kommentare, Hrsg. H. Schmidt, Offset-Druckerei Gerhard Weinert GmbH, Berlin, 1-207.
- SCHOMBERG, H., STEINER, J. & UNGER, P., 1994: Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Science Society of America Journal* **58** [1], 372-381.
- SELING, K., 2000: Untersuchungen zu den Auswirkungen unterschiedlicher Produktionssysteme auf einige Parameter des N-Haushaltes von Boden und Pflanze, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 16, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- SPANAKAKIS, A., 2000: Züchtung von Winterweizen mit verbesserter N-Effizienz. In: Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Hrsg. C. Möllers, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 97-142.
- SPARLING, G., PANKHURST, C., DOUBE, B., GUPTA, V. & GRACE, P., 1999: Low-input agriculture: matching of organic resources, soil microbial activity and plant nutrient demand. In: *Soil biota: management in sustainable farming systems*, Ed. C. Pankhurst, B. Doube & V. Gupta, CSIRO, East Melbourne, 209-216.
- SPIERTZ, J. & DE VOS, N., 1983: Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant and Soil* **75**, 379-391.
- STEINMANN, F., 2002: Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit in Schleswig-Holstein Trendmessnetz 1995 - 2000, Hrsg. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Pirwitz, Kiel, 1-54.
- STINNER, P.-W., MÖLLER, K. & LEITHOLD, G., 2004: Pflanzenbauliche Systemwirkungen der Vergärung von Kleegras und pflanzlichen Koppelprodukten in einem Betriebssystem der ökologischen Landwirtschaft ohne Viehhaltung. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **16**, 109-110.
- STOPES, C., MILLINGTON, S. & WOODWARD, L., 1996: Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **57**, 189-196.
- STOTT, D., ELLIOTT, L., PAPENDICK, R. & CAMPBELL, G., 1986: Low temperature or low water potential effects on the microbial decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* **18** [6], 577-582.

- SWIFT, R. S. & POSNER, A. M., 1977: Humification of plant materials: Properties of humic acid extracts. In: Soil organic matter studies, Ed. The international atomic energy agency, Vienna, 171-182.
- TAYLOR, B., WATSON, C., STOCKDALE, E., MCKINLAY, R., YOUNIE, D. & CRANSTOUN, D., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review, HGCA research review **45**.
- TONER, C., SPARKS, D. & CARSKI, T., 1989: Anion exchange chemistry of Middle Atlantic soils: charge properties and nitrate retention kinetics. Soil Science Society of America Journal **53** [4], 1061-1067.
- TRINSOUTROT, I., RECOUS, S., BENTZ, B., LINÈRES, M., CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B., 2000: Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. Soil Science Society of America Journal **64**, 918-926.
- VAN VEEN, J., LADD, J. & AMATO, M., 1985: Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [¹⁴C(U)]glucose and [¹⁵N](NH₄)₂SO₄ under different moisture regimes. Soil Biology and Biochemistry **17**, 747-756.
- WACHENDORF, M., BÜCHTER, M. & TAUBE, F., 2004: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. Grass and Forage Science **59** [1], 56-68.
- WALLGREN, B. & LINDÉN, B., 1991: Residual nitrogen effects of green manure crops and fallow. Swedish Journal of Agricultural Research **21**, 67-77.
- WATSON, C., FOWLER, S. & WILMAN, D., 1993: Soil inorganic-N and nitrate leaching on organic farms. Journal of Agricultural Science **120**, 361-369.
- WEBER, A., HEUWINKEL, H. & GUTSER, R., 2002: Emissionen N-haltiger Spurengase aus Klee gras-Beständen mit Schnitt- und Mulchnutzung. In: VDLUFA-Kongress, Leipzig, 92-93.
- WHITE, R., 1988: Leaching. In: Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems, Ed. J. Wilson, CAB International, Wallingford, 193-211.
- WHO, 1971: International Standards for Drinking Water, 3 edn., Geneva.
- WHO, 1978: Environmental Health Criteria 5 Nitrate, nitrites and N-nitroso compounds, World Health Organization, Geneva, 1-67.
- WIVSTAD, M., 1997: Plant morphology and content of nitrogen, cell wall and lignin at different phenological stages of red clover and yellow sweetclover. Swedish Journal of Agricultural Research **27**, 3-14.
- WIVSTAD, M., 1999: Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. Plant and Soil **208**, 21-31.

-
- WIVSTAD, M., SALOMONSSON, L. & SALOMONSSON, A., 1996: Effects of green manure, organic fertilizers and urea on yield and grain quality of spring wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica* **46**, 169-177.
- WOHLRAB, B., ERNSTBERGER, H., MEUSER, A. & SOKOLLEK, V., 1992: Landschaftswasserhaushalt, Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum. Veränderungen durch Bodenutzung, Wasserbau und Kulturtechnik, Verlag Paul Parey, Hamburg Berlin.
- WOLFINGER, R. D., 1993: Covariance Structure Selection in General Mixed Models. *Communications in Statistics, Simulation and Computation* **22** [4], 1079-1106.
- ZIOGAS, G., 1995: Geologie und Böden der Versuchsbetriebe Lindhof und Hohen-schulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Quartärgeologische und bodenkundliche Kartierung, Genese, Vergesellschaftung, Ökologie, Funktionen. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.

4.7 Anhang

Tab. A1: Einfluss der Versuchsfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin auf die Boden-N_{min}-Gehalte [kg N ha⁻¹] zu den Probenahmeterminen Oktober, November und März im Mittel der Untersuchungsperioden 2001/02 und 2002/03

Boden-N _{min} -Gehalte [kg N ha ⁻¹]			Kleegras-Nutzungssystem				SE / Sign.
Probenahmetermin	Umbruchtermin (Kultur)	Tiefe [cm]	3-Schnitte (S)	2-Schnitte+ 1x Mulchen (S+GD)	3x Mulchen (GD _{int.})	1x Mulchen (GD _{ext.})	
Oktober	Frühjahr (Kleegras)	0-30	18,86 ^b	25,74 ^{ab}	30,91 ^a	36,68 ^a	2,85 ***
		30-60	17,38 ^{bc}	13,69 ^c	21,90 ^{ab}	24,37 ^a	1,72 **
		60-90	5,18 ^b	6,75 ^{ab}	12,08 ^{ab}	14,50 ^a	2,37 *
November (Vegetationsende)	Frühjahr (Kleegras)	0-30	19,06 ^b	22,27 ^b	24,61 ^b	44,36 ^a	3,01 ***
		30-60	19,75 ^b	13,47 ^b	13,32 ^b	32,74 ^a	2,37 ***
		60-90	6,25 ^b	8,07 ^b	7,84 ^b	21,21 ^a	1,89 ***
	Herbst (Winterweizen)	0-30	27,07	25,44	25,67	31,78	3,01 ns
		30-60	24,83	30,47	30,28	30,82	2,37 ns
		60-90	13,62 ^b	14,65 ^b	19,15 ^{ab}	22,75 ^a	1,89 **
März (Vegetationsbeginn)	Frühjahr (Kleegras)	0-30	17,46	21,72	17,74	16,89	3,36 ns
		30-60	9,68	11,77	14,90	20,26	2,81 ns
		60-90	6,22 ^b	6,11 ^b	9,96 ^{ab}	13,57 ^a	1,52 **
	Herbst (Winterweizen)	0-30	19,25	15,30	20,14	19,68	3,36 ns
		30-60	19,30	19,72	20,75	19,53	2,81 ns
		60-90	15,75	15,17	18,31	16,83	1,52 ns

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test (Termin Oktober) bzw. Test of Effect Slices (Termine November bzw. März) (s. Tab. 5); multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 6: Vergleich der Nutzungssysteme innerhalb einer Bodentiefe und eines Probenahmetermins (slice= Umbruch*Probenahme)

Tab. A2: Einfluss der Hauptfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin (a) sowie deren Interaktion (b) auf die Nitrat-N-Fracht [kg NO₃-N ha⁻¹] im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03

Nitrat-N-Fracht [kg NO ₃ -N ha ⁻¹]	a) Hauptfaktoren		Nutzungssystem				Umbruchtermin	
			S	S+GD	GD _{int.}	GD _{ext.}	KG	HU
				11,81 ^b	20,44 ^{ab}	24,44 ^b	40,70 ^a	16,21
	SE / Sign. ¹⁾		2,40***				1,62***	
	b) Interaktion		Nutzungssystem				Sign. ²⁾	
			S	S+GD	GD _{int.}	GD _{ext.}		
	Umbruchtermin	KG	4,69 ^c	7,47 ^{bc}	15,55 ^b	37,13 ^a	***	
		HU	18,93 ^c	33,41 ^b	33,33 ^b	44,26 ^a	***	
Sign. ³⁾		**	***	***	ns	SE= 3,01		

KG= überwinterndes Kleegras, HU= Herbstumbruch; SE= Standardfehler, Sign.= ¹⁾Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5), ^{2) 3)}Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices; multipler Mittelwertvergleich ²⁾der Nutzungssysteme je Umbruchtermin (slice= Umbruchtermin) bzw. ³⁾der Umbruchtermine je Nutzungssystem (slice= Nutzungssystem) (vgl. Tab. 6)

Tab. A3: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Folgefucht für die Ertragsparameter der Klee-gras-Folgefucht Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003

Parameter	Folgefucht	Klee-gras-Nutzungssystem				Sign. ¹⁾
		S	S+GD	GD _{int.}	GD _{ext.}	
Kornertrag [dt ha ⁻¹]	Winterweizen	37,34	35,73	39,43	37,87	ns
	Sommerweizen	33,62	33,39	34,19	34,87	ns
	Sign. ²⁾	ns	ns	*	ns	SE= 1,73
Rp-Gehalt [%]	Winterweizen	10,72 ^{ab}	10,58 ^b	11,07 ^{ab}	11,21 ^a	*
	Sommerweizen	12,84 ^c	13,26 ^b	13,88 ^a	14,17 ^a	***
	Sign.	***	***	***	***	SE= 0,20
Korn-N [kg ha ⁻¹]	Winterweizen	70,00	66,28	76,39	74,34	ns
	Sommerweizen	75,75	76,56	82,08	85,53	ns
	Sign.	ns	ns	ns	*	SE= 4,25
Spross-N [kg ha ⁻¹]	Winterweizen	101,10	83,75	111,50	114,82	ns
	Sommerweizen	92,78 ^b	106,15 ^{ab}	124,20 ^{ab}	133,28 ^a	*
	Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 9,05
Ähren / m ²	Winterweizen	324,00 ^b	338,67 ^{ab}	386,67 ^a	369,33 ^{ab}	*
	Sommerweizen	284,00 ^b	323,33 ^{ab}	352,00 ^a	350,00 ^a	*
	Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 16,24
Körner / Ähre	Winterweizen	25,91	23,58	23,22	22,83	ns
	Sommerweizen	27,94 ^a	23,61 ^{ab}	20,39 ^b	22,29 ^{ab}	*
	Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 1,54
TKM [g]	Winterweizen	45,25	45,44	44,70	45,36	ns
	Sommerweizen	46,68	45,55	47,11	46,25	ns
	Sign.	ns	ns	*	ns	SE= 0,73
Harvest- Index	Winterweizen	0,38	0,39	0,37	0,35	ns
	Sommerweizen	0,43	0,38	0,34	0,35	ns
	Sign.	ns	ns	ns	ns	SE= 0,03

SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 5); multipler Mittelwertvergleich ¹⁾der Nutzungssysteme innerhalb einer Folgefucht (slice= Folgefucht, Buchstabenverteilung) bzw. ²⁾der Folgefuchte innerhalb eines Nutzungssystems (slice= Nutzungssystem) (vgl. Tab. 6)

Tab. A4: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Hauptfaktors Nutzungssystem im Mittel der Jahre 2001 und 2002 für die Jahres-Sprossmasse (TM), den Jahres-Kleeanteil und die Jahres-Spross-N-Menge von Rotklee-gras

a)	Varianz- ursache	potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse		
		TM	Kleeanteil	Spross-N-Menge
	j	5,95*	119,35***	34,03***
	sys	1,76ns	6,65**	18,51***
	j*sys	1,08ns	1,34ns	3,60*

b)	Nutzungs- system	potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse			geerntete Spross-N-Menge [g N m ⁻²]	flächengebundene Spross-N-Menge > 5 cm [g N m ⁻²]
		TM [g TM m ⁻²]	Kleeanteil [% d. TM]	N-Menge [g N m ⁻²]		
	S	1356,6	83,0 ^a	42,10 ^a	38,76	3,34
	S+GD	1315,8	82,5 ^a	40,20 ^a	28,40	11,76
	GD _{int.}	1274,8	77,0 ^b	39,65 ^a	-	39,65
	GD _{ext.}	1137,9	87,0 ^a	25,51 ^b	-	25,51
	SE / Sign.	71,6ns	1,6**	1,78***	/	/

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5), j= Jahr, sys= Nutzungssystem

b) SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test; multipler Mittelwertvergleich vgl. Tab. 6

Tab. A5: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Kleeanteil der Rotklee gras-Einzelaufwüchse und b) Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem* Aufwuchs für den Kleeanteil [% d. TM]

a)	Varianz- ursache	aufw	sys	j	aufw*sys	j*aufw	j*sys	j*aufw*sys
		18,93***	10,72***	35,35***	7,52***	11,04***	3,35*	0,78ns

b)	Kleeanteil [% d. TM]	Nutzungssystem	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs
		S	73,2	89,5	91,7	83,3 ^a
S+GD	73,2	89,5	91,7	53,5 ^b		
GD _{int.}	73,2	84,8	80,7	52,3 ^b		
GD _{ext.}		83,8		93,2 ^a		
SE / Sign.		2,6ns	3,1ns	3,4ns	5,8***	

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5), aufw.= Aufwuchs, j= Jahr, sys= Nutzungssystem

b) SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices; multipler Mittelwertvergleich der Nutzungssysteme innerhalb eines Aufwuchses (slice= Aufwuchs) (vgl. Tab. 6)

Kapitel 5

Generaldiskussion

General discussion

5 Generaldiskussion

5.1 Einleitung

Rotklee wird in Reinsaat oder im Gemenge mit Gras angebaut und hat als Futterleguminose eine große Bedeutung in der Wiederkäuerfütterung. In marktfruchtorientierten, ökologisch wirtschaftenden Betrieben sind Rotklee-Bestände häufig als Rotationsbrachen in die Fruchtfolge integriert und leisten über symbiotische N₂-Fixierung den Hauptinput an Stickstoff (N) in die Fruchtfolge. Bekannt ist, dass die übliche Nutzungsform der Brachen, das Mulchen, im Vergleich zur Schnittgutabfuhr, den Betriebs-N-Gewinn mindert. Neben einer reduzierten N₂-Fixierungsleistung (LOGES et al. 1999; HEUWINKEL 2001) führt das Mulchen zu zusätzlichen N-Verlusten in gasförmiger Form (HELMERT et al. 2003) bzw. durch Auswaschung mit dem Sickerwasser (RUHE et al. 2003). Generell werden als eine Folge des Umbruchs, unabhängig von der Klee-gras-Bewirtschaftungsform, aus den Ernterückständen hohe Mengen an N mineralisiert. Erfolgt der Umbruch im Herbst, unterliegt der mineralisierte N einem großen Auswaschungsrisiko mit dem Sickerwasser (HEß 1989). Als direkte Klee-gras-Folgefrucht wird insbesondere Weizen angebaut, da mit dieser Kulturart nach einer N-mehrenden Vorfrucht eine gute Marktleistung erzielt wird. Dennoch ist das realisierte Niveau des Kornertrages und Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehaltes im Vergleich zum derzeitigen Potential der Kulturart Weizen vergleichsweise gering (BRÜMMER & SEIBEL 1992; SPANAKAKIS 2000), da die N-Mineralisierung von organisch gebundenen N schwer zu steuern ist.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht eine vergleichende Analyse unterschiedlichster Rotklee-Bewirtschaftungen im Hinblick auf den N-Input durch die N₂-Fixierung und den N-Austrag mit dem Sickerwasser sowie die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen. Dabei wird geprüft, in wieweit eine Bewirtschaftung, die sich aus den klassischen Nutzungen ‚Schnittgutabfuhr‘ und ‚Mulchen‘ zusammensetzt, die negativen Wirkungen des alleinigen Mulchens mindern und sich positiv auf den N-Haushalt und die Ertragsleistung der Folgefrucht auswirken kann. In Kapitel 2 ist die Bedeutung der Bewirtschaftung von Rotklee-/Rotklee-gras-Beständen für die Sprossmasse-Produktivität und die N₂-Fixierungsleistung dokumentiert. Der Einfluss dieser Vorfrucht-Bestände auf die N-Verwertung und die Ertragsleistung der Folgefrucht Winterweizen wird in Verbindung mit einer organischen Düngung in

Kapitel 3 gezeigt. In Kapitel 4 wird die Bedeutung der Rotklee gras-Bewirtschaftung und des Umbruchzeitpunktes für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefrüchte Winter- und Sommerweizen dargestellt. Die zentralen Ergebnisse werden im folgenden kurz vorgestellt und ausgewählte Aspekte anschließend diskutiert:

Kapitel 2:

- In Rotklee- bzw. Rotklee gras-Beständen mindert GD (4x Mulchen) im Vergleich zu S (3-Schnitte + 1x Mulchen) und S+GD (2-Schnitte + 2x Mulchen) den Aufwuchs an potenziell erntbarer Biomasse und reduziert in den Gemengen den Kleeanteil.
- Durch die Schnittgutabfuhr der ersten beiden Aufwüchse in S+GD werden mehr als 2/3 der potenziell erntbaren Spross-TM- bzw. -N-Menge geerntet.
- Unter S und S+GD fixieren Rotklee-Reinsaaten höhere N_2 -Mengen als Klee gras-Gemenge, während unter GD kein Unterschied besteht. Für S und S+GD werden 260-425 kg ha^{-1} und für GD 65 kg N ha^{-1} fixierter N ermittelt.
- Zum Herbstumbruch sind die Boden- N_{min} -Gehalte unter den Rotklee-Reinsaaten gegenüber den Klee gras-Gemengen höher. Die N_{min} -Gehalte der Gemenge sind unbeeinflusst von der Nutzungsform, während die Rotklee-Reinsaat nach S+GD und GD höhere N_{min} -Gehalte aufweist als nach S.
- Der vereinfachte Flächenbilanzsaldo (N_2 -Fixierung - Spross-N-Abfuhr) ist für S negativ, während für S+GD und GD positive Werte erzielt werden.

Kapitel 3:

- Mit zunehmenden Grasanteil in der Saatmischung steigt das C:N-Verhältnis der Residuen an.
- Winterweizen nach Rotklee-Reinsaat und kleebetontem Gemenge erzielt gegenüber dem grasbetonten Gemenge einen höheren Kornertrag. Dagegen sind die Korn-Rp-Gehalte von Winterweizen nach den Gemengen gegenüber der Rotklee-Reinsaat erhöht.
- Der Kornertrag und die Korn-N-Menge von Winterweizen werden nicht von der Vorfruchtnutzung beeinflusst. Jedoch ist in der Interaktion mit der

Saatmischung der Kornertrag nach Rotklee-Reinsaat und kleebetontem Gemenge in S+GD höher als in GD.

- Die scheinbare Verwertung von residualem Leguminosen-N durch das Weizenkorn ist in den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S & S+GD) höher als nach GD.
- Die scheinbare Verwertung von Leguminosen-N und Gülle-N wird vom Termin der Güllegabe beeinflusst: eine späte Düngung führt zu einer besseren Verwertung von Leguminosen-N und Gülle-N.

Kapitel 4:

- Bei Klee gras-Überwinterung wird für S und S+GD unabhängig von der Sickerwassermenge (SW) eine geringe N-Fracht im Sickerwasser ermittelt, während in GD_{int.} und GD_{ext.} eine hohe SW zu hohen Nitrat-Frachten führt.
- Mehrmalig genutzte Klee gras-Bestände (S, S+GD und GD_{int.}), die überwintern, bewirken im Beobachtungszeitraum Nitrat-Konzentrationen [NO₃⁻] im Sickerwasser unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes.
- Der Herbstumbruch der Varianten S, S+GD und GD_{int.} führt zu einem deutlichen Anstieg der [NO₃⁻] im Sickerwasser und nur die Variante S ermöglicht die Einhaltung der EU-Grenzwertes. Unabhängig vom Umbruchtermin ist für GD_{ext.} die [NO₃⁻] im Sickerwasser am höchsten.
- Der Faktor Vorfruchtnutzung beeinflusst weder als Hauptfaktor noch in der Interaktion mit dem Umbruchtermin den Kornertrag der Folgefrucht Weizen
- Im Vergleich zu Sommerweizen erzielt Winterweizen einen höheren Kornertrag und einen geringeren Korn-Rp-Gehalt. Der Rp-Gehalt von Sommerweizen wird auf hohem Niveau von der Klee gras-Nutzung beeinflusst.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Rotklee-/Rotklee gras-Bestände eine hohe Sprossmasseproduktivität aufweisen (Kapitel 2). Durch die Schnittgutabfuhr von drei Aufwüchsen wird mit 145 dt TM ha⁻¹ vergleichbar viel bzw. mehr Trockenmasse geerntet, als in intensiv gedüngten Gras-Beständen des Ackerfutterbaus (KASKE 2000) bzw. auf Dauergrünland (TROTT et al. 2004). Dagegen sind die Kornerträge, die von Sommerweizen (34 dt TM ha⁻¹; Kapitel 4) und

Winterweizen (38 dt TM ha⁻¹ Kapitel 3 ; 38 dt TM ha⁻¹ Kapitel 4) nach Rotklee bzw. Rotklee gras erzielt werden, gegenüber dem Niveau des konventionellen Anbaus gering. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit einer Studie von NIEBERG & SCHULZE-PALS (1996), nach der die Umstellung zum Ökologischen Landbau im Bereich des Milchvieh-Futterbaus zu einer geringeren Reduktion der Produktivität führt als im Getreideanbau (NIEBERG & SCHULZE-PALS 1996). Von den Klee gras-Gemengen können mit der Sprossmasseabfuhr von drei (S) bzw. von zwei (S+GD) Hauptaufwüchsen 360 kg N ha⁻¹ bzw. 250 kg N ha⁻¹ geerntet (Kapitel 2) und einer Verwertung zugeführt werden. Nach einer Verfütterung wären rund 220 bzw. 160 kg N ha⁻¹ in Form von Wirtschaftsdünger verfügbar, wenn die N-Verluste durch das Tier mit 20% (VAN VUUREN & MEIJS 1987; JARVIS 1992) und durch die Lagerung mit 20-30% (LAEGREID et al. 1999; BERG et al. 2002) berücksichtigt würden. Die auf dieser Kalkulationsbasis ermittelte Wirtschaftsdünger-N-Menge übersteigt die im Ökologischen Landbau zugelassene Höchstmenge, die auf EU-Ebene im Rahmen der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 bis zu 170 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (ANONYM 1991) bzw. auf Verbandsebene bis zu 112 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (ANONYM 2004) beträgt. Der Verkauf von überzähligem Wirtschaftsdünger an ökologische Ackerbaubetriebe, die unter N-limitierten Produktionsbedingungen wirtschaften, kann somit eine zusätzliche finanzielle Einnahmequelle bieten.

5.2 N₂-Fixierung und N-Bilanzsaldo

Im Vergleich zu den Rotklee/Rotklee gras-Beständen mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) erzielen die gemulchten Bestände (GD) eine geringere N-Akkumulation in der Jahressprossmasse (Kapitel 2). Die Reduktion in der Spross-N-Menge ist jedoch nicht so ausgeprägt, wie die Abnahme der N₂-Fixierungsleistung. So ist die N-Menge in der Jahressprossmasse der Gründüngung (GD) gegenüber den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) für die Klee gras-Gemenge um 80-90 kg N ha⁻¹ und für die Rotklee-Reinsaat um 35-44 kg N ha⁻¹ verringert. Dagegen ist die N₂-Fixierungsleistung für GD im Vergleich zur Schnittgutabfuhr (S und S+GD) in den Gemengen um 190-280 kg N ha⁻¹ und in der Rotklee-Reinsaat um 300-360 kg N ha⁻¹ erniedrigt (Kapitel 2). Dieses Ergebnis zeigt in Konsistenz mit FRAME (1976), dass der während der Vegetation aus Mulch freigesetzte N sich negativ auf die Neufixierung der Folgeaufwüchse auswirkt. Darüber hinaus führt mehrmaliges

Mulchen (GD: 4x Mulchen) in den Gemengen zu einer Abnahme des Kleeanteils (Kapitel 2). Der aus dem Mulch freiwerdende N fördert somit insbesondere das Graswachstum, da Gras im Vergleich zu Klee ein besseres N-Aneignungsvermögen besitzt (HØGH-JENSEN et al. 1997) und es kommt durch die zunehmende Konkurrenz um Wachstumsfaktoren zur Verdrängung des Klees. Folglich erweist sich der N-Input durch N₂-Fixierung von ausschließlich gemulchten Rotklee-/Rotklee-Beständen als deutlich verringert. Die Abnahme der N₂-Fixierung ist im Vergleich zu LOGES & HEUWINKEL (2004), die eine Absenkung der Fixierungsleistung mit bis zu 45% angeben, wesentlich ausgeprägter.

Neben dem N-Input, der durch Klee-Bestände in der Hauptfruchtstellung erfolgt, besteht auch die Möglichkeit, N durch Untersaaten von Leguminosen in Getreidebestände bzw. durch N₂-fixierende Winterzwischenfrüchte in die Fruchtfolge einzubringen. Jedoch ist die fixierte N-Menge aufgrund der kürzeren Wachstumszeit deutlich geringer. So ermitteln BECKER & LEITHOLD (2003) im Aufwuchs eines Untersaatgemenges aus verschiedenen Kleearten (Inkarnat-, Perser-, Schweden- und Weißklee) und Luzerne zur Ernte der Getreidedeckfrucht 29-39 kg N ha⁻¹. Dagegen wird z.B. für die Rotklee/Rotkleeegras-Bestände nach Schnittgutabfuhr (S, S+GD) im Oktober eine Residuen-N-Menge von 115-150 kg ha⁻¹ ermittelt (Kapitel 3 & 4). Bei Untersaaten besteht jedoch die Gefahr, dass die Entwicklung der Deckfrucht beeinträchtigt wird und den Kornertrag reduziert (BERGKVIST 2003). Eine Alternative zur Untersaat bietet der Anbau von Winterweizen in einen etablierten Weißklee-Bestand („Bicropping“), der in der oberirdischen Biomasse bis zu 150 kg N ha⁻¹ akkumulieren kann (NEUMANN 2005). In der Regel liefert jedoch ein überjähriger bis mehrjähriger Klee-/Kleeegras-Bestand in der Hauptfruchtstellung den Großteil an N für eine Fruchtfolge (TAYLOR et al. 2001). Für Betriebe, die keine Verwertungsmöglichkeit für den Kleeaufwuchs durch z.B. Verfütterung oder Biogasanlagen erschließen können, stellt das Kleeegras ein nicht marktfähiges Fruchtfolgeglied dar (WECHSELHUBER et al. 1999). Da neben dem entgangenen finanziellen Nutzen mit der Ansaat und Pflege der Bestände auch Unkosten entstehen, ist es das oberste Ziel, den N-Input im Jahr der Brache zu maximieren. Für die Gründüngung (GD) zeigt der einfache N-Flächenbilanzsaldo (N₂-Fixierung – Sprossabfuhr) im Hauptnutzungsjahr des Rotklee-/Rotkleeegras-Bestandes einen deutlich positiven Wert +65 kg N ha⁻¹, während sich für S+GD ein N-Saldo von +18 bzw. für S mit -22 kg N ha⁻¹ ein negativer Wert ergibt (Kapitel 2). Vor dem

Hintergrund der N-Versorgung nachfolgender Marktfrüchte sollte jedoch die ganze Fruchtfolge in die Bilanzierung einbezogen werden (SCHMIDT & LEITHOLD 2004). Im Rahmen dieser Untersuchung kann ein ‚erweiterter‘ N-Bilanzsaldo aus den Untersuchungsergebnissen der Kapitel 2 & 3 für den Fruchtfolgeausschnitt ‚Kleegras-Winterweizen‘ erstellt werden: Für den Bilanzierungsansatz werden nur die Winterweizen-Varianten herangezogen, die nach Rotklee bzw. Rotklee gras angebaut wurden und keine organische Düngung erhielten, denn praxisüblich wird Winterweizen nach Gründüngung keine Gölledüngung zugeführt. Dieser Winterweizen erzielte im 2-jährigen Mittel eine Korn-N-Menge von 62 kg N ha⁻¹.

Der ‚erweiterte‘ N-Bilanzsaldo ergibt sich aus dem N-Input durch die N₂-Fixierung des Rotklee abzüglich des N-Exportes aus dem Verkauf von Winterweizenkorn:

$N\text{-Saldo}_{\text{erw.}} [g N m^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gölle}}$. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo zeigen, dass die Prüffaktoren Saatmischung und Nutzungssystem sowohl in der Hauptfaktorwirkung als auch in ihrer Interaktion einen signifikanten Einfluss ausüben (Tab. 1 & Abb. 1).

Tab. 1: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung der Hauptfaktoren Saatmischung und Nutzungssystem für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo im Fruchtfolgeausschnitt ‚Rotklee/Rotklee gras – Winterweizen (N₀)‘ (N₀ = ohne Gölledüngung): $N_{\text{erw. Saldo}} [g N m^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gölle}}$

a) Source of variance and level of significances for farm-N-balance and b) effect of grass-red clover mixture and defoliation system on the ‘extended’ N-balance: $N\text{-balance}_{\text{ext.}} [g N m^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{grain-N}$ (winter wheat treatments without organic manure)

a)	Varianzursache	jahr	sys	jahr*sys	mi	jahr*mi	sys*mi	jahr*sys*mi
		0,13ns	231,34***	1,65ns	12,11***	0,02ns	7,06***	1,95ns

b)	N _{erw.} -Saldo [g N m ⁻²]	Saatmischung			Nutzungssystem		
		100% RK	67% RK + 33% DW	33% RK + 67% DW	S	S+GD	GD
		21,99 ^a	16,87 ^b	15,69 ^b	30,96 ^a	23,13 ^b	0,46 ^c
SE / Sign.		1,12***			1,16***		

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test mit ns: nicht signifikant (P ≥ 5%), *: signifikant (5% > P ≥ 1%), **: hoch signifikant (1% > P ≥ 0,1), ***: höchst signifikant (P < 0,1%); mi= Saatmischung; sys= Nutzungssystem; j= Jahr; b) SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveaus aus dem F-Test; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) mit Korrektur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten nach Bonferroni-Holm, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit P < 5%

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gründüngung (GD), die sich zuvor in der vereinfachten Flächenbilanz als deutlich positiv erwies (Kapitel 2), unter Einbeziehung der direkten Folgefrucht aus Kapitel 3 keinen Vorzug mehr bietet. In der Gründüngung (GD) wird durch den Rotklee eine N-Menge fixiert, die lediglich dem Korn-N-Entzug der direkten Folgefrucht Winterweizen entspricht, während in

den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) ein ausgesprochen positiver N-Bilanzsaldo erzielt wird. Demzufolge können Rotklee-/Rotklee gras-Bestände, die schnittgenutzt werden, über die direkte Folgefrucht hinaus N bereitstellen. Dagegen muss in Fruchtfolgen mit ausschließlich gemulchten Beständen der N-Pool nach der direkten Folgefrucht entweder über N_2 -fixierende Untersaaten bzw. Zwischenfrüchte oder den N-Zukauf ergänzt werden. Im Hinblick auf die Betriebswirtschaftlichkeit sollte daher von Rotklee/Rotklee gras-Beständen eine Schnittgutabfuhr erfolgen, um das Potential der N_2 -Fixierung höchstmöglich auszuschöpfen. An dieser Stelle zeigt sich der Vorteil eines Gemischtbetriebes, der mit den Produktionszweigen Ackerbau und Tierhaltung den Vorzug der Schnittgutabfuhr nutzen kann. Neben der futterbaulich ausgerichteten 3-Schnittnutzung (S) wirkt sich auch die Teil-Schnittgutabfuhr, wie sie in dem Nutzungssystem S+GD geprüft ist, außerordentlich positiv auf den direkten N-Input und den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo aus. Die Ergebnisse dokumentieren, dass schon durch die Abfuhr der ersten beiden Aufwüchse (S+GD) ein hoher $N\text{-Saldo}_{\text{erw.}}$ von +200-300 kg N ha⁻¹ erzielt wird. Betriebe, die ohne eigene Viehhaltung wirtschaften, könnten in der Kooperation mit viehhaltenden Betrieben bzw. durch die Aufwuchsverwertung in Biogasanlagen nach der Rücknahme äquivalenter N-Düngermengen den durch Schnittgutabfuhr gesteigerten N-Input nutzbar machen.

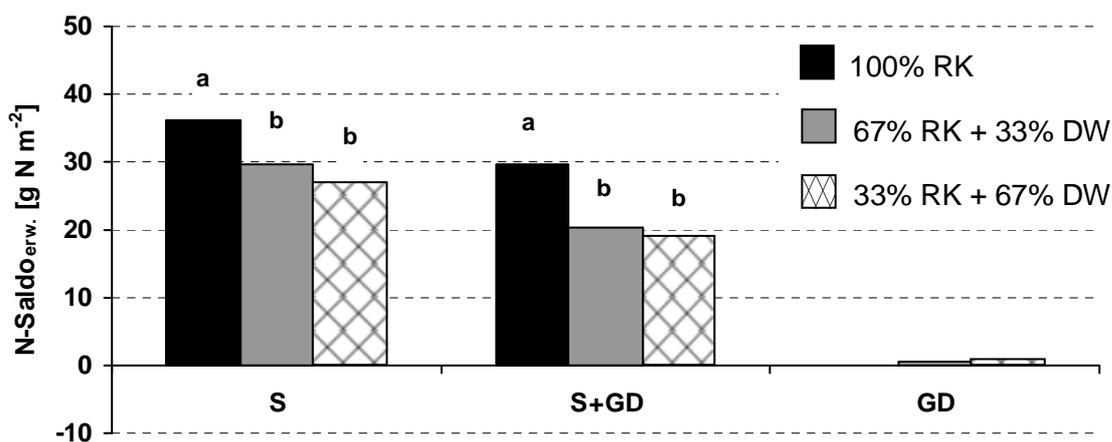


Abb. 1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo ($N\text{-Saldo}_{\text{erw.}} [g N m^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}}$) ($P = 0,0005$, $SE = 1,64$); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) für jedes Nutzungssystem, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $P < 5\%$

*Effect of interaction grass-clover seed-mixture*defoliation system on the ‘extended’ N-balance: $N\text{-balance}_{\text{ext.}} [g N m^{-2}] = N_{\text{fix.}} - \text{grain-N}$ (winter wheat treatments without organic manure), ($P = 0.0005$, $SE = 1.64$); comparison of mean values (T-Test) within defoliation system, bars with different letters are significantly different at $P < 5\%$*

5.3 Bedeutung der Vorrucht-Saatmischung für die Nitrat-Auswaschung

Von den geprüften Saatmischungen fixiert Rotklee in Reinsaat im Vergleich zum Gemengeanbau in den Nutzungssystemen S und S+GD um 70 bzw. 100 kg ha⁻¹ mehr N. Jedoch wird in der Rotklee-Reinsaat der N, der während der Vegetation freigesetzt wird, nicht vom Gemengepartner abgeschöpft und bis zum Herbstumbruch kommt es zu einer ungenutzten, erhöhten Akkumulation von mineralischem N im Boden (Kapitel 2). Im Vergleich zur Rotklee-Reinsaat erweisen sich die Gemenge als wirkungsvoller N-Speicher und unabhängig vom Nutzungssystem ist der Boden-N_{min}-Gehalt zum Herbstumbruch signifikant niedriger. Dieses Ergebnis bestätigt die von LOGES & HEUWINKEL (2004) beschriebene N-konservierende Wirkung der Graskomponente in Klee-gras-Gemengen. Obwohl die Rotklee-Reinsaat einen höheren N-Input durch die N₂-Fixierung liefert, ist für diesen Bestand im Vergleich zu den Gemengen, in Anlehnung an Kapitel 4, von höheren N-Verlusten durch die Auswaschung auszugehen. Denn neben dem erhöhten Boden-N_{min}-Gehalt ist die Umsetzbarkeit der Residuen aus der Rotklee-Reinsaat im Vergleich zu den Gemengen sehr hoch (Kapitel 3) und zusätzlich ist für den reinen Rotklee eine hohe Akkumulation niedermolekularer N-Verbindungen anzunehmen (HØGH-JENSEN & SCHJØERRING 2001). An dieser Stelle kann ein Vergleich zwischen der Rotklee-Reinsaat aus dem Kapitel 3 und dem einmal gemulchten Rotklee-gras-Bestand (GD_{ext.}) aus Kapitel 4 gezogen werden: Aus dem Rotklee-gras der extensiv bewirtschaftete Gründüngung (Kapitel 4) wurde der Graspartner verdrängt und der Bestand entwickelte sich nahezu zu einem Rotklee-Reinbestand. Diese Beobachtung machte auch KASKE (2000) für 2x gemulchte Bestände. In der vorliegenden Untersuchung bewirkte der Bestand GD_{ext.} das höchste Vorkommen an Nitrat im Sickerwasser. Dagegen wiesen die mehrmalig bewirtschafteten Bestände S, S+GD und GD_{int.} im letzten Aufwuchs einen deutlich höheren Grasanteil auf und verursachten signifikant weniger N im Sickerwasser. Der Vergleich der „reinen“ Rotklee-Bestände aus Kapitel 3 und 4 unterliegt jedoch der Einschränkung, dass die vorherige Nutzungsintensität unterschiedlich war. Die Rotklee-Reinsaat aus Kapitel 3 unterlag einer häufigeren Bewirtschaftung und hatte zum Herbstumbruch eine wesentlich geringere Akkumulation an Rotklee-Biomasse als der Rotklee(gras)-Bestand aus Kapitel 4.

Vor diesem Hintergrund sollte auf einem N-austragsgefährdeten Standort die Aussaat von Rotklee immer im Gemenge mit Gras erfolgen, das in der

Bestandesentwicklung nicht durch den Klee verdrängt werden darf. In Anlehnung an Kapitel 4 würde die N-Auswaschung unter einer Rotklee-Reinsaat auch nicht durch die Verschiebung des Umbruchzeitpunktes ins Frühjahr gemindert werden. Während einmaliges Mulchen zu einer Verringerung des Grasanteils führt (Kapitel 4), erfolgt durch viermaliges Mulchen eine Verdrängung des Rotklee (Kapitel 2), und damit, wie bereits diskutiert, zu einer Minderung des N-Inputs. Dennoch ist gerade für Betriebe, die für den Klee gras-Aufwuchs keine Verwertungsmöglichkeit erschließen können, von Bedeutung, dass im Vergleich zu den einmal gemulchten die mehrmalig gemulchten Klee gras-Bestände eine wesentlich niedrigere N-Fracht im Sickerwasser erzeugen, wenn der Umbruch nicht im Herbst sondern erst im Frühjahr erfolgt (Kapitel 4). Für die dreimal gemulchten ($GD_{int.}$), überwinternden Rotklee gras-Bestände wird sogar eine Nitrat-Konzentration im Sickerwasser ermittelt, die unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes liegt. Der Sommerweizen, der auf dreimal gemulchtes und im Frühjahr umgebrochenes Rotklee gras folgt, zeichnet sich durch einen sehr hohen Korn-Rp-Gehalt aus. Der Rp-Gehalt ist mit 13,9% gegenüber der 3-Schnittnutzung (S) bzw. Teil-Schnittgutabfuhr (S+GD) um 1,1 bzw. 0,6%-Punkte signifikant erhöht. Im Zusammenhang mit der N-Austragsproblematik muss auch die Sickerwasserperiode betrachtet werden, die sich der Klee gras-Folgefrucht anschließt (HEß 1989). Eigene Untersuchungsergebnisse zeigen, dass in dieser Sickerwasserperiode die N-Austräge nach Sommerweizen höher sein können, als nach Winterweizen (DREYMANN et al. 2003). Indessen kann der N-Austrag nach Sommer- und Winterweizen durch den Anbau von Gelbsenf als Zwischenfrucht effektiv reduziert werden (DREYMANN et al. 2003).

Abschließend lässt sich festhalten, dass im Falle des mehrmaligen Mulchens und anschließender Überwinterung von Klee gras der N-Austrag mit dem Sickerwasser vergleichsweise niedrig gehalten werden kann. Zu berücksichtigen ist aber, dass der N-Input über die N_2 -Fixierung in den Betrieb sehr gering ist und die N-Versorgung ab der zweiten Folgefrucht durch andere Maßnahmen (z.B. Untersaaten, N-Zukauf) erfolgen muss. Der Zukauf von organischen N-Düngemitteln ist im Ökologischen Landbau nach EU-Standard nur wenig limitiert, während er nach Verbandsstandard mit maximal $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ begrenzt ist. Jedoch belastet jede weitere Maßnahme, die den N-Input in den Betrieb erhöht, die Wirtschaftlichkeit und bestätigt damit die Vorzüglichkeit hochproduktiv N_2 -fixierender Rotklee gras-Bestände. Von übergeordneter Bedeutung ist, dass Gras als Gemengepartner mit dem Rotklee

angesät und durch die Bewirtschaftungsform sichergestellt werden muss, da Gras den ungenutzten N bis zum Bestandesumbruch aufnimmt. Zusätzlich wird durch die verzögerte Umsetzbarkeit der Rotklee-Gras-Residuen nach einem Herbstumbruch der N-Austrag mit dem Sickerwasser verringert (Kapitel 4) und gleichzeitig der Korn-Rp-Gehalt von Winterweizen erhöht (Kapitel 3).

5.4 Vorfruchtwert von Rotklee/Rotklee-Gras im Vergleich zu Körnererbsen

Im Kapitel 3 wird die Ertragsleistung von Winterweizen nach Rotklee/Gras vorgestellt. In den beiden Versuchsjahren wurden sehr unterschiedliche Ertragsniveaus erzielt: Im Jahr 1999 bzw. 2000 wurde ein Kornertrag von 28,2 bzw. 41,7 dt TM ha⁻¹ mit einer Korn-N-Menge von 50,2 bzw. 71,6 kg N ha⁻¹ geerntet. Unter gleichen Versuchsbedingungen (Standort, Sorte, organische Düngung) ermittelten WICHMANN et al. (2003) in den Jahren 1999 und 2000 nach Körnererbsen-Vorfrucht einen Winterweizenkornertrag von 28,6 bzw. 30,0 dt TM ha⁻¹ mit einer Korn-N-Menge von 37,5 bzw. 43,9 kg N ha⁻¹. Obwohl sich im Jahr 1999 die Winterweizen-Bestände unter schlechten Witterungsverhältnissen entwickelten, enthält das Winterweizenkorn nach Rotklee/Gras-Vorfrucht eine höhere N-Menge als nach Körnererbsen-Vorfrucht. Zudem wurde nach der Körnererbsenernte 1998 eine hohe Menge an Ausfallerbse ermittelt, deren N-Mengen für das Weizenkorn wirkungslos blieben. Im Versuchsjahr 2000 ist die Korn-TM und die Korn-N-Menge von Winterweizen nach Rotklee/Gras-Vorfrucht um 11,7 dt TM ha⁻¹ bzw. 28 kg N ha⁻¹ höher als nach Körnererbsen. Aus diesem zweijährigen Vergleich kann für Rotklee/Gras-Bestände ein höherer Vorfruchtwert abgeleitet werden als für Körnererbsen-Bestände. Der geringere Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im Vergleich zu Klee-Gras-Beständen hinsichtlich der N-Versorgung des folgenden Winterweizens begründet sich einerseits in geringeren Ernterückstands-N-Mengen, die auf niedrigere N-Gehalte (KUMAR et al. 2001) bzw. geringere N₂-Fixierungsleistungen (REITER et al. 2002) in Verbindung mit einem hohen Harvest-Index (LEDGRAD 2001; WICHMANN et al. 2003) zurückgeführt werden können. Andererseits kommt es nach der Ernte von Körnerleguminosen frühzeitig im August bzw. September zur Freisetzung erhöhter N-Mengen (MAYER et al. 2004; MAIDL et al. 2005), während aus Klee-Gras-Beständen erst nach Umbruch und in der Folgefruchtperiode erhöhte N-Mengen mineralisiert werden (LINDEN & WALLGREN 1993).

5.5 Vergleich unterschiedlicher Ansätze zur Berechnung der Sickerwassermenge

Die Sickerwassermenge leitet sich nach DVWK (1996) aus der klimatischen Wasserbilanz ab (Niederschlag (ND) minus potenzielle Evapotranspiration (ETp)). Für die Berechnung der Sickerwassermenge in Kapitel 4 wurden Witterungsdaten verwendet, die von der ca. 20 km entfernten Messstation des Deutschen Wetterdienstes Kiel-Holtenau stammen und die ETp wurde nach HAUDE (1955) ermittelt. Im folgenden Ansatz werden zur Berechnung der Sickerwassermenge Verdunstungsdaten einbezogen, die aus den Witterungs- und Bodendaten des Untersuchungsstandortes Lindhof abgeleitet sind. Dabei wird die ETp nach dem Turc/Wendling Verfahren berechnet (WENDLING et al. 1991), das den Einfluss küstennaher Klimaverhältnisse (Windgeschwindigkeit, Strahlung) durch einen Küstenfaktor berücksichtigt. Die Bestandesevapotranspiration (aktuelle bzw. reale Evapotranspiration ETa) wird mit einer Reduktionsfunktion nach WENDLING et al. (1984) unter der Einbeziehung von spezifischen Bestandeskoeffizienten (DVWK 1996) ermittelt. Durch die Bestandeskoeffizienten wird berücksichtigt, dass sich die unterschiedliche Bodenbedeckung auf die Verdunstung auswirkt. Unter der Annahme, dass die Verdunstung von mit Pflanzen bedecktem Boden höher ist als von unbedecktem (gepflügten) Boden, werden in der Berechnung der ETa folgende Koeffizienten einbezogen: $k_{\text{Kleegras}} = 1,0$ und $k_{\text{Winterweizen}} = 0,4$ (DVWK 1996). Analog zu Kapitel 4 wurde die Berechnung der Sickerwassermenge ab dem Zeitpunkt begonnen, an dem Sickerwasser in den Auffanggefäßen auftrat, unter der Annahme, dass die Feldkapazität des Bodens erreicht ist. Aus diesem Berechnungsansatz ergeben sich unterschiedliche Sickerwassermengen für die überwinterten Kleegras-Bestände (KG) und die gepflügten, mit Winterweizen bestellten Bestände (WW) (Tab. 2). Im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03 beträgt die Sickerwassermenge unter KG 205 mm und unter WW 238 mm. Der Vergleich in Tabelle 2 zeigt, dass die absoluten Unterschiede der ermittelten Sickerwassermengen nach ‚Haude‘ (Kapitel 4) und ‚Wendling‘ gering sind. Auch die Berücksichtigung von Bestandeskoeffizienten wirkt sich im betrachteten Zeitraum nicht wesentlich auf die Sickerwassermengen aus. Dieses Ergebnisses steht im Einklang mit einer Untersuchung von KOCH (1997), in der die Unterschiede in der kalkulierten Sickerwassermenge für verschiedene Bestände (Winterweizen, Luzerne, Ölrettich und Selbstbegrünung) nur gering waren.

In Kapitel 4 beträgt die mittlere NO₃-N-Fracht für KG 16,2 und für WW 32,5 kg N ha⁻¹. Dagegen sind die in Tabelle 3 vorgestellten Werte für KG mit 15,2 etwas geringer bzw. für WW mit 35,3 kg N ha⁻¹ etwas höher. Durch die Berücksichtigung der Koeffizienten werden für KG und WW auch unterschiedlich hohe kritische NO₃-N-Frachten ermittelt (Tab. 2), die aber kaum eine Veränderung zu den in Kapitel 4 diskutierten Ergebnissen bewirken (Abb. 2).

Tab. 2: Vergleich unterschiedlich berechneter Sickerwassermengen [mm] aus den Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03

Comparison of different calculated amounts of leachate [mm] in the leaching periods 2001/02 and 2002/03

Ermittlung der ETp bzw. ETa	nach HAUDE (1955) (Kapitel 4)		nach WENDLING et al. (1984) & (1991) unter Berücksichtigung von Bestandeskoeffizienten			
	2001/02	2002/03	KG		HU	
SWP			2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
Sickerwassermenge [mm]	286	154	273	137	310	165
∅	220		205		238	
kritische NO ₃ -N-Fracht [kg N ha ⁻¹]	24,8		23,2		26,9	

ETp bzw. ETa: potentielle bzw. aktuelle Evapotranspiration, KG= überwinterndes Klee gras, HU= Klee gras-Herbstumbruch mit Winterweizen

Tab. 3: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus), b) Einfluss der Hauptfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin und c) Einfluss der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin auf die kumulierte Nitrat-N-Fracht [kg NO₃-N ha⁻¹] im Sickerwasser im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03

*a) Source of variance and level of significances for accumulated nitrate-N load [kg NO₃-N ha⁻¹], b) effect of defoliation system and date of ploughing and c) effect of defoliation system*date of ploughing interaction on accumulated nitrate-N load [kg NO₃-N ha⁻¹], average of leaching periods 2001/02 and 2002/03*

a)	Varianzursache	jahr	sys	jahr*sys	umbr	jahr*umbr	sys*umbr	jahr*sys*umbr
		56,43***	24,18***	10,11***	89,27***	4,93ns	3,62*	2,21ns

b)	Hauptfaktoren	Klee gras-Nutzungssystem				Umbruchtermin		N-Fracht [kg NO ₃ -N ha ⁻¹]
		S	S+GD	GD _{int.}	GD _{ext.}	KG	HU	
		12,51 ^c	21,55 ^b	25,49 ^b	41,46 ^a	15,21	35,29	
SE / Sign. ¹⁾		2,51***				1,70***		

c)	Interaktion	Klee gras-Nutzungssystem				SE	N-Fracht [kg NO ₃ -N ha ⁻¹]
		S	S+GD	GD _{int.}	GD _{ext.}		
		UMBRUCHTERMIN	KG	4,35 ^b	6,87 ^b		
	HU	20,66 ^c	36,23 ^b	36,39 ^b	47,88 ^a		
Sign. ²⁾		***	***	***	**		

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 1), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, umbr= Umbruchtermin; b) und c) S: 3-Schnitte, S+GD: 2-Schnitte + 1x Mulchen, GD_{int.}: 3x Mulchen, GD_{ext.}: 1x Mulchen, KG= überwinterndes Klee gras, HU= Klee gras-Herbstumbruch mit Winterweizen, SE= Standardfehler, Sign.= ¹⁾Signifikanzniveaus aus dem F-Test bzw. ²⁾aus dem Test of Effect Slices: multipler Mittelwertvergleich (T-Test) (s. Tab. 1), ²⁾Vergleich der Umbruchtermine je Nutzungssystem (slice= Nutzungssystem)

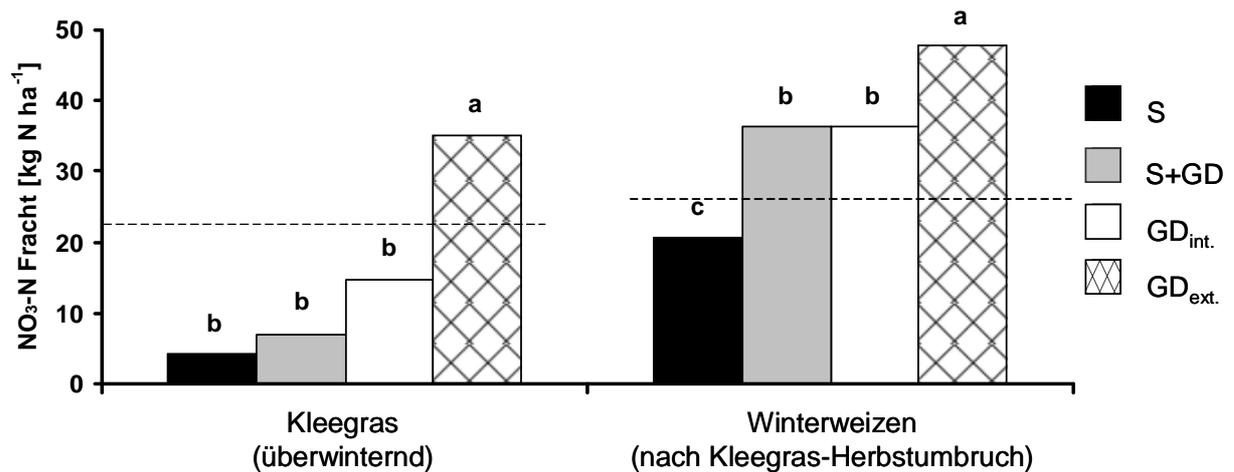


Abb. 2: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die NO₃-N-Fracht [kg N ha⁻¹] im Sickerwasser ($P=0,0482$, $SE=3,18$) im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Umbruchtermins

*Impact of defoliation system*date of ploughing interaction on nitrate-N load [kg NO₃-N ha⁻¹] in the leachate ($P=0.0482$, $SE=3.18$), average of leaching periods 2001/02 and 2002/03, comparison of mean values (T-Test) within date of ploughing*

5.6 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Variation der Rotklee/Rotklee gras-Bewirtschaftung nur einen geringen Effekt auf die Ertragsleistung der direkten Folgefrucht Weizen ausübt, während der N-Haushalt erheblich beeinflusst wird. Die Schnittgutabfuhr von Rotklee/Rotklee gras führt im Vergleich zum Abschlegeln und auf der Fläche belassen („Mulchen“) zu einer überaus hohen Steigerung der N₂-Fixierung. Für viehlos wirtschaftende Betriebe ist von Bedeutung, dass schon die Abfuhr von Teilmengen des Aufwuchses, die im kombinierten Nutzungssystem (Schnitt *und* Mulchen) geprüft wurde, den N-Input beachtlich erhöht, während ausschließlich gemulchte Bestände lediglich N-Mengen fixieren, die dem N-Entzug der direkten Folgefrucht Winterweizen entsprechen. Betriebe, die eine Verwertung des Aufwuchses erschließen können, erhalten mit dem erhöhten N-Input eine flexibel einsetzbare N-Düngerquelle, die in Form von Gülle den Kornertrag und den Rp-Gehalt von Winterweizen erhöht. Im Hinblick auf die Nitrat-Auswaschung bewirkt die kombinierte Nutzungsform gegenüber den ausschließlich gemulchten Beständen eine Reduzierung: in Bezug auf die einmal gemulchten, rotklee dominierten Bestände ist dieser Effekt für beide Umbruchvarianten festzustellen, in Bezug auf die dreimal gemulchten Klee gras-Beständen wird eine Minderung der Nitrat-Auswaschung bei der Klee gras-Überwinterung ermittelt.

Vor dem Hintergrund des EU-Trinkwassergrenzwertes kann ein Umbruch von Klee gras im Herbst erfolgen, wenn in der vorherigen Nutzung auf Mulchen verzichtet und der Klee gras-Aufwuchs durch eine Schnittgutabfuhr von der Fläche entfernt wird. Für marktfruktorientierte Betriebe, die sich keine Aufwuchsverwertung erschließen können, ist von Bedeutung, dass auch gemulchte überwinternde Klee gras-Bestände zu Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser unterhalb des EU-Grenzwertes führen, wenn der Gemengepartner Gras auch während der Sickerwasserperiode im Bestand etabliert ist.

5.7 Literaturverzeichnis

- ANONYM, 1991: Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24.06.1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 198.
- ANONYM, 2004: Bioland-Richtlinien Pflanzenbau Tierhaltung Verarbeitung 27. April 2004, Hrsg. Bioland e.V. Verband für organisch-biologischen Landbau, 1-44.
- BECKER, K. & LEITHOLD, G., 2003: Praxiseinführung des Anbaukonzeptes Weite Reihe unter besonderer Berücksichtigung des Qualitätsaspektes bei Backweizen im Ökologischen Landbau, Giessen [online] vom 13.02.2005: URL: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1157/>.
- BERG, M., HÖRNIG, G. & WANKA, U., 2002: Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung von Fest- und Flüssigmist sowie Minderungsmaßnahmen. In: Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen, Hrsg. Umweltbundesamt & KTBL, 151-162.
- BERGKVIST, B., 2003: Perennial clovers and ryegrasses as understorey crops in cereals. Dissertation, Department of Ecology and Crop Production Science, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
- BRÜMMER, J.-M. & SEIBEL, W., 1992: Extensivierter Weizenanbau und seine Auswirkungen auf Verarbeitungseigenschaften und Gebäckqualität. Getreide, Mehl & Brot: technologische Zeitschrift für Getreide, Mehl und Backwaren **46** [6], 187-191.
- DREYMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Einfluss der Klee gras-Nutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **15**, 83-86.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Hrsg. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.(DVWK) Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- FRAME, J., 1976: The potential of tetraploid red clover and its role in the United Kingdom. Journal of British Grassland Society **31**, 139-152.
- HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes **11** [2], 1-24.
- HELMERT, M., HEUWINKEL, H., GUTSER, R. & SCHMIDHALTER, U., 2003: Verändert Mulchen von Klee gras die N-Flüsse in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus? In: Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 47. Jahrestagung 28.-30. August 2003 in Braunschweig, 79-82.
- HEß, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras - Klee gras - Weizen - Roggen. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

- HEUWINKEL, H., 2001: N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. In: Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 6.-8. März 2001 Freising-Weißenstephan, Hrsg. H. J. Reents, 183-186.
- HØGH-JENSEN, H. & SCHJØERRING, J. K., 2001: Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry* **33**, 439-448.
- HØGH-JENSEN, H., WOLLENWEBER, B. & SCHJØERRING, J. K., 1997: Kinetics of nitrate and ammonium absorption and accompanying H⁺ fluxes in roots of *Lolium perenne* L. and N₂ fixing *Trifolium repens* L. . *Plant, Cell and Environment* **20**, 1184-1193.
- JARVIS, S. C., 1992: Grazed grassland management and nitrogen losses: an overview. In: Nitrate and Farming Systems, Ed. J. R. Archer, K. W. T. Goulding, S. C. Jarvis, C. M. Knott, E. Lord, S. E. Ogilvy, J. Orson, K. A. Smith & B. Wilson, *Aspects of Applied Biology* **30**, 207-214.
- KASKE, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 17, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- KOCH, H.-J., 1997: Einfluß unterschiedlicher Brachebegrünung auf das Risiko der Nitratauswaschung. *Pflanzenbauwissenschaften* **1** [4], 154-163.
- KUMAR, K., GOH, K., SCOTT, W. & FRAMPTON, C., 2001: Effects of ¹⁵N-labelled crop residues and management practices on subsequent winter wheat yields, nitrogen benefits and recovery under field conditions. *Journal of Agricultural Science* **136**, 35-53.
- LAEGREID, M., BOCKMAN, O. & KAARSTADT, O., 1999: *Agriculture Fertilizers & the Environment*, Cabi Publishing, Wallingford, 1-294.
- LEDGRAD, S. F., 2001: Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil* **228**, 43-59.
- LINDEN, B. & WALLGREN, B., 1993: Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research* **23**, 77-89.
- LOGES, R. & HEUWINKEL, H., 2004: Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras - Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. *Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare*, 21-25.
- LOGES, R., KASKE, A. & TAUBE, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: *Designing and testing crop rotations for organic farming*, Ed. J. Olesen, R. Eltun, M. Gooding, E. Jensen & U. Köpke, 181-190.
- MAIDL, F., HAUNZ, F. P. A. & FISCHBECK, G., 2005: Transfer of Grain Legume Nitrogen within a Crop Rotation Containing Winter Wheat and Winter Barley. *Journal of Agronomy and Crop Science* **176**, 47-57.

- MAYER, J., BUEGGER, F., STEEN JENSEN, E., SCHLOTTER, M. & HEß, J., 2004: Turnover of grain legume N rhizodeposits and effect of rhizodeposition on the turnover of crop residues. *Biology and Fertility of Soils* **39**, 153-164.
- NEUMANN, H., 2005: Strategien für die Getreideproduktion im ökologischen Landbau: „Weite Reihe“-Anbau und gemeinsamer Anbau mit Weißklee („Bicropping“). Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, im Druck, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- NIEBERG, H. & SCHULZE-PALS, L., 1996: Profitability of farms converting to organic farming in germany - empirical results of 107 farms. *Farm Management* **9** [5], 218-227.
- REITER, K., SCHMIDTKE, K. & RAUBER, R., 2002: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* **238**, 41-55.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Ökologischer Landbau der Zukunft, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Manz Crossmedia GmbH & Co KG, Wien, 97-100.
- SCHMIDT, H. & LEITHOLD, G., 2004: Fruchtfolgesysteme im Ökolandbau mit und ohne Tierhaltung Erträge und N-Haushalt. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **16**, 121-122.
- SPANAKAKIS, A., 2000: Züchtung von Winterweizen mit verbesserter N-Effizienz. In: Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Hrsg. C. Möllers, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 97-142.
- TAYLOR, B., WATSON, C., STOCKDALE, E., MCKINLAY, R., YOUNIE, D. & CRANSTOUN, D., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. *HGCA research review* **45**, 1-90.
- TROTT, H., WACHENDORF, M., INGWERSEN, B. & TAUBE, F., 2004: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage Science* **59**, 41-55.
- VAN VUUREN, A. M. & MEIJS, J. A. C., 1987: Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing dairy cows. In: *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?*, Ed. H. v. d. Meer, R. Unwin, T. v. Dijk & G. Ennik, 17-25. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster.
- WECHSELHUBER, P., KÖBLER, M. & HEISSENHUBER, A., 1999: Ökonomische und ökologische Beurteilung von Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen. *Berichte über die Landwirtschaft* **77** [2], 184-200.
- WENDLING, U., MÜLLER, J. & SCHWEDE, K., 1984: Bereitstellung von Verdunstungsmessungen über Gras mit einem off-line-Datenerfassungssystem (2. Mitteilung). *Zeitschrift für Meteorologie* **34**, 190-202.

-
- WENDLING, U., SCHELLIN, H. & THOMAE, M., 1991: Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrar-meteorologischen Beratung. *Zeitschrift für Meteorologie* **41**, 468-475.
- WICHMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Vergleich von Körnererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste in Hinblick auf Ertrag und Ertragsentwicklung sowie N-Fixierungsleistung, Ernterückstandsmengen und Vorfruchtwirkung. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24.-26. Februar 2003, Hrsg. B. Freyer, Manz Crossmedia GmbH & Co KG, Wien. 185-188.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ wurde auf dem Versuchsgut Lindhof der Universität Kiel in zwei mehrjährigen Feldversuchen der Fruchtfolgeabschnitt „Klee-gras-Weizen“ untersucht. Das Ziel dieser Studie war es, im marktfruchtorientierten, ökologischen Ackerbau den N-Haushalt rotkleehaltiger Vorfruchtbestände zu optimieren und die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen (*Triticum aestivum* L.) zu erhöhen. Hierzu wurde in den Jahren 1998-2000 der Einfluss der Bewirtschaftung (3-Schnitte + 1x Mulchen; 2-Schnitte + 2x Mulchen; 4x Mulchen) von Rotklee- bzw. Rotklee-gras-Beständen (*Trifolium pratense* L., *Lolium perenne* L.) auf die N₂-Fixierungsleistung, auf die Pflanzenresiduen und auf den Boden-N_{min}-Gehalt sowie auf die Ertragsleistung des folgenden Winterweizens unter Berücksichtigung einer unterschiedlich terminierten Gülledüngung (50 kg Gesamt-N ha⁻¹ zu EC 25, EC 30 oder EC 45) untersucht (Versuch I). In den Jahren 2001-2003 wurde die Wirkung von vier Rotklee-gras-Bewirtschaftungssystemen (3-Schnitte; 2-Schnitte + 1x Mulchen; 3x Mulchen; 1x Mulchen) in Abhängigkeit vom Umbruchtermin (Herbst/Frühjahr) hinsichtlich der Pflanzenresiduen, des Boden-N_{min}-Gehalts, des Vorkommens von Nitrat im Sickerwasser sowie der Ertragsleistung der Folgefrüchte Winter- und Sommerweizen geprüft (Versuch II).

Die Ergebnisse beider Untersuchungen zeigen, dass die Rotklee/Rotklee-gras-Bewirtschaftungsform einen erheblichen Effekt auf den N-Haushalt ausübt, während die Ertragsleistung der direkten Folgefrucht Weizen nur geringfügig beeinflusst wird. Im Vergleich zur Schnittgutabfuhr bewirkt das Mulchen eine deutliche Verringerung der N₂-Fixierungsleistung: ausschließlich gemulchte Rotklee- bzw. Rotklee-gras-Bestände fixieren maximal 1/4 der N-Menge, die in schnittgenutzten Beständen gebunden wird. Obwohl in den Residuen der Rotklee- bzw. Rotklee-gras-Bestände hohe N-Mengen (136-218 kg N ha⁻¹) ermittelt werden, beträgt das mittlere Ertragsniveau des folgenden Weizens nur 35 dt TM ha⁻¹. Die Vorfrucht-bewirtschaftung übt in der Hauptfaktorwirkung in beiden Feldversuchen keinen Effekt und in der Interaktion mit der Ansaatmischung (Versuch I) nur einen geringen Effekt auf den Kornertrag des Weizens aus. Durch den gezielten Gülleeinsatz kann der Kornertrag bzw. der Korn-Rp-Gehalt von Winterweizen erhöht werden (Versuch I). Winterweizen erzielt einen höheren Kornertrag (38 dt TM ha⁻¹) und niedrigeren Korn-

Rp-Gehalt (10,6-11,2%) als Sommerweizen (34 dt TM ha⁻¹ bzw. 12,8-14,2%) (Versuch II). Für den Korn-Rp-Gehalt von Sommerweizen ist die Vorfruchtnutzung von hoher Bedeutung (Versuch II).

Im Hinblick auf die N-Auswaschung erhöht der Herbstumbruch im Vergleich zur Rotklee-Überwinterung die N-Auswaschung mit dem Sickerwasser erheblich (Versuch II). Unter den geprüften Standortbedingungen liegt nach Herbstumbruch nur die Nitrat-Konzentration nach vollständiger Schnittgutabfuhr unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes von 50 mg NO₃⁻ l⁻¹. Rotklee-Bestände, die gemulcht werden und überwintern, führen nur dann zu N-Auswaschungen unterhalb des Grenzwertes, wenn der Gemengepartner Gras ausreichend etabliert ist und den aus Pflanzenresiduen freigesetzten N speichern kann.

Aus den Ergebnissen lässt sich eine Optimierung des N-Haushaltes im Fruchtfolgeausschnitt ‚Klee-Weizen‘ dahingehend ableiten, dass die N-Verfügbarkeit wesentlich verbessert wird, wenn das Mulchen der rotkleehaltigen Bestände durch eine Schnittgutabfuhr ersetzt wird. Das weit verbreitete ausschließliche Mulchen der Bestände ist sowohl aus agronomischer als auch aus ökologischer Sicht in Frage zu stellen, da im Vergleich zur Schnittgutabfuhr erheblich weniger N₂ fixiert wird und die N-Verluste über den Pfad Sickerwasser im Winterhalbjahr bedenkliche Ausmaße erreichen. Demgegenüber wird auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse dokumentiert, dass eine Mischnutzung (2x Schnittgutabfuhr + Mulchen) bzw. eine ausschließliche Schnittgutabfuhr sowohl die N-Verfügbarkeit für die Folgefrucht erhöht (+ Gülle-N), als auch die N-Verluste über das Sickerwasser reduziert.

7 Summary

Two field experiments were conducted within the frame of the integrated research project „Organic farming and extensive land use systems” on the experimental farm ‘Lindhof’ of the University of Kiel. The studies were dealing with grass/red clover (*Lolium perenne* L. / *Trifolium pratense* L.) and subsequent wheat (*Triticum aestivum* L.) in order to improve the N-availability from red clover swards and the yield performance of following wheat grown in an organic arable crop rotation. Field *experiment I* was carried out during 1998-2000 to investigate the impact of different defoliation systems (3-cuts + 1x mulched; 2-cuts + 2x mulched; 4x mulched) of red clover in pure stands or in companion with perennial ryegrass on N₂-fixation, crop residues, mineral soil N and yield performance of subsequent winter wheat considering a slurry application (50 kg N ha⁻¹) at EC 25, EC 30 or EC 45. During 2001-2003 *experiment II* was conducted to evaluate the influence of four different defoliation systems of grass/red clover (3-cuts; 2-cuts + 1x mulched; 3x mulched; 1x mulched) and date of ploughing (autumn/spring) on crop residues, mineral soil N, nitrate in the leachate and yield performance of subsequent winter wheat and summer wheat.

In both experiments the grass/red clover defoliation system had a substantial impact on the N-balance but only a minor effect on the yield performance of the following wheat. Compared to treatments where the aboveground material was removed (cutting), mulched red clover and grass/red clover resulted in a very low N₂-fixation, which accounted for only 25 percent of the cut swards. Although red clover- and grass/red clover-residues were characterized by high N contents (136-218 kg N ha⁻¹) before ploughing, the grain yield of following wheat was low (3.5 t DM ha⁻¹). The defoliation system had no main effect on the grain yield in both, *experiment I* and *II*, and only a minor effect in interaction with the seed-mixture, referring to the grass/clover ratio (*experiment I*). In contrast, the application of slurry increased the grain yield and grain crude protein content (*experiment I*). Compared to summer wheat, the yield of winter wheat was higher, 3.4 and 3.8 t DM ha⁻¹ respectively, and the grain crude protein content was lower, 12.8-14.2% and 10.6-11.2%, respectively (*experiment II*).

With respect to N-leaching, ploughing in autumn increased losses substantially (*experiment II*), and only the 3-cut system resulted in nitrate losses below the EU limit

for drinking water of $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Mulched grass/red clover only causes nitrate leaching below the critical value, if N, which is released from mulch, is incorporated by grass and if swards are ploughed in spring.

It is concluded from the results, that the N-availability from red clover swards for wheat grown in organic arable crop rotations can be improved by replacing the common mulching of green manures with cutting. Mulching is assessed critically for economic and ecological reason, because it decreases the N_2 -fixation and substantially increases N-losses during the leaching period. The present study recommends the application of the mixed system (2-cuts + mulching) as well as the cutting-system, which both increase the N-availability for the subsequent crop via organic manure and decreases nitrate-leaching losses.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. F. Taube möchte ich für die Überlassung des Themas, für die fachlichen Anregungen, für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und für das angenehme Arbeitsklima bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Herrn Prof. Dr. H. Kage danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Ralf Loges, der durch seinen fachlichen und persönlichen Einsatz im Forschungsschwerpunkt „Ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ auf dem Versuchsgut Lindhof die Basis für die Erstellung dieser Arbeit ermöglicht hat und mich in freundschaftlicher Art und Weise betreut hat.

Herrn Dr. G. Rave danke ich für die Beratung und Motivation bei der statistischen Auswertung.

Meinen Doktorandenkollegen Stefan Wichmann und Helge Neumann danke ich für die reibungslose Teamarbeit während der experimentellen Phase auf dem Lindhof und im Labor. Helge sei an dieser Stelle für die erfrischenden Diskussionen gedankt.

Zum Gelingen dieser Arbeit haben eine Vielzahl an Mitarbeitern beigetragen und ich möchte mich ganz besonders bedanken bei Inken Mauscherling, Katharina Treyse, Mirja Kämper, Anne Johannsen und Lisa Hübner sowie Karin Makoben, Gunda Schnack und Marita Krumbholz für die zuverlässige Feld- und Laborarbeit und bei Anne Jaekel, Karin Rahn, Antje Herrmann, Martin Gierus und Klaus Sieling für die kleineren und größeren Hilfestellungen.

Für die tatkräftige Unterstützung bei den Feldversuchen möchte ich Sabine Mues, Holger Henningsen, Hugo Münster, Hinrich Stoltenberg, Rüdiger Ströh und meinem Lieblingsversuchstechniker Thomas Ehmsen ein großes Dankschön aussprechen.

Bei Karin Pieper bedanke ich mich für die rasche Durchsicht des Manuskriptes.

Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für das fortwährende Interesse an meiner Arbeit und ihre Unterstützung.

Aber vor allem danke ich Markus von ganzem Herzen.

Lebenslauf

Name	Dreymann
Vorname	Sonja
Geburtstag, -ort	25.01.1973, Werther (Westfalen)
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

Schul- und Berufsausbildung

1991 – 1994 Ernst-Moritz-Arndt-Gymnasium, Osnabrück, Abschluss Abitur

1989 – 1991 Ausbildung zur staatlich geprüften Biologisch-Technischen Assistentin, Institut für berufliche Aus- und Weiterbildung, Osnabrück

1983 – 1989 Realschule, Spenge

1979 – 1983 Grundschule, Westerenger

Hochschulstudium

10/1997 – 07/2001 Studium der Agrarwissenschaften, Christian-Albrechts-Universität Kiel
Fachrichtung: Pflanzenproduktion, Abschluss Diplom-Agraringenieur

10/1995 – 09/1996 Studium der Agrarwissenschaften, Justus-Liebig-Universität Gießen

10/1994 – 09/1995 Studium der Ökotrophologie, Justus-Liebig-Universität Gießen

Praktische Tätigkeiten

03/1999 – 04/1999 Mitarbeiterin am Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, England

10/1996 – 09/1997 Landwirtschaftliches Praktikum, Abschluss Praktikantenprüfung

Berufstätigkeit

08/2001 – 04/2005 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenbau & Pflanzenzüchtung -Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau- der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel