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. Wolffram
1. Berichterstatter:Prof. Dr. F. Taube
2. Berichterstatter:Prof. Dr. H. Kage

Tag der mündlichen Prüfung: 28. April 2005

Kiel 2005
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 Einzelaufwuchse .............................................................. 26
      2.3.3 N₂-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/ Rotkleegras 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-/Rotkleegrass-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 Saatmischung 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 Rotkleegrass für das Vorkommen von
Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefucht 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-Probenahme ....................................... 122
4.2.5 Berechnung der Sickerwassermenge ............................................................... 122
4.2.6 Statistische Auswertung .................................................................................... 124
4.3 Ergebnisse .................................................................................................................. 125
4.3.1 Rotkleegrass-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 Rotkleegrass-Folgefucht Winter- bzw. Sommerweizen .............................. 138
4.4 Diskussion ........................................................................................................... 141
  4.4.1 Umsetzbarkeit der Rotkleegras-Residuen.................................................... 141
  4.4.2 Boden-\(N_{\text{min}}\)-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser............................ 144
  4.4.3 Zusammenhang zwischen Boden-\(N_{\text{min}}\)-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/Rotkleegras 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-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. 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) 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-Nmin-Gehalt (0-90 cm, Oktober, P= 0,0227, SE = 3,58); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Nutzung ............35

Abb. 5: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den Boden-Nmin-Gehalt (0-90 cm, P = 0,0031, SE = 3,76) nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems.................................45

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 Saatmischung.................................................................................................................................76

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.................................................................................................77

Abb. 4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die scheinbare Verwertung von zusätzlichem Leguminosen-N (ANRδ leg) durch das Winterweizenkorn (P= <0,0001, SE = 12,90); multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb einer Saatmischung .........................................................................................................................80

Abb. 5: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die scheinbare Verwertung von Gülle-N (ANRδlurg) (P= 0,0262, SE = 3,62) durch das Winterweizenkorn; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) innerhalb eines Nutzungssystems.................................................................................................81

Kapitel 4:

Abb. 1: Monatliche Niederschlagssumme [mm] und potenzielle Evapotranspiration (ETp) [mm] sowie monatliche Tagesmitteltemperatur [°C] der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03 .........................................................118
Abb. 2: Bedeutung der Rotkleegrass-Bewirtschaftung für den Boden-Nmin-Gehalt [kg N ha⁻¹] zum Termin Herbststurzbach (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-Nmin-Gehalt [kg N ha⁻¹] von überwinterndem Rotkleegrass (P = 0,0069, SE = 5,58) im zweijährigen Mittel; multipler Mittelwertvergleich (T-Test) des Termine innerhalb eines Nutzungssystems, HU= Herbststurzbach / Oktober, VE= Vegetationsende / November, VB= Vegetationsbeginn / März) .................................................................................................................. 130

Abb. 4: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Probenahmetermin*Umbruchtermin für den Boden-Nmin-Gehalt [kg N ha⁻¹] (P = 0,0149, SE = 4,39) im zweijährigen Mittel; a) multipler Mittelwertvergleich (T-Test) der Nutzungssysteme je Probenahme- und Umbruchtermin, b) multipler Mittelwertvergleich innerhalb eines Kleegrass-Nutzungssystems (KG= Kleegrass, HU= Herbststurzbach / 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: NO₃⁻ Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] und kumulierte NO₃⁻ Fracht [kg NO₃⁻ N ha⁻¹] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2001/02 (Sickerwassermenge: 286 mm) ........................................... 134

Abb. 7: NO₃⁻ Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] und kumulierte NO₃⁻ Fracht [kg NO₃⁻ 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 NO₃⁻ Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] (P = 0,0222, SE = 5,71) und b) kumulierte NO₃⁻ 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 Umbruchterms .......................... 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 NO₃⁻-Fracht im Sickerwasser und dem Boden-Nₐₗₐₜ-Gehalt zu Vegetationsende für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Kleegrass und c) Winterweizen ...................................................... 148

Abb. 11: Zusammenhang zwischen der kumulierten NO₃⁻-Fracht im Sickerwasser und dem Boden-Nₐₗₐₜ-Saldo für a) alle Varianten bzw. für ausgewählte Nutzungssysteme der Varianten b) Kleegrass und c) Winterweizen ................................................................................................................. 149


Kapitel 5:

Abb. 1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den 'erweiterten' N-Bilanzsaldo (N-Saldoₜₐₜ [g N m⁻²] = Nₐₜ - Korn-Nohne 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 NO₃⁻-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 Umbruchterms 182
ii. Tabellenverzeichnis

Kapitel 2:
Tab. 1: Jahresdurchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen der Versuchsahre 1998 und 1999 (Witterungsdaten des Versuchsstandortes) und im langjährigen Mittel (Messstation des De. Wetterdienstes Kiel-Holtenau) .................................................................17
Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage ...............................................................18
Tab. 3: Statistische Kennzahlen der NIR-S-Kalibrierung 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) ..........................................................................................................................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 Einzelaufwuchse .........................................................................................................................26
Tab. 8: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwuchse 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 Einzelaufwuchse 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 N₂-Fixierung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-Nₘₐᵢₙ-Gehalt .........................................................................................................................32
Tab. 11: Bedeutung der Hauptfaktoren für die N₂-Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-Nₘᵢₙ-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. A4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Mulch-N und die Residuen-N-Menge, den Boden-Nₘᵢₙ-Gehalt und die N₂-Fixierungsleistung .........................................................................................................................60
Tab. A5: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Boden-Nₘᵢₙ-Gehalt nach dem zweiten Nutzungstermin (23.07.1998) .........................................................................................................................60
Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Boden-N_{\text{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 Versuchsjuhre 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^2C: 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 (Versuchsjuhre, 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_{\text{leg}}) bzw. Gülle-N-Verwertung (ANR_{\text{slurry}}) von Winterweizen ..........................................................................................................................79

Tab. 10: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Klee/Gras-Nutzungssystems für die ANR_{\text{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_{\text{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_{\text{leg}}) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{\text{slurry}}) im zweijährigen Mittel ........................................................................110
Tab. A6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Düngung für die Korn-TM, die Korn-Menge, die scheinbare Residuen-N-Verwertung (ANR_{slurry}) 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 Rotkleegras in den Jahren 2001 und 2002 ........119

Tab. 4: Statistische Kennzahlen der NIR-Kalibrierung 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) ........................................................................................................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 Rotkleegras-Residuen................................................................................125

Tab. 6: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die organische Masse (OM), N-Konzentration, N-Menge und das C:N-Verhältnis von Rotkleegras-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 Ertragsleistung von Weizen......................................................................................................................138

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

Tab. A1: Einfluss der Versuchs faktoren 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 Kleebrass-Folgefrucht Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003 .......................167


Tab. A5: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für den Kleeanteil der Rotkleegras-Einzelaufwürche 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 Fruchfolgeausschnitt „Rotklee/Rotklee-gras – Winterweizen (N₀)“ (N₀ = ohne Gülledüngung): N_{erw.} Saldo [g N m⁻²] = N_{fix.} - Korn-N 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 [kg NO₃-N ha⁻¹] im Sickerwasser im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03 ........................................ 181
iii. Abkürzungsverzeichnis

C elementarer Kohlenstoff
CaCl₂ Calciumchlorid-Lösung
DM dry matter
dt Dezitonne
erw. erweitert
FU Frühjahrsumbruch
GD Gründüngung
ha Hektar
HNJ Hauptnutzungsjahr
HU Herbstsumbruch
KG Kleegras
M Mulchen
max. maximal
n Anzahl
N Stickstoff
N₂-Fixierungsleistung
molekularer Luftstickstoff
¹⁵N schweres Stickstoffisotop mit der Atommasse 15
NIRS Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NH₃ Ammoniak
N₂O Distickstoffoxid (Lachgas)
N₉min Summe von Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden
NO₃⁻ Nitrat-Ion
[N₂O₃] Nitrat-Konzentration
ns nicht signifikant
o. ohne
o. BM oberirdische Biomasse
O.g. oben genannt
OM organische Masse
P level of probability (Signifikanzniveau)
r² 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. vergleich
WW Winterweizen
z.T. zum Teil
Kapitel 1

Generaleinleitung

General introduction
1 Generaleinleitung


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


Zunächst wird der Einfluss von drei verschiedenen Bewirtschaftungsformen in Abhängigkeit vom Kleeanteil in der Saatmischung auf die Klee- und Gras-Sprossmasse, auf die N$_2$-Fixierungsleistung, auf den Boden-N$_{\text{min}}$-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 Kleegrass-Gemenges der Einfluss von vier verschiedenen Bewirtschaftungsformen und zwei unterschiedlichen Umbruchterminen (Herbst- bzw. Frühjahrumbruch) auf den Boden-N$_{\text{min}}$-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.

1.1 Literaturverzeichnis


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.


KUMAR, K. & GOH, K., 2002: Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake,


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


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

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


Die Zielsetzung dieser Studie ist es, insbesondere für marktführorientierte Betriebe eine Kleegras-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


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

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Temperatur [°C]</td>
<td>8,8</td>
<td>9,6</td>
<td>8,7</td>
</tr>
<tr>
<td>Niederschlag [mm]</td>
<td>Jahrssumme 922</td>
<td>711</td>
<td>774</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Summe März bis Oktober 578</td>
<td>384</td>
<td>516</td>
</tr>
</tbody>
</table>


<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor</th>
<th>Faktorstufe</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1. Saatmischung</td>
<td>1.1 100% Rotklee (RK)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.2 67% Rotklee + 33% Dt. Weidelgras</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.3 33% Rotklee + 67% Dt. Weidelgras</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.4 100% Dt. Weidelgras (DW)</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Nutzungs- system</td>
<td>2.1 Schnittgutabfuhr (S)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>2.2 Schnittgutabfuhr + Gründüngung (S+GD)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>2.3 Gründüngung (GD)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>3.2 1999</td>
</tr>
</tbody>
</table>
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


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

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)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>n</th>
<th>MW</th>
<th>Spannbreite</th>
<th>SD</th>
<th>SEC</th>
<th>r²C</th>
<th>SEV</th>
</tr>
</thead>
</table>
| 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 |
|          | 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 |
|          | 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 |
| Wurzeln  | Asche| 107 | 40,48       | 4,84-85,85 | 17,20 | 2,75 | 0,98 | 2,74 |


Die Bestimmung der Jahres-$N_2$-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 \(N_{\text{min}}\) (Gleichung 3). Als nicht-
\(\text{N}_2\)-fixierender Referenzbestand diente ein gleich bewirtschafteter Deutsches
Weidelgras-Reinbestand.

\[
N_{\text{Leg-Ganzpflanze}} = N_{\text{Leg-Ertrag}} + N_{\text{Leg-Stoppen/Mulch}} + N_{\text{Leg-Wurzeln}} \quad (1)
\]

\[
N_{\text{Ref-Ganzpflanze}} = N_{\text{Ref-Ertrag}} + N_{\text{Ref-Stoppen/Mulch}} + N_{\text{Ref-Wurzeln}} \quad (2)
\]

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

2.2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS\textsuperscript{©} (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
Versuchsparzelle wiederholten, aber zeitlich versetzten Messungen der Klee/Gras-
Einzelaufwuchse wurden heterogene Varianzen ermittelt. Es erfolgte eine Analyse
mit getrennt berechneten Fehlervarianzen für die Einzelaufwuchse 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-
Aufwuchsen 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


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 Jahressprossmasse (TM) und für die Jahres-N-Menge in der Sprossmasse von Rotklee und Gras

| Varianzursache | Jahres-Sprossmasse (TM) | | | | | Jahres-N-Menge | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gesamt | Klee | Gras | Kleeanteil | | Gesamt | Klee | Gras | Kleeanteil | | | |
| 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 ≥ 5%), *: signifikant (5% > P ≥ 1%), **: hoch signifikant (1% > P ≥ 0,1), ***: höchst signifikant (P < 0,1%)
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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor / Faktorstufe</th>
<th>potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>potenziell erntbare Jahres-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt (n= 72)</td>
<td>Klee (n= 54)</td>
</tr>
<tr>
<td>Saatmischung</td>
<td>Kleeanteil [%] (n= 36)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td>1447,8²</td>
<td>1447,8²</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK + 33% DW</td>
<td>1420,1²</td>
<td>780,9¹</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK + 67% DW</td>
<td>1356,9²</td>
<td>803,6¹</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td>519,4¹</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>30,4***</td>
<td>46,5***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

¹Kleeanteil in % der Trockenmasse, gewogene Mittelwerte aus vier Aufwuchsen; 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%


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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor / Faktorstufe</th>
<th>Jahres-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>Jahres-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>potenziell erntbar</td>
<td>geerntet</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>Klee</td>
</tr>
<tr>
<td>Nutzungs-system</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>S</td>
<td>1260,0 2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>1244,1 3 a</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>1054,0 b</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>SE / Sign.</td>
<td>25,1 ***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

1) Kleeanteil in % der Trockenmasse, gewogene Mittelwerte aus vier Aufwuchsen; 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 kleehehaltigen Saatmischungen beschränkt. Dabei ist die Ausprägung der Sprossmasse-Abnahme unter Grunddüngung in den Klee-Grasmengen 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); multiplet 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-Grassmengen.
Durch ausschließliches Mulchen (GD) der Gemenge konnte rund 8,6 g m⁻² weniger N im Jahresaufwuchs festgestellt werden.


2.3.2 Sprossmasse der Einzelaufwuchse

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 Aufwuchse 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 Einzelaufwuchse

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>Einzelaufwuchs-Produktivität</th>
<th>potenziell erntbare Sprossmasse (TM)</th>
<th>potenziell erntbare N-Menge</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>Klee</td>
<td>Gras</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw</td>
<td>3076,4***</td>
<td>770,7***</td>
<td>463,1***</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw(j)</td>
<td>144,3***</td>
<td>48,5***</td>
<td>12,2***</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw*sys</td>
<td>9,0***</td>
<td>11,1***</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw(j)*sys</td>
<td>84,4***</td>
<td>37,7***</td>
<td>2,8*</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw(j)*mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw(j)<em>sys</em>mi</td>
<td>13,1***</td>
<td>8,8***</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw*sys*mi</td>
<td>2,04*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>aufw*j<em>sys</em>mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi</td>
<td>243,8***</td>
<td>118,6***</td>
<td>8,1***</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>21,5***</td>
<td>25,4***</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j</td>
<td>ns</td>
<td>8,1**</td>
<td>41,3***</td>
</tr>
<tr>
<td>mi*sys</td>
<td>3,3**</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi*j</td>
<td>ns</td>
<td>4,0*</td>
<td>4,5*</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi<em>sys</em>j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**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 Aufwuchsen (Tab. 8). Im ersten Aufwuchs ist die Gesamt-Sprossmasse der Kleegras-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 Einzelauwuchse von Rotklee und Gras für den Faktor Saatmischung im Mittel der Nutzungssysteme und der Jahre (Interaktion Saatmischung*Aufwuchs)

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Gras (n= 216)</th>
<th>Gras-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>Gras-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Aufwuchs</td>
<td>1. 2. 3. 4.</td>
<td>1. 2. 3. 4.</td>
</tr>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK + 33% DW</td>
<td>352,4  178,4⁻  75,7  32,7</td>
<td>5,88⁻  3,22⁻  1,98⁻  1,16⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK + 67% DW</td>
<td>322,5  123,8⁻  65,7  31,4</td>
<td>4,50⁻  2,04⁻  1,63⁻  1,08⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td>320,8⁻  99,1⁻  69,6⁻  29,8⁻</td>
<td>3,22⁻  1,06⁻  1,24⁻  0,83⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>14,6ns  14,1**  6,5ns  3,2ns</td>
<td>0,25***  0,30***  0,15**  0,12ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kleeanteil (n= 144)</th>
<th>Kleeanteil [% d. TM]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK + 33% DW</td>
<td>38,8</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK + 67% DW</td>
<td>37,87</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>3,07ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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


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.

Tab. 9: Sprossmasse- und Spross-N-Produktivität der Einzelaufwuchse 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)

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

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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kleeanteil (n=144)</th>
<th>Kleeanteil [% d. TM]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>S</td>
<td>38,34 69,83f 83,03f 71,04f</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>38,34 69,83f 83,03f 43,59b</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>38,34 53,83b 62,88b 36,52b</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>3,81ns 3,75** 2,45*** 2,86***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Aufwuchse.


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-
Ergebnisse


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 schnitgenutzten 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.

![Diagramm](image-url)

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 (SEs. 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 N$_2$-Fixierungsleistung und nicht erntbarer Stickstoff


Tab. 10: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die N$_2$-Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N$_{\text{min}}$-Gehalt

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>Jahres-N$_2$-Fixierung</th>
<th>Mulch-N-Menge</th>
<th>Residuen-N-Menge</th>
<th>Boden-N$_{\text{min}}$-Gehalt</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>mi</td>
<td>15,4***</td>
<td>89,5***</td>
<td>10,24***</td>
<td>33,4***</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>208,2***</td>
<td>531,2***</td>
<td>8,48**</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>42,93***</td>
<td>301,2***</td>
</tr>
<tr>
<td>mi*sys</td>
<td>6,9***</td>
<td>46,1***</td>
<td>ns</td>
<td>2,7*</td>
</tr>
<tr>
<td>mi*j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>4,44*</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi<em>sys</em>j</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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$_{\text{min}}$-Gehalt und der Einfluss der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem auf die Residuen-N-Menge.
Die nach der erweiterten Differenzmethode ermittelten Jahres-N$_2$-Fixierungsleistungen der beiden Kleegras-Gemenge unterscheiden sich nicht (Tab. 11). Dagegen hebt sich die Jahres-N$_2$-Fixierungsleistung der Rotklee-Reinsaaten mit 28,4 g N m$^{-2}$ signifikant um 6,0 g N m$^{-2}$ von der mittleren Fixierungsleistung der Kleegras-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 N$_2$-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 Kleegras-Gemengen. Unter Gründüngung (GD) ist die Jahres-N$_2$-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 N$_2$-Fixierungsleistung, die Mulch-N-Menge, die Residuen-N-Menge und den Boden-N$_{\text{min}}$-Gehalt im zweijährigen Mittel

**Impact of main effects on the amount of N$_2$-fixation, nitrogen in mulch and residues and mineral soil N**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor / Faktorstufe</th>
<th>N$_2$-Fixierung [g m$^{-2}$ (n=54)]</th>
<th>Mulch-N-Menge [g m$^{-2}$ (n=72)]</th>
<th>Residuen-N-Menge [g m$^{-2}$ (n=72)]</th>
<th>Boden-N$_{\text{min}}$-Gehalt [kg ha$^{-1}$ (n=72)]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Saatmischung</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td>28,38$^a$</td>
<td>19,80$^a$</td>
<td>13,62$^{bc}$</td>
<td>53,58$^a$</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK + 33% DW</td>
<td>23,12$^b$</td>
<td>15,77$^b$</td>
<td>15,78$^{ab}$</td>
<td>35,17$^b$</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK + 67% DW</td>
<td>21,62$^b$</td>
<td>14,33$^b$</td>
<td>16,60$^b$</td>
<td>30,64$^{bc}$</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td>-</td>
<td>3,15$^c$</td>
<td>11,52$^c$</td>
<td>26,50$^c$</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>1,09***</td>
<td>0,75***</td>
<td>0,72***</td>
<td>2,07***</td>
</tr>
<tr>
<td>Nutzungs-</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>system</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>37,03$^a$</td>
<td>2,15$^c$</td>
<td>13,07$^a$</td>
<td>33,42</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>29,59$^b$</td>
<td>10,29$^b$</td>
<td>14,33$^{ab}$</td>
<td>38,42</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>6,50$^c$</td>
<td>27,36$^a$</td>
<td>15,75$^b$</td>
<td>37,57</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>1,20***</td>
<td>1$^{1}$***</td>
<td>0,52**</td>
<td>1,79ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Kleegras-Gemenge produzieren, während Kleegras-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 Aufwuchse 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 g N m\(^{-2}\) und ist gegenüber der Gras-Reinsaat (2,0 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 g N m\(^{-2}\)), ist die schließlich festgestellte Residuen-N-Akkumulation deutlich geringer (13,6 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\(_{\text{min}}\)-Gehalt unter Rotklee-Reinsaat deutlich von den Saatmischungen mit Gras ab.


Trotz der Tatsache, dass vom Hauptfaktor Nutzungssystem kein Effekt auf den Boden-N\(_{\text{min}}\)-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\(_{\text{min}}\)-Gehalte bewirken, bestätigt, weist die Rotklee-Reinsaat unter der Nutzung S einen signifikant geringeren N\(_{\text{min}}\)-Gehalt auf (Tab. A4). Im Vergleich zu Kleegras-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\(_{\text{min}}\)-Gehalte vor (Abb. 4d & Tab. A4). Gleichzeitig unterscheiden sich die Saatmischungen mit Gras nicht bezüglich des N\(_{\text{min}}\)-Gehaltes zwischen den Nutzungssystemen (Tab. A4).
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 (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) $N_2$-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 $N_2$-Fixierungsleistung, auf die Mulch-N-Menge und auf den Boden-$N_{\text{min}}$-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

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-Reinsaat, die unter vergleichbaren Standortverhältnissen mit 300 kg ha\(^{-1}\) mineralischem Stickstoff gedüngt wurden (KASKE 2000). Die futterbaulich bedeutamsten ersten beiden Aufwuchse produzierten bereits 70% der potenziell erntbaren Gesamt-Jahres-Sprossmasse (Tab. 9 & Tab. A2).

Bedeutung der Saatmischung


Im zweiten Aufwuchs bildet Rotklee in Reinsaat mehr Sprossmasse als die Gemenge aus Gras und Klee insgesamt (Tab. 8), da seine Etablierungsphase abgeschlossen ist und kein interspezifischer Konkurrenzeinfluss auftritt (LOGES 1998). Die ab dem

Einfluss der Nutzung in der Interaktion mit der Saatmischung


anderer Stelle für Kleegras-Brachen beobachtet (SCHULTHEIS et al. 1993), ist das Erscheinungsbild der hier betrachteten gemulchten Bestände luckig.

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).


Einfluss der Saatmischung auf die Spross-N-Menge


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 N\(_2\)-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**


**Einfluss der Nutzung und der Saatmischung auf die N₂-Fixierungsleistung**

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 Rotkleeplänze pro Flächeneinheit enthält, ist die fixierte N-Menge gegenüber der kleebetonten Ansaat nicht geringer. Die Annäherung von Jahres-N₂-Fixierungsleistungen unterschiedlicher Kleeegras-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).


Nach dem ausschließlichen Mulchen (GD) der Kleeegras-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 (TOHM 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-/Rotkleegras-Residuen und Boden**


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 Kleegras bereits während der Vegetation einen höheren \( N_{\text{min}} \)-Gehalt im Boden als unter geschnittenen Beständen. Diese wiesen, hervorgerufen durch ein stabiles Gleichgewicht zwischen Boden-N-Nachlieferung und Pflanzen-N-Aufnahme, verhältnismäßig konstante \( N_{\text{min}} \)-Gehalte auf (HELMERT et al. 2003).

Abbildung 5: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den Boden-\( N_{\text{min}} \)-Gehalt (0-90 cm, \( P = 0.0031, \text{SE}= 3.76 \)) 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, \( P = 0.0031, \text{SE}= 3.76 \)) after second defoliation (23.07.1998); comparison of mean values (T-Test) within defoliation system

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


**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 ($N_2$-Fixierungsentzug – 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>jahr</th>
<th>sys</th>
<th>jahr*sys</th>
<th>mi</th>
<th>jahr*mi</th>
<th>sys*mi</th>
<th>jahr<em>sys</em>mi</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>1,72ns</td>
<td>39,43***</td>
<td>1,22ns</td>
<td>0,22ns</td>
<td>0,77ns</td>
<td>0,63ns</td>
<td>1,06ns</td>
</tr>
<tr>
<td>S + GD</td>
<td>6,50a</td>
<td>1,77a</td>
<td>0,72***</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>2,18c</td>
<td>1,77a</td>
<td>0,72***</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

a) Signifikanzniveau aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungssystem, mi= Saatmischung;
b) N-Saldo [g N m$^{-2}$] = $N_2$-Fixierungsentzug – Sprossmasse-N-Abfuhr; SE= Standardfehler, Sign.= Signifikanzniveau aus dem F-Test (s. Tab. 4); multiplier Mittelwertvergleich vgl. Tab. 5
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 Versuchs faktoren 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 Sprossmasse bildungsvermögen aller klee haltigen 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 klee haltige Bestände, die gemulcht wurden, signifikant höhere Boden-Nmin-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 Aufwühse 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 ausschließlich Gründüngung im Vergleich zur 3-Schnittnutzung eine um ca. 20% (27 kg N ha⁻¹) höhere residuale N-Menge festgestellt. Für die Boden-Nmin-Gehalte zum Herbstumbruch war die Interaktion mit der Saatmischung signifikant: die Rotklee-
Reinsaat wies innerhalb einer Nutzungsform den höchsten $N_{\text{min}}$-Gehalt auf. Im Gegensatz zur Rotklee-Reinsaat wurde der $N_{\text{min}}$-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 Aufwuchse im System S+GD konnten rund 70% der potenziell erntbaren Jahres-Sprossmasse und rund 70% der Jahres-Spross-N-Menge von Klee- bzw. Kleegras-Beständen einer Verwertung zugeführt und damit zu einer variabel einsetzbaren N-Quelle transferiert werden.

2.6 Literatureverzeichnis


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.


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


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


### 2.7 Anhang

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Saatmischung</th>
<th>Gesamt-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>Gesamt-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
</tr>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td>1518,5⁺⁻</td>
<td>1498,1⁺⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK 33% DW</td>
<td>1530,2⁺⁻</td>
<td>1517,1⁺⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK 67% DW</td>
<td>1474,0⁺⁻</td>
<td>1450,3⁺⁻</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td>517,5⁺⁻</td>
<td>510,9⁺⁻</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Sign. = 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Aufwuchs</th>
<th>Nutzungs- system</th>
<th>Gesamtsprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>Gesamt-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100% 67% RK 33% RK 100% RK</td>
<td>100% 67% RK 33% RK 100% RK</td>
</tr>
<tr>
<td>1.</td>
<td>S</td>
<td>454,5 583,1 546,9 320,8</td>
<td>15,72 13,82 11,48 3,22</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>454,5 583,1 546,9 320,8</td>
<td>15,72 13,82 11,48 3,22</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>454,5 583,1 546,9 320,8</td>
<td>15,72 13,82 11,48 3,22</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Sign.</td>
<td>ns ns ns ns</td>
<td>ns ns ns ns</td>
</tr>
<tr>
<td>2.</td>
<td>S</td>
<td>404,8 385,8 407,3 67,8</td>
<td>11,97 11,02 11,17 1,21</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>404,8 385,8 407,3 67,8</td>
<td>11,97 11,02 11,17 1,21</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>345,8 267,0 205,6 73,2</td>
<td>10,11 7,34 5,99 1,29</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Sign.</td>
<td>ns *** ns ***</td>
<td>ns *** ns ***</td>
</tr>
<tr>
<td>3.</td>
<td>S</td>
<td>49,3⁺⁻ 67,0 64,1⁺⁻ 34,6</td>
<td>2,20⁻⁻ 2,84⁻⁻ 2,61⁻⁻ 0,97</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>28,9⁺⁻ 53,8 40,4⁺⁻ 28,0</td>
<td>1,31⁻⁻ 2,09⁻⁻ 1,59⁻⁻ 0,80</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>31,2⁺⁻ 63,2 57,3⁺⁻ 26,9</td>
<td>1,35⁻⁻ 2,23⁻⁻ 1,92⁻⁻ 0,73</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Sign.</td>
<td>* ns *** ns ***</td>
<td>* ns *** ns ***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>Klee-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
<th>Gras-Sprossmasse [g TM m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>100% 67% RK 33% RK 100% RK</td>
<td>67% RK 33% RK 100% RK</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>1518,5⁺⁻ 907,4⁺⁻ 946,7⁺⁻</td>
<td>622,9 527,2 517,5</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>1498,1⁺⁻ 883,4⁺⁻ 916,5⁺⁻</td>
<td>633,7 533,9 510,9</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>1326,8⁺⁻ 552,0⁺⁻ 547,5⁺⁻</td>
<td>661,0 599,0 529,7</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>* *** *** ***</td>
<td>ns ns ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>Klee-N-Menge [g N m⁻²]</th>
<th>Gras-N-Menge [g N m⁻²]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>100% 67% RK 33% RK 100% RK</td>
<td>67% RK 33% RK 100% RK</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>48,28⁺⁻ 28,15⁺⁻ 28,33⁺⁻</td>
<td>11,75 8,74 6,36</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>47,39⁺⁻ 27,08⁺⁻ 27,04⁺⁻</td>
<td>12,14 9,03 6,19</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>43,92⁺⁻ 18,20⁺⁻ 17,60⁺⁻</td>
<td>12,84 10,00 6,49</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns *** ***</td>
<td>ns ns ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>
### Tab. A4: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für die Mulch-N- und die Residuen-N-Menge, den Boden-\(N\)\(_{\text{min}}\)-Gehalt und die \(N_2\)-Fixierungsleistung

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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>Boden-(N)(_{\text{min}})-Gehalt [kg ha(^{-1})]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Tiefe 0-30 cm</td>
</tr>
<tr>
<td>mi</td>
<td>13,16</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>34,02</td>
</tr>
<tr>
<td>mi*sys</td>
<td>27,97(^{***})</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>49,01(^{**})</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>10,67(^{**})</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Tiefe [cm]</th>
<th>Nutzungs- system</th>
<th>Boden-(N)(_{\text{min}})-Gehalt [kg ha(^{-1})]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>100% RK 67% RK 33% RK 67% DW 100% RK 33% RK 67% DW SE</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>0-30</td>
<td>S 13,16</td>
<td>8,72</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD 34,02</td>
<td>19,25</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>***</td>
<td>**</td>
</tr>
<tr>
<td>30-60</td>
<td>S 9,51</td>
<td>6,72</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD 20,88</td>
<td>14,03</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>***</td>
<td>*</td>
</tr>
<tr>
<td>60-90</td>
<td>S 4,17</td>
<td>3,54</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD 10,58</td>
<td>6,06</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>**</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>0-90</td>
<td>S 26,85</td>
<td>18,98</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD 65,49</td>
<td>39,33</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>***</td>
<td>**</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), mi= Saatmischung, sys= Nutzungssystem
Einfluss der Bewirtschaftung der Vorfrucht Rotklee/Rotkleegras 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/ Rotkleegras und einer organischen Düngung auf die Ertragsleistung von Winterweizen

3.1 Einleitung


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. Rotkleegras 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 marktfruchtorientierten ökologischen Anbau zu optimieren.
3.2 Material und Methoden

3.2.1 Standort


Im Versuchsjahr 2000 fiel sowohl während der Vegetationszeit als auch in den Wintermonaten äußerst wenig Niederschlag.

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Niederschlag [mm]</td>
<td>922</td>
<td>711</td>
<td>472</td>
<td>774</td>
</tr>
<tr>
<td>Jahressumme</td>
<td>8,8</td>
<td>9,6</td>
<td>9,6</td>
<td>8,7</td>
</tr>
<tr>
<td>Summe März bis Oktober</td>
<td>578</td>
<td>384</td>
<td>277</td>
<td>516</td>
</tr>
</tbody>
</table>


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


Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen der Versuchsanlage

<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor und Nutzungsfolge</th>
<th>Faktorstufe</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1. Klee/Gras-Saatmixung</td>
<td>1.1 100% Rotklee (RK)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.2 67% Rotklee + 33% Dt. Weidelgras</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.3 33% Rotklee + 67% Dt. Weidelgras</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.4 100% Dt. Weidelgras (DW)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>12 kg ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>8 kg ha⁻¹ + 10 kg ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>4 kg ha⁻¹ + 20 kg ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>30 kg ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Klee/Gras-Nutzungs-</td>
<td>2.1 Schnittgutabfuhr (S)</td>
</tr>
<tr>
<td>system</td>
<td>2.2 Schnittgutabfuhr + Gründüngung (S+GD)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>2.3 Gründüngung (GD)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>3 Schnitte + 1x Mulchen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>2 Schnitte + 2x Mulchen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>4x Mulchen</td>
</tr>
<tr>
<td>3. organische Düngung</td>
<td>1.1 Kontrolle (N₀)</td>
</tr>
<tr>
<td>zum Winterweizen</td>
<td>1.2 Mitte Bestockung (N₅₀ EC 25)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.3 Anfang Schossen (N₅₀ EC 30)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>1.4 Mitte Ährenschwellen (N₅₀ EC 45)</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>0 kg N ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>50 kg N ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>50 kg N ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>50 kg N ha⁻¹</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>3.2 1999 / 2000</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Klee/Gras / Emtejahr Weizen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Klee/Gras / Emtejahr Weizen</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

3.2.3 Probenahme und Untersuchung


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>n</th>
<th>MW</th>
<th>Spannbreite</th>
<th>SD</th>
<th>SEC</th>
<th>r²C</th>
<th>SEV</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Klee/Gras</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Sprossmaterial &gt; 5 cm</td>
<td>N 134</td>
<td>2,77</td>
<td>0,94-4,99</td>
<td>0,99</td>
<td>0,10</td>
<td>0,99</td>
<td>0,16</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C 142</td>
<td>44,67</td>
<td>42,23-46,86</td>
<td>0,95</td>
<td>0,46</td>
<td>0,76</td>
<td>0,49</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N 172</td>
<td>1,73</td>
<td>0,41-3,68</td>
<td>0,80</td>
<td>0,10</td>
<td>0,98</td>
<td>0,13</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C 174</td>
<td>37,60</td>
<td>15,57-46,58</td>
<td>6,33</td>
<td>1,31</td>
<td>0,96</td>
<td>1,74</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurzeln</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Asche</td>
<td>N 116</td>
<td>1,30</td>
<td>0,24-2,42</td>
<td>0,50</td>
<td>0,07</td>
<td>0,98</td>
<td>0,07</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C 113</td>
<td>30,89</td>
<td>6,31-45,06</td>
<td>8,43</td>
<td>0,98</td>
<td>0,99</td>
<td>0,95</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Asche</td>
<td>107</td>
<td>40,48</td>
<td>4,84-85,85</td>
<td>17,20</td>
<td>2,75</td>
<td>0,98</td>
</tr>
<tr>
<td>Weizen</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Spross</td>
<td>N 177</td>
<td>2,46</td>
<td>0,28-5,99</td>
<td>1,69</td>
<td>0,11</td>
<td>0,99</td>
<td>0,11</td>
</tr>
<tr>
<td>Korn</td>
<td>N 139</td>
<td>1,72</td>
<td>1,29-2,14</td>
<td>0,16</td>
<td>0,02</td>
<td>0,99</td>
<td>0,02</td>
</tr>
</tbody>
</table>
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<sub>slurry</sub>) bezieht sich auf die eingesetzte Gülle-N-Menge von 50 kg N ha<sup>-1</sup> (JOHNSTON et al. 1994). In der Kalkulation wurden gleichbehandelte Parzellen miteinander in Beziehung gesetzt.

\[
(1) \text{ANR}_{\text{slurry}} [\%] = \frac{\text{Korn-N}_{50} - \text{Korn-N}_{0}}{50} \times 100
\]

Korn-N<sub>50</sub>: Weizenkorn-N-Menge der mit 50 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngten Varianten
Korn-N<sub>0</sub>: Weizenkorn-N-Menge der ungedüngten Varianten (N<sub>0</sub>)


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

Korn-N<sub>leg.</sub>: Weizenkorn-N-Menge nach klee haltiger Vorfrucht
Korn-N<sub>Gras</sub>: Weizenkorn-N-Menge nach Gras-Reinsaat
Residuen-N<sub>leg.</sub>: N-Menge von klee haltigen Residuen
Residuen-N<sub>Gras</sub>: N-Menge der Gras-Reinsaat-Residuen

In Einzelfällen kam es auf Parzellenniveau zu kleineren Werten im Nenner (Δ N<sub>leg.</sub>) gegenüber dem Zähler (Δ Korn-N). Um eine scheinbare N-Ausnutzung von > 100% zu vermeiden, wurde für den Nenner der Gleichung (2) eine Randbedingung formuliert: ist (Residuen-N<sub>leg</sub> - Residuen-N<sub>Gras</sub>) < (Korn-N<sub>leg</sub> - Korn-N<sub>Gras</sub>), dann wird (Residuen-N<sub>leg</sub> - Residuen-N<sub>Gras</sub>) = (Korn-N<sub>leg</sub> - Korn-N<sub>Gras</sub>)
3.2.5 Statistische Auswertung


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 ≥ 5%); * = signifikant (5% > P ≥ 1%); ** hoch signifikant (1% > P ≥ 0,1); *** höchst signifikant (P < 0,1%).

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Residuen der Rotklee-/Rotkleegras-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.


<table>
<thead>
<tr>
<th>Residuen-Fraktion</th>
<th>Parameter</th>
<th>Varianzursache</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>j</td>
<td>mi</td>
</tr>
<tr>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>OM</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
<td>11,17*</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurzeln</td>
<td>OM</td>
<td>22,38***</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
<td>47,43***</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
<td>59,84***</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>OM</td>
<td>15,30**</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
<td>42,93***</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
<td>70,01***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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%); j= Jahr; mi= Saatmischung; sys= Nutzungssystem

Oberirdische Biomasse und Wurzeln zeigt, dass der Jahreseffekt der Gesamt-Residuen im wesentlichen durch die Wurzeln hervorgerufen wird (Tab. 5). Gegen 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 die 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. Gegen 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 g N m⁻² die größte residuale N-Menge ermittelt. Demgegenüber ist die Gesamt-N-Menge der Rotklee-Reinsaat Residuen signifikant geringer (13,6 g N m⁻²). Die Bestände mit ausschließlich Mulchbewirtschaftung (GD) zeigen im Vergleich zu S bzw. S+GD eine um 79,0 bzw. 59,4 g m⁻² höhere OM in der oberirdischen Biomasse (Tab. 5). Gegen kann kein Unterschied in der Wurzel-OM der verschiedenen 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 ausschließlich Mulchnutzung (GD) im Vergleich zur Schnittgutabfuhr niedrigere

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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Residuen-Fraction</th>
<th>Versuchsjahr</th>
<th>SE / Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>1998</td>
<td>1999</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>OM [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>202,1</td>
<td>207,4</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>390,6</td>
<td>510,0</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>592,7</td>
<td>717,4</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>N-Menge [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>5,61</td>
<td>6,11</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>6,39</td>
<td>10,65</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>12,00</td>
<td>16,76</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>C:N</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>21,16</td>
<td>19,02</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>31,29</td>
<td>24,51</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>27,75</td>
<td>22,91</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Residuen-Fraction</th>
<th>Saatmischung</th>
<th>SE / Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td>67% RK +</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>OM [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>182,0</td>
<td>225,4</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>256,0</td>
<td>421,2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>438,0</td>
<td>646,5</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>N-Menge [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>6,78</td>
<td>7,01</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>6,84</td>
<td>8,77</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>13,62</td>
<td>15,78</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>C:N</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>13,92</td>
<td>17,12</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>19,44</td>
<td>25,23</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>16,97</td>
<td>22,34</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Impact of Kleegras-Nutzung (S, S+GD, GD)**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Kleegras-Nutzung</th>
<th>SE / Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>OM [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>171,9</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>414,7</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>586,7</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>N-Menge [g m⁻²]</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>5,33</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>7,73</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>13,07</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>C:N</strong></td>
<td>Spross</td>
<td>19,60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzel</td>
<td>28,57</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Gesamt</td>
<td>25,57</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Rötkelee 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); multipier 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


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Source of variance and levels of significance for yield determining parameters of winter wheat</th>
<th>Parameter</th>
<th>Korn-TM</th>
<th>Rp-Gehalt</th>
<th>Korn-N-Menge</th>
<th>TKM</th>
<th>Ähren/m²</th>
<th>Körner/Ahre</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Varianz-ursache</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>j</td>
<td></td>
<td>24.61**</td>
<td>25.70***</td>
<td>16.96*</td>
<td>65.11**</td>
<td>28.80***</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>12.16**</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*sys</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>due</td>
<td></td>
<td>12.07***</td>
<td>58.99***</td>
<td>7.33***</td>
<td>2.90*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*due</td>
<td></td>
<td>3.70**</td>
<td>ns</td>
<td>3.04*</td>
<td>3.05*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*due</td>
<td></td>
<td>4.38*</td>
<td>ns</td>
<td>3.56*</td>
<td>5.33**</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>sys</em>due</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>3.26*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi</td>
<td></td>
<td>72.31***</td>
<td>9.04**</td>
<td>44.87***</td>
<td>28.54***</td>
<td>ns</td>
<td>18.24***</td>
</tr>
<tr>
<td>j*mi</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>4.10*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*mi</td>
<td></td>
<td>2.46*</td>
<td>ns</td>
<td>2.20*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>due*mi</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys<em>due</em>mi</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>sys</em>mi</td>
<td></td>
<td>3.27**</td>
<td>3.44**</td>
<td>2.79*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>due</em>mi</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4). j= Jahr, sys= Nutzungssystem, due= Düngung, mi= Saatmischung; Korn-TM= Kornentrag 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 kleehaltiger Vorfrucht signifikant höhere Kornträge 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*

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

Korn-TM= Kornerton 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 m\(^2\) 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 kg N ha\(^{-1}\) und damit 18,7 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 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.
Die organische Düngung führt in den Varianten N₅₀ EC 25 und N₅₀ EC 30 zu einer signifikanten Kornenertragseigerung 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 Kornenertrag 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 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 dt ha\(^{-1}\) bzw. 9,2 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 (Ø TKM 45,9 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 zusätzlichen Leguminosen-N (ANR\(_{\Delta \text{leg}}\)) bzw. Gülle-N (ANR\(_{\text{slurry}}\)) 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 Kleegras-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 kleehaltiger Vorfrucht signifikant von dem N-HI nach 100% DW.
### Ergebnisse

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>F-Test</th>
<th>Spross-TM [g m⁻²]</th>
<th>Spross-N-Menge [g m⁻²]</th>
<th>HI</th>
<th>N-HI</th>
<th>ANRₐ leg. [%]</th>
<th>ANRₜ slur. [%]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>j</td>
<td>40,66***</td>
<td>20,87***</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*sys</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>due</td>
<td>ns</td>
<td>3,26*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>3,40*</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*due</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>3,32*</td>
</tr>
<tr>
<td>j*due</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>4,71**</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>sys</em>due</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>mi</td>
<td>15,19***</td>
<td>3,35*</td>
<td>3,51*</td>
<td>5,08*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>3,54*</td>
<td>3,94*</td>
<td>ns</td>
<td>3,97*</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>8,16***</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>due*mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys<em>due</em>mi</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); j= Jahr, sys= Nutzungssystem, due= Düngung, mi= Saatmischung; ANRₐ leg.= apparent N-recovery der Residuen, ANRₜ slur.= 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- (ANRₐ leg.) bzw. Gülle-N-Verwertung (ANRₜ slur.) 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Faktor / Faktorstufe</th>
<th>Parameter</th>
<th>Spross-TM [g m⁻²]</th>
<th>Spross-N-Menge [g m⁻²]</th>
<th>HI</th>
<th>N-HI</th>
<th>ANRₐ leg. [%]</th>
<th>ANRₜ slur. [%]</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Jahr</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1999</td>
<td></td>
<td>778,4</td>
<td>7,92</td>
<td>0,38</td>
<td>0,68</td>
<td>47,83</td>
<td>4,84</td>
</tr>
<tr>
<td>2000</td>
<td></td>
<td>981,4</td>
<td>9,99</td>
<td>0,43</td>
<td>0,74</td>
<td>63,81</td>
<td>11,21</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td>23,8***</td>
<td>0,33***</td>
<td>0,02*</td>
<td>0,04*</td>
<td>10,22ns</td>
<td>2,05ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Saatmischung</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>100% RK</td>
<td></td>
<td>968,2a</td>
<td>9,10ab</td>
<td>0,43a</td>
<td>0,78a</td>
<td>73,76</td>
<td>9,20</td>
</tr>
<tr>
<td>67% RK+33% DW</td>
<td></td>
<td>944,6a</td>
<td>9,69b</td>
<td>0,42ab</td>
<td>0,74a</td>
<td>54,08</td>
<td>12,28</td>
</tr>
<tr>
<td>33% RK+67% DW</td>
<td></td>
<td>865,4b</td>
<td>8,84ab</td>
<td>0,41ab</td>
<td>0,74a</td>
<td>39,63</td>
<td>7,76</td>
</tr>
<tr>
<td>100% DW</td>
<td></td>
<td>741,3c</td>
<td>8,19b</td>
<td>0,36b</td>
<td>0,59b</td>
<td>-</td>
<td>2,85</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td>23,6***</td>
<td>0,34*</td>
<td>0,02*</td>
<td>0,03*</td>
<td>11,45ns</td>
<td>2,24ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Nutzung</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td></td>
<td>872,8</td>
<td>8,65</td>
<td>0,39</td>
<td>0,70</td>
<td>65,12</td>
<td>6,31</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td></td>
<td>900,0</td>
<td>9,26</td>
<td>0,41</td>
<td>0,72</td>
<td>61,27</td>
<td>9,72</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td></td>
<td>866,9</td>
<td>8,95</td>
<td>0,41</td>
<td>0,71</td>
<td>41,08</td>
<td>8,05</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td>27,6ns</td>
<td>0,38ns</td>
<td>0,02ns</td>
<td>0,03ns</td>
<td>9,00ns</td>
<td>2,51ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Düngung</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 25</td>
<td></td>
<td>872,8</td>
<td>8,78ab</td>
<td>0,43</td>
<td>0,74</td>
<td>50,84b</td>
<td>5,31</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 30</td>
<td></td>
<td>927,4</td>
<td>9,44a</td>
<td>0,40</td>
<td>0,69</td>
<td>58,41ab</td>
<td>9,50</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 45</td>
<td></td>
<td>883,7</td>
<td>9,33ab</td>
<td>0,39</td>
<td>0,69</td>
<td>61,03a</td>
<td>9,28</td>
</tr>
<tr>
<td>N₀</td>
<td></td>
<td>835,6</td>
<td>8,28b</td>
<td>0,40</td>
<td>0,73</td>
<td>53,01ab</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td>26,5ns</td>
<td>0,34*</td>
<td>0,02ns</td>
<td>0,04ns</td>
<td>7,56*</td>
<td>2,12ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4); multiplier 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

\textit{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_{\text{slurry}}) ist um ein Vielfaches geringer als die ANR_{\Delta \text{leg.}}. Auf die ANR_{\text{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<sub>50</sub> EC 25) organischen Dünger erhält (51%). Allerdings ist die Verwertung des Residuen-N dieser beiden Varianten nicht unterschiedlich zum ungedüngten Weizen (N<sub>0</sub>).

Die Interaktion Nutzungssystem*Düngung zeigt einen Effekt auf die ANR<sub>slurry</sub> (Abb. 5): innerhalb der Nutzungsform S+GD führen die Düngungsvarianten N<sub>50</sub> EC 30 bzw. N<sub>50</sub> EC 45 zu einer Gülle-N-Verwertung von 12,9 bzw. 14,8%, die im Vergleich zu N<sub>50</sub> 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<sub>slurry</sub>) (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<sub>slurry</sub>) (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-Kleegras-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


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


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 Kleegras-Aufwuchsen sowie aus geschätzten Stoppel- und Wurzelmengen residuale N-Mengen im Bereich von 100-400 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 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

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 mehrmalig 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


### 3.4.3 Umsetzbarkeit der Residuen


3.4.4 Ertragsleistung von Winterweizen

3.4.4.1 Einfluss der Saatmischung


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 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


### 3.4.4.3 Scheinbare Verwertung von Leguminosen-N (ANR\(_{\Delta \text{leg.}}\))


In der eigenen Untersuchung wird die scheinbare Verwertung von N durch das Weizenkorn mit der Differenzmethode bestimmt (ANR$_{\Delta \text{leg.}}$). Der in die Berechnung eingehende N wird aus den kleeartenigen Residuen im Vergleich zur Gras-Reinsaat ermittelt. Vor dem Hintergrund der Literaturangaben ist die 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 abzuschirmen (Tab. 10). In den Varianten mit dreimaliger Schnittgutabfuhr (S) ist die 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 ANR$_{\Delta \text{leg.}}$. Dieses deutet darauf hin, dass die Aufnahme von N aus legumer Herkunft in Konkurrenz zur Gülle-


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianz- ursache</th>
<th>Jahr</th>
<th>Jahr*System</th>
<th>MI</th>
<th>Jahr*MI</th>
<th>System*MI</th>
<th>Jahr<em>System</em>MI</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Nutzungssystem</td>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
<td>GD</td>
<td>SE</td>
<td>Sign.</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>ANR_{\Delta \text{leg.}} [%]</td>
<td>68.33^a</td>
<td>52.77^ab</td>
<td>37.92^b</td>
<td>8.61^*</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

3.4.4.4 Einfluss der organischen Düngung


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 (N₀). Dagegen steigert die Gülledüngung zu EC 45 den Rp-Gehalt (Tab. 7). Diese Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von SPRATT & GASSER (1970) und LANGER & LI EW (1973),


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 Gülledüngung 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 NH\(_4\)-N ha\(^{-1}\) in Form von Gülle zu Winterweizen nach Kleegras zu einer Erhöhung der Korn-TM um 6-14 dt TM ha\(^{-1}\). Die Kleegras-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**


N-Verwertung in Abhängigkeit von der organischen Düngung


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 Gülleverwertung aufweist, wenn die Applikation zu EC 30 bzw. EC 45 erfolgt (Abb. 5). Generell werden geringe

Tab. 11: a) Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) und b) Bedeutung des Gülleapplikationstermins für die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANRslurry) 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 (ANRslurry) and
b) effect of date of slurry-application on ANRslurry for winter wheat (treatments with cutting S, S+GD; average of two years)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianz-ursache</th>
<th>jahr</th>
<th>sys</th>
<th>jahr*sys</th>
<th>due</th>
<th>sys*due</th>
<th>mi</th>
<th>sys*mi</th>
<th>due*mi</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>a)</td>
<td>2,31ns</td>
<td>0,90ns</td>
<td>0,30ns</td>
<td>5,97*</td>
<td>1,16ns</td>
<td>1,44ns</td>
<td>2,79*</td>
<td>0,30ns</td>
</tr>
<tr>
<td>b) Termin der Gülleapplikation</td>
<td>N&lt;sub&gt;50&lt;/sub&gt; EC 25</td>
<td>N&lt;sub&gt;50&lt;/sub&gt; EC 30</td>
<td>N&lt;sub&gt;50&lt;/sub&gt; EC 45</td>
<td>SE / Sign.</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>ANRslurry [%]</td>
<td>1,85&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td>12,17&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td>10,24&lt;sup&gt;a&lt;/sup&gt;</td>
<td>2,81*</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

a) Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 4), j= Jahr, sys= Nutzungsstystem, due= organische Düngung, mi= Saatmischung; 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) ANRslurry [%]= 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/Rotkleeplatz (*Trifolium pratense* L., *Lolium perenne* L.) und einer organischen Düngung untersucht. In der Vorfruchtpériode 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 scheinbare Verwertung von Leguminosen-N (ANR\textsubscript{Δ\textsubscript{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\textsubscript{0}) eine Korntrags- 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\textsuperscript{-1} bzw. 10,6 kg N ha\textsuperscript{-1} ab. Es wird festgestellt, dass die Variation des Düngetermins einen Effekt auf die ANR\textsubscript{Δ\textsubscript{leg}} ausübt. Der N aus den legum Varianten wird vermehrt zu Weizenkorn-N umgesetzt, wenn die Gülldüngung im späteren Wachstumsverlauf erfolgt: Die ANR\textsubscript{Δ\textsubscript{leg}} beträgt zu EC 25 51% und zu EC 45 61%. Die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR\textsubscript{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.

3.6 Literaturverzeichnis


FLESSA, H., POTTHOF, M. & LOFTFIELD, N., 2002: Greenhouse estimates of CO\textsubscript{2} and N\textsubscript{2}O emissions following surface application of grass mulch: importance of indigenous microflora of mulch. Soil Biology and Biochemistry 34, 875-879.


HAYNES, R., 1997: Fate and recovery of \textsuperscript{15}N 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.


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.


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


### 3.7 Anhang

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>C:N-Verhältnis</th>
<th>Nutzungs-system</th>
<th>Saatmischung</th>
<th>Sign.</th>
<th>SE</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td>67%</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td>RK</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td>RK +</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>67%</td>
<td>DW</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>12,79</td>
<td>15,36</td>
<td>16,39</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>14,11</td>
<td>17,54</td>
<td>17,45</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>14,85</td>
<td>18,47</td>
<td>19,72</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>31,22</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>29,34</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>19,33</td>
<td>26,18</td>
<td>27,94</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>19,78</td>
<td>25,62</td>
<td>28,92</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>19,21</td>
<td>23,89</td>
<td>25,64</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>41,54</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>35,88</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>16,36</td>
<td>22,55</td>
<td>24,61</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>17,63</td>
<td>22,71</td>
<td>25,78</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>16,93</td>
<td>21,77</td>
<td>23,81</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>38,77</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>33,84</td>
</tr>
</tbody>
</table>

SE = Standardfehler, Sign. = Signifikanzniveau 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

<table>
<thead>
<tr>
<th>N-Konzentration [%]</th>
<th>Nutzungs-system</th>
<th>Saatmischung</th>
<th>Sign. 1)</th>
<th>SE</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td>67%</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td>RK</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td>RK +</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>67%</td>
<td>DW</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>4,09</td>
<td>3,52</td>
<td>3,34</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>3,68</td>
<td>3,03</td>
<td>2,94</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>3,53</td>
<td>2,90</td>
<td>2,72</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>1,73</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>1,75</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>2,67</td>
<td>2,02</td>
<td>1,88</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>2,61</td>
<td>2,05</td>
<td>1,83</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>2,67</td>
<td>2,16</td>
<td>2,03</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>1,30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>1,44</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>3,32</td>
<td>2,52</td>
<td>2,29</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>3,03</td>
<td>2,40</td>
<td>2,13</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>3,13</td>
<td>2,45</td>
<td>2,24</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>1,39</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>1,53</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>2,67</td>
<td>2,02</td>
<td>1,88</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>2,61</td>
<td>2,05</td>
<td>1,83</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>2,67</td>
<td>2,16</td>
<td>2,03</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>1,30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>1,44</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>100%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>3,32</td>
<td>2,52</td>
<td>2,29</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>S+GD</td>
<td>3,03</td>
<td>2,40</td>
<td>2,13</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>GD</td>
<td>3,13</td>
<td>2,45</td>
<td>2,24</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>33%</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>RK</td>
<td></td>
<td>1,39</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>DW</td>
<td></td>
<td>1,53</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Jahr</td>
<td>obereirdische Biomasse [g TM m⁻²]</td>
<td>12,17</td>
<td>28,21</td>
<td>***</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Konzentration [%]</td>
<td>4,56</td>
<td>4,16</td>
<td>***</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge [g N m⁻²]</td>
<td>0,56</td>
<td>1,17</td>
<td>***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Kleegras-Saatmischung

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>100% RK</th>
<th>67% RK + 33% DW</th>
<th>33% RK + 67% DW</th>
<th>100% DW</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>22,41</td>
<td>17,75</td>
<td>20,58</td>
<td>20,03</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>4,21</td>
<td>4,45</td>
<td>4,40</td>
<td>4,39</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>0,90</td>
<td>0,79</td>
<td>0,91</td>
<td>0,86</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Kleegras-Nutzungs- system

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>S</th>
<th>S+GD</th>
<th>GD</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>20,25</td>
<td>19,59</td>
<td>20,74</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>4,17b</td>
<td>4,54a</td>
<td>4,37ab</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>0,82</td>
<td>0,88</td>
<td>0,89</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

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

<table>
<thead>
<tr>
<th>F-Test</th>
<th>Varianzursache</th>
<th>Parameter</th>
<th>j</th>
<th>sys</th>
<th>j*sys</th>
<th>mi</th>
<th>j*mi</th>
<th>sys*mi</th>
<th>j<em>mi</em>sys</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>oberirdische Biomasse [g TM m⁻²]</td>
<td>116,81***</td>
<td>ns</td>
<td>3,71*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>N-Konzentration [%]</td>
<td>18,39***</td>
<td>6,79**</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>N-Menge [g N m⁻²]</td>
<td>85,27</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 (ANRₐₗₑ₉.) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANRₛₜₐₗᵤᵣᵥ) im zweijährigen Mittel

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Nutzung</th>
<th>Saatmischung</th>
<th>Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Korn-TM</td>
<td></td>
<td>100% RK</td>
<td>67% RK +33% DW</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>39,14</td>
<td>36,48a</td>
<td>34,65b</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>42,07a</td>
<td>40,70c</td>
<td>36,57b</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>38,15a</td>
<td>37,00ab</td>
<td>34,69b</td>
</tr>
<tr>
<td>Korn-N</td>
<td></td>
<td>60,10c</td>
<td>60,43a</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>65,08a</td>
<td>63,10a</td>
<td>60,43a</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>71,68a</td>
<td>72,15c</td>
<td>64,92b</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>65,36a</td>
<td>65,93a</td>
<td>61,43a</td>
</tr>
<tr>
<td>ANRₐₗₑ₉</td>
<td></td>
<td>54,07bc</td>
<td>48,21b</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>93,07a</td>
<td>54,07bc</td>
<td>48,21b</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>69,26</td>
<td>72,23</td>
<td>42,31</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>58,94</td>
<td>35,95</td>
<td>28,35</td>
</tr>
<tr>
<td>ANRₛₜₐₗᵤᵣᵥ</td>
<td>S</td>
<td>7,29</td>
<td>7,18</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>11,12ab</td>
<td>17,35a</td>
<td>11,08ab</td>
</tr>
<tr>
<td>GD</td>
<td>9,20</td>
<td>12,31</td>
<td>9,03</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Sign. Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices (s. Tab. 4) (slice = Nutzungssystem); multiplier 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_{Δ leg.}) und die scheinbare Gülle-N-Verwertung (ANR_{slurry}) im zweijährigen Mittel

<table>
<thead>
<tr>
<th>Org. Düngung</th>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Korn-TM</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>N₀</td>
<td>32,91</td>
<td>34,20</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 25</td>
<td>34,11</td>
<td>35,89</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 30</td>
<td>36,46^{ab}</td>
<td>39,04^{a}</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 45</td>
<td>32,61^{b}</td>
<td>36,68^{a}</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Korn-N</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>N₀</td>
<td>56,43</td>
<td>60,00</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 25</td>
<td>57,56</td>
<td>60,73</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 30</td>
<td>61,29^{ab}</td>
<td>67,75^{a}</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 45</td>
<td>58,20^{a}</td>
<td>66,97^{a}</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>ANR_{Δ leg.}</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>N₀</td>
<td>68,33^{a}</td>
<td>52,77^{ab}</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 25</td>
<td>61,20^{a}</td>
<td>63,13^{a}</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 30</td>
<td>64,05</td>
<td>63,61</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 45</td>
<td>66,88</td>
<td>65,56</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>ANR_{slurry}</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>N₀</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 25</td>
<td>2,30</td>
<td>1,46</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 30</td>
<td>10,91</td>
<td>12,91</td>
</tr>
<tr>
<td>N₅₀ EC 45</td>
<td>5,71</td>
<td>14,79</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Rotkleegras für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefährung 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 Rotkleegras für das Vorkommen von Nitrat im Sickerwasser und die Ertragsleistung der Folgefrucht Weizen

4.1 Einleitung


Im norddeutschen Klimaraum ist im Winterhalbjahr die Menge des Niederschlags größer als die Verdunstung und es kommt zur Grundwasserneubildung durch Wasserversickerung im Boden (BEINHAUER & GÜNTER 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 (NO₃⁻) verursacht (WHITE ...


Im Hinblick auf das Leitbild des Ökologischen Landbaus als eine ressourcenschonende Landnutzungsform und der hohen Anbaubedeutung von Winterweizen bedarf es einer wissenschaftlichen Vergleichsuntersuchung verschiedenster Kleebras-Nutzungssysteme nach Herbstumbruch auf einem N-austragsgefährdeten Standort, um eine optimale Folgefruchtertragsleistung bei gleichzeitig minimalem NO\textsubscript{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 Kleebras-Schnittnutzung, ii) eine aus den klassischen Nutzungen Schnitt und Mulchen kombinierte Nutzungsform, iii) eine praxisüblich mehrmalig gemulchte Gründüngung und iiii) eine extensiv bewirtschaftete Gründüngung sowohl nach Herbst- als auch nach Frühjahrumbruch 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 Witterungsdaten der Untersuchungszeiträume und das langjährige Mittel wurden von der 20 km entfernten 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 Versuchsjaehr 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)

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>2001</td>
<td>2002</td>
<td>2003</td>
</tr>
<tr>
<td>Temperatur [°C]</td>
<td>8,8</td>
<td>9,7</td>
<td>9,6</td>
</tr>
<tr>
<td>Niederschlag [mm]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Jahressumme</td>
<td>810</td>
<td>961</td>
<td>524</td>
</tr>
<tr>
<td>Summe April bis Oktober</td>
<td>544</td>
<td>609</td>
<td>332</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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

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 Grüngut auf der Fläche verblieb. Tabelle 3 gibt Auskunft über die Zeitpunkte der verschiedenen Kleebras-Bewirtschaftungsmaßnahmen. Die erste Nutzung erfolgte in beiden Untersuchungsjahren Ende Mai zum Zeitpunkt „späte Siloere“.

4.2.2 Pflanzenprobenahme und Untersuchung

Kurz vor Umbruch der Kleegras-Bestände wurde die ober- und die unterirdische Kleegras-Biomasse (Kleegras-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 Aufwuchse (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.


### Tab. 4: 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)

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Zonen</th>
<th>n</th>
<th>MW</th>
<th>Spannweite</th>
<th>SD</th>
<th>SEC</th>
<th>r²C</th>
<th>SEV</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Spross &gt; 5 cm</td>
<td>Klee</td>
<td>134</td>
<td>2.77</td>
<td>0.94-4.99</td>
<td>0.99</td>
<td>0.10</td>
<td>0.99</td>
<td>0.16</td>
</tr>
<tr>
<td>Spross &lt; 5 cm</td>
<td>C</td>
<td>142</td>
<td>44.67</td>
<td>42.23-46.86</td>
<td>0.95</td>
<td>0.46</td>
<td>0.76</td>
<td>0.49</td>
</tr>
<tr>
<td>Weizen</td>
<td>N</td>
<td>172</td>
<td>1.73</td>
<td>0.41-3.68</td>
<td>0.80</td>
<td>0.10</td>
<td>0.98</td>
<td>0.13</td>
</tr>
<tr>
<td>Korn</td>
<td>C</td>
<td>174</td>
<td>37.60</td>
<td>15.57-46.58</td>
<td>6.33</td>
<td>1.31</td>
<td>0.96</td>
<td>1.74</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Asche</td>
<td>172</td>
<td>24.48</td>
<td>5.00-69.50</td>
<td>13.63</td>
<td>2.83</td>
<td>0.96</td>
<td>3.84</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N</td>
<td>116</td>
<td>1.30</td>
<td>0.24-2.42</td>
<td>0.50</td>
<td>0.07</td>
<td>0.98</td>
<td>0.07</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C</td>
<td>113</td>
<td>30.89</td>
<td>6.31-45.06</td>
<td>8.42</td>
<td>0.98</td>
<td>0.99</td>
<td>0.98</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Asche</td>
<td>107</td>
<td>40.48</td>
<td>4.84-85.85</td>
<td>17.20</td>
<td>2.75</td>
<td>0.98</td>
<td>2.74</td>
</tr>
</tbody>
</table>

4.2.3 Boden-N_{min}-Probennahme und Untersuchung

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

4.2.4 Saugkerzenanlage und Sickerwasser-Probennahme

Die Gewinnung von Sickerwasserproben erfolgte mit einer Saugkerzenanlage. Mit einem Pürckhauer Bohrstock (Ø 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, Ø 20 mm, max. Porengröße 1 µm) mit einer PVC-Rohrverlängerung (Ø 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 / Auffanggefäβ 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 Scintillationsgefäβe 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 $[\text{mg l}^{-1}]$ 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 climatischen Wasserbilanz KWB [mm] berechnet (DVWK 1996):

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

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:

$$W_{i+1} = W_i + (ND_i - ETp_i) - SW_i$$  (2)

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

$W_i$ [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 Sickerwasserauffalls 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$^{-1}$] ($N$-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:

$$N$-Fracht$_{kr} = SW_k \times 50 / 4,43$$  (3)
4.2.6 Statistische Auswertung


Vor Beginn der statistischen Analyse wurde der Datensatz mit Hilfe eines Residuen­Schätzwertplots auf Varianzhomogenität überprüft.


4.3 Ergebnisse

4.3.1 Rotkleegras-Residuen

Die Charakterisierung der Rotkleegras-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 Kleegras-Stoppeln (< 5 cm) zusammen und enthält je nach Nutzungssystem auch Mulch vorheriger Aufwuchse.

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 Kleegras-Managements auf die Menge und Qualität der Kleegras-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 Rotkleegras-Residuen

<table>
<thead>
<tr>
<th>F-Test</th>
<th>Varianzursache</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Residuen-Fraktion</td>
<td>Parameter</td>
</tr>
<tr>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>OM</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Konz.</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurzeln</td>
<td>OM</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Konz.</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>OM</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Konz.</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>N-Menge</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>C:N</td>
</tr>
</tbody>
</table>

N-Konz. = N-Konzentration; j = Jahr; sys = Nutzungssystem; umbr = Umbruchtermin;
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%)
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 Versuchs faktoren auf der Faktorstufenebene ermittelt. Dagegen ist die von den Versuchs faktoren 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 Versuchs faktoren Kleegras-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 Rotkleegras-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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Residuenfraktion</th>
<th>Termin</th>
<th>Kleegras-Nutzung</th>
<th>Sign. 1)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>3-Schnitte (S)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>2-Schnitte + 1x Mulchen (S+GD)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>3x Mulchen (GD&lt;sub&gt;int&lt;/sub&gt;)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>1x Mulchen (GD&lt;sub&gt;ext&lt;/sub&gt;)</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Parameter</td>
<td>Residuenfraktion</td>
<td>Termin</td>
<td>Kleegras-Nutzung</td>
<td>Sign. 1)</td>
</tr>
<tr>
<td>OM [g m&lt;sup&gt;-2&lt;/sup&gt;]</td>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>HU</td>
<td>209.5&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>182.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>Wurzeln</td>
<td>HU</td>
<td>323.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>394.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>HU</td>
<td>533.0&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>577.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>N-Konzentration [%]</td>
<td>Wurzeln</td>
<td>HU</td>
<td>2.50</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>2.60&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>HU</td>
<td>7,21&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>6,08</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>N-Menge [g m&lt;sup&gt;-2&lt;/sup&gt;]</td>
<td>Wurzeln</td>
<td>HU</td>
<td>15,11&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>16,23</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>HU</td>
<td>16,46</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>14,64&lt;sup&gt;b&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>*</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>C:N</td>
<td>Wurzeln</td>
<td>HU</td>
<td>21,59</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>20,55&lt;sup&gt;ab&lt;/sup&gt;</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Gesamt-Residuen</td>
<td>Sprossmaterial</td>
<td>HU</td>
<td>19,60</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>FU</td>
<td>18,66</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Sign.: ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

HU= Herbstumbruch, FU= Frühjahrumbruch; SE= Standardfehler, Sign. Signifikanzniveaus 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. Frühjahrumbruch innerhalb einer Nutzungsf orm (slice= Nutzungssystem)
Zum Termin FU ist das C:N-Verhältnis für GD <sub>ext</sub> 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 <sub>ext</sub> 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 <sub>ext</sub> ist zum Frühjahrsverbruch (FU) gegenüber S, S+GD und GD <sub>int</sub> signifikant (Tab. 6).

### 4.3.2 Boden-N<sub>min</sub>-Gehalte

Die mineralischen Boden-N-Gehalte (N<sub>min</sub>) werden für die Beprobungstermine Herbstverbruch (HU), Vegetationsende (VE) und -beginn (VB) in der Tiefe 0-90 cm vorgestellt. Die N<sub>min</sub>-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 Kleegras-Nutzung auf den N<sub>min</sub>-Gehalt hat und welche Bedeutung dem Umbruchtermin in Abhängigkeit von der Kleegras-Nutzung zu kommt, erfolgt die statistische Analyse für intaktes Kleegras zum HU und zu den Terminen HU, VE und VB. Ferner wird der N<sub>min</sub>-Gehalt von umgebrochenem, mit Winterweizen bestellten und von überwinterndem Kleegras zu VE und VB betrachtet.

Tab. 7: Ergebnisse der Varianzanalyse (F-Werte und Signifikanzniveaus) für die Boden-N<sub>min</sub>-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*

<table>
<thead>
<tr>
<th>Boden-N&lt;sub&gt;min&lt;/sub&gt;-Gehalt</th>
<th>Kleegras zum Termin HU</th>
<th>Kleegras zu den Terminen HU, VE und VB</th>
<th>Winterweizen und Kleegras zu den Terminen VE und VB</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>j</td>
<td>12,06*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>12,32***</td>
<td>30,85***</td>
<td>16,03***</td>
</tr>
<tr>
<td>j*sys</td>
<td>ns</td>
<td>4,62**</td>
<td>5,78**</td>
</tr>
<tr>
<td>umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>20,61***</td>
</tr>
<tr>
<td>j*umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>6,40**</td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>sys</em>umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>ter</td>
<td>-</td>
<td>8,40***</td>
<td>97,82***</td>
</tr>
<tr>
<td>ter*j</td>
<td>-</td>
<td>19,46***</td>
<td>171,69***</td>
</tr>
<tr>
<td>ter*sys</td>
<td>-</td>
<td>3,46**</td>
<td>11,09***</td>
</tr>
<tr>
<td>ter<em>sys</em>sys</td>
<td>-</td>
<td>5,66***</td>
<td>24,86***</td>
</tr>
<tr>
<td>ter<em>sys</em>umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>ter<em>sys</em>umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>2,86*</td>
</tr>
<tr>
<td>ter<em>sys</em>umbr</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>6,61***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

HU = Herbstverbruch, VE = Vegetationsende, VB = Vegetationsbeginn; j = Jahr, sys = Nutzungssystem, umbr = Umbruchzeitpunkt, ter = Probenahmetermine; Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5)
Die Kleegras-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 Kleegras zu den Terminen HU, VE und VB zeigt für die Kleegras-Nutzung in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt einen signifikanten Effekt (Tab. 7 und Abb. 3). Ebenso ist der Vergleich Kleegras vs. Winterweizen in Abhängigkeit von der Nutzung und dem Termin signifikant (Tab. 7 und Abb. 4).

Zum Termin Herbststumbruch unterscheiden sich die Boden-N_{min}-Gehalte der Kleegras-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).

![Diagramm](image)

**Abb. 2:** Bedeutung der Rotkleegras-Bewirtschaftung für den Boden-N_{min}-Gehalt [kg N ha^{-1}] zum Termin Herbststumbruch (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 Herbststumbruch (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 Rotkleegras (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 Kleegras 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 Kleegras-Nutzung auf den N_{min}-Gehalt nach HU unter Winterweizen zu Vegetationsende (Tab. A1).
Die Abb. 4 zeigt die Ergebnisse 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) multipli- 
cer Mittelwertvergleich (T-Test) der Nutzungssysteme je Probenahme- und Umbruchtermin, b) 
multipli- 
cer Mittelwertvergleich innerhalb eines Kleegras-Nutzungssystems (KG= Kleegras, 
HU= Herbstumbruch / Oktober, VE= November, VB= März)


d) 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 Vorfruchtnutzung 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 ermittelnt (Tab. A1).

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

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

A. 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 NO₃⁻-Konzentration und NO₂⁻N-Fracht im Sickerwasser

Die NO₃⁻-Konzentrationen und die kumulativen NO₃⁻-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 NO₃⁻-Konzentration im Sickerwasser der Nutzungsformen S, S+GD und GD_{int.} für die überwinternden Kleegras-Bestände deutlich niedriger als für die Variante Herbstumbruch mit Winterweizenansaat (Abb. 6 und Abb. 7). Eine zum Herbstumbruch vergleichbare oder höhere NO₃⁻-Konzentration ist nur an wenigen Terminen im Bereich bis max. 30 mg NO₃⁻ l⁻¹ festzustellen. Die NO₃⁻-Konzentration im Sickerwasser nach Herbstumbruch der Varianten S, S+GD und GD_{int.} überschreitet unabhängig von der Kleegras-Nutzung und SWP wiederholt den EU-Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO₃⁻ l⁻¹, während unter überwinterndem Kleegras für diese Varianten sowohl in der SWP 2001/02 als auch in der SWP 2002/03 mit nur einer Ausnahme (SWP 2002/03 GD_{int.}) eine unter dem EU-Trinkwassergrenzwert liegende NO₃⁻-Konzentration festzustellen ist. Dagegen bewirkt die 1x gemulchte Gründüngung (GD_{ext.}) in beiden Untersuchungsperioden sowohl unter überwinterndem Kleegras als auch unter Winterweizen in der Mehrzahl der Termine eine Grenzwertüberschreitung. Für die Nutzungsform GD_{ext.} wird in beiden SWP unter Kleegras eine im Vergleich zur Variante Herbstumbruch gleich hohe bzw. höhere NO₃⁻-Konzentration festgestellt. Die höchste NO₃⁻-Konzentration im Sickerwasser wird in der SWP 2001/02 mit 144 mg NO₃⁻ l⁻¹ für GD_{ext.} und in der SWP 2002/03 mit 163 mg NO₃⁻ l⁻¹ für GD_{int.} nach Herbstumbruch unter Winterweizen bestimmt.

Die kumulierte NO₃⁻-N-Fracht im Sickerwasser unter Kleegras, 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: NO$_3^-$ Konzentration [mg NO$_3^-$ l$^{-1}$] und kumulierte NO$_3$-N Fracht [kg NO$_3$-N ha$^{-1}$] im Sickerwasser im Zeitverlauf der SWP 2001/02 (Sickerwassermenge: 286 mm)

NO$_3^-$ concentration [mg NO$_3^-$ l$^{-1}$] and accumulated NO$_3$-N load [kg NO$_3$-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 NO$_3$-N-Fracht des gesamten Untersuchungszeitraums ergibt für die Prüffaktoren Kleegras-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 NO$_3$-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 [mg NO$_3$⁻ l$^{-1}$] und die kumulierte Nitrat-N-Fracht [kg NO$_3$-N ha$^{-1}$] im Sickerwasser

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Varianzursache</th>
<th>j</th>
<th>sys</th>
<th>j*sys</th>
<th>umbr</th>
<th>j*umbr</th>
<th>umbr*sys</th>
<th>j<em>umbr</em>sys</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>NO$_3$-Konzentration</td>
<td>ns</td>
<td>23.34***</td>
<td>4.29*</td>
<td>92.79***</td>
<td>ns</td>
<td>4.23*</td>
<td>ns</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>NO$_3$-N Fracht</td>
<td>55.23***</td>
<td>26.62***</td>
<td>10.75***</td>
<td>65.75***</td>
<td>ns</td>
<td>4.99*</td>
<td>ns</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Kleegras-Bestände (S, S+GD, GD$_{int}$) liegt zwischen 12 und 31 mg l$^{-1}$ und damit unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes von 50 mg NO$_3$⁻ 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 GD$_{ext}$ liegt unabhängig vom Umbruchtermin deutlich oberhalb des Grenzwertes.

Die kritische NO$_3$-N-Fracht, die im Mittel der beiden Untersuchungszeiträume bei einer durchschnittlichen Sickerwassermenge von 220 mm zum Überschreiten des EU-Grenzwertes von 50 mg NO$_3$⁻ l$^{-1}$ führt, beträgt 24,8 kg NO$_3$-N ha$^{-1}$ (Abb. 8b). Im Hinblick auf den Trinkwassergrenzwert ist die Ausprägung der NO$_3$-N-Fracht der geprüften Varianten gleichgerichtet zur mittleren NO$_3$⁻-Konzentration. Da die NO$_3$⁻-Konzentration als arithmetisches Mittel angegeben und nicht aus der NO$_3$-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 Kleegras ist kein Unterschied der beiden Nutzungsformen mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) hinsichtlich der NO$_3$⁻-
Konzentrationen und der NO₃-N-Fracht im Sickerwasser (Abb. 8a & b) festzustellen. Dagegen zeigt die umgebrochene Variante S+GD ein signifikant erhöhtes NO₃⁻-Vorkommen im Sickerwasser gegenüber S, unterscheidet sich aber nicht von der 3x gemulchten Variante (GD₃₅). Durch Umbruch der Bestände im Herbst erhöht sich die NO₃-N-Fracht der Varianten mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) um das 4-fache und die der 3x gemulchten Gründüngung (GD₃₅) um das doppelte, ist aber damit immer noch signifikant niedriger gegenüber der NO₃-N-Fracht der Variante GD₅ₕ.

Abb. 8: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Umbruchtermin für die a) mittlere NO₃⁻-Konzentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] (P= 0.0222, SE= 5.71) und b) kumulierte NO₃-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 Umbruchterms

**Impact of defoliation system*date of ploughing interaction on a) mean NO₃⁻ concentration [mg NO₃⁻ l⁻¹] (P= 0.0222, SE= 5.71) and b) accumulated NO₃-N load [kg NO₃-N ha⁻¹] (P= 0.0201, 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 Rotkleegras-Folgefucht Winter- bzw. Sommerweizen


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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>Parameter</th>
<th>Korn-Ertrag</th>
<th>Rp-Gehalt</th>
<th>Korn-N-Menge</th>
<th>Spross-N-Menge</th>
<th>Ähren/m²</th>
<th>Körner/Ähre</th>
<th>TKM</th>
<th>Harvest Index</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>j</td>
<td></td>
<td>9,90*</td>
<td>22,08**</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>91,25***</td>
<td>27,02**</td>
<td>20,32**</td>
<td>14,04**</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>19,13***</td>
<td>3,24*</td>
<td>5,26**</td>
<td>6,63**</td>
<td>4,36*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*sys</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>3,28*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>ffr</td>
<td></td>
<td>7,43*</td>
<td>178,80***</td>
<td>6,40*</td>
<td>ns</td>
<td>5,67*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j*ffr</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>18,89*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>6,82*</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>sys*ffr</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>j<em>ffr</em>sys</td>
<td></td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Im Mittel von Nutzungssystem, Folgefucht 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 Kleegras-Bewirtschaftung GDext bewirkt im Vergleich zur Variante S+GD eine um 12% höhere Korn-N-Menge. Die Anzahl Ähren/m² des Weizens nach ausschließlich gemulchtem Kleegras (GDint. und GDext.) 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 (GDint. & GDext.) 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/m\(^2\) 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 (Kleegras-Nutzungssystem und Folgefrucht) für die Ertragsleistungsparameter von Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003

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

\(^1\)Kornenertrag 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

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; multipier 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


4.4.1 Umsetzbarkeit der Rotkleegras-Residuen


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 Kleegras-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 Inhaltsstoffzusammensetzung mit zunehmendem Pflanzenalter zurückgeführt werden (Wivstad 1997; Nicolardot et al. 2001). Auch die Auswaschung leichtlösbarer N-Verbindungen aus der oberirdisch aufliegenden pflanzlichen


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 Kleegras-Bestände darstellen zu können.

4.4.2 Boden-N\textsubscript{\textit{min}}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser


4.4.2.1 Boden-N\textsubscript{\textit{min}}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser bei überwinterndem Kleegras

In dieser Untersuchung zeigen die überwinternden Kleegras-Bestände der Varianten S, S+GD und GD\textsubscript{int.} angesichts signifikant niedrigerer Boden-N\textsubscript{\textit{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 Grünmaterial auf dem Halm überwintert. Generell führt oberflächig aufliegenderes Pflanzenmaterial im Vergleich zu eingearbeitetem zu einer geringeren Mineralisation (AULAKH et al. 1991a; SCHOMBERG et al. 1994).

Für überwinterndes Kleegras mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) wird sowohl vor als auch nach der Sickerwasserperiode ein N\textsubscript{\textit{min}}-Niveau von ca. 40 kg N ha\textsuperscript{-1} nachgewiesen (Abb. 3), und obgleich die Sickerwassermengen 2001/02 und 2002/03 sehr unterschiedlich waren, ist die kumulierte NO\textsubscript{3}-N-Fracht der beiden Untersuchungszeiträume für S (4,6 bzw. 4,8 kg NO\textsubscript{3}-N ha\textsuperscript{-1}) und für S+GD (8,4 bzw. 6,5 kg NO\textsubscript{3}-N ha\textsuperscript{-1}) nahezu identisch (Abb. 6 & 7). Daraus ist zu folgern, dass der N-Export durch die Schnittgutabfuhr in Verbindung mit dem unversehrten Kleegras-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

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

Festzuhalten ist, dass alle mehrmali genutzten überwinternden Kleegrass-Bestände (S, S+GD, GD$_{\text{int.}}$) mit ihrer mittleren NO$_3$-Konzentration unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes bzw. mit ihrer NO$_3$-N-Fracht unterhalb des kritischen Wertes und im Bereich des natürlichen Vorkommens von NO$_3$-N im Sickerwasser (10 mg NO$_3$-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\textsubscript{min}-Gehalt und Nitrat im Sickerwasser nach Herbstumbruch

Durch die Einarbeitung von Kleegras-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; Lindén & Wallgren 1993; Watson et al. 1993; Faßbender 1998). Nach frühem Herbstumbruch kann sich der N\textsubscript{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 Umbrucheffekt in einer signifikanten Interaktion mit der Kleegras-Nutzung auf. In den Varianten S, S+GD und GD\textsubscript{int.} sind erhöhte N\textsubscript{min}-Gehalte zu Vegetationsende festzustellen, die auf eine erhebliche Stickstoff-Mineralisierung nach Herbstumbruch hinweisen, während für GD\textsubscript{ext.} auf hohem Niveau kein Unterschied im Boden-N\textsubscript{min}-Gehalt zwischen umgebrochenem und intaktem Kleegras bestimmt wird (Abb. 4b). Die durch den Herbstumbruch hervorgerufene erhöhte N-Freisetzung in den Varianten S, S+GD und GD\textsubscript{int.} verursacht gegenüber den überwinternden Beständen höhere NO\textsubscript{3}-Konzentrationen im Sickerwasser (Abb. 6, 7 & 8a). In den Prüfgleidern mit Schnittgutabfuhr (S und S+GD) führt der Anstieg der NO\textsubscript{3}-Konzentrationen zu einer 4-fachen NO\textsubscript{3}-N-Fracht, während nach Herbstumbruch von GD\textsubscript{int.} die NO\textsubscript{3}-N-Fracht um das Doppelte erhöht ist (Abb. 8b, Tab. A2). Die Akkumulation von mineralischem N im Boden unter GD\textsubscript{ext.} erzeugt unabhängig vom Umbruchtermin äußerst hohe NO\textsubscript{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 Aufwuchse (S) eine NO\textsubscript{3}-Konzentration bzw. NO\textsubscript{3}-N-Fracht, die unterhalb des Trinkwassergrenzwertes liegt (Abb. 8a & b). Im Hinblick auf das NO\textsubscript{3}-N-Vorkommen im Sickerwasser ließe sich daraus ableiten, dass sich Winterweizen als Kleegras-Folgefrucht unter den gegebenen maritimen Klimabedingungen nicht eignet, wenn nutzungsbedingt Aufwuchsmaterial auf der Fläche verbleibt, da die vorwinterliche N-Aufnahme von relativ spät gesätem Winterweizen nach Kleegras-Herbstumbruch sehr gering ist. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang eine N-Aufnahme von 1 bis 8 kg N ha\textsuperscript{-1} angegeben (Lindén & Wallgren 1993; Loges 1998; Kaske 2000).

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

In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass ein Zusammenhang zwischen dem mineralischen Boden-N-Gehalt im Herbst und dem NO$_3$-Vorkommen im Sickerwasser bestehen kann. Bei einem Methodenvergleich ermittelte FÄBBENDER (1998) eine relativ gute Übereinstimmung zwischen dem NO$_3$-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 Weißkleegras einen linearen Zusammenhang zwischen dem Boden-$N_{\text{min}}$-Gehalt zu Vegetationsende und der NO$_3$-N-Fracht im Sickerwasser. Aus den eigenen Ergebnissen ist mit Hilfe der Regressionsanalyse auch ein genereller Zusammenhang zwischen dem $N_{\text{min}}$-Gehalt zu Vegetationsende bzw. dem $N_{\text{min}}$-Saldo (Vegetationsende – Vegetationsbeginn) und der NO$_3$-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 NO$_3$-N-Fracht im Sickerwasser nicht ausschließlich vom Boden-$N_{\text{min}}$-Gehalt beeinflusst wird: die Herbstumbruchvarianten von S, S+GD und GD$_{\text{int.}}$ unterscheiden sich kaum im $N_{\text{min}}$-Gehalt zu Vegetationsende (Abb. 4a); aber hinsichtlich der mittleren NO$_3$-Konzentration bzw. NO$_3$-N-Fracht werden für S+GD und GD$_{\text{int.}}$ 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 (Kleegras bzw. Winterweizen) ein funktionaler Zusammenhang festzustellen ist. Unter diesen Vorraussetzungen konnte...
schließlich kein linearer Zusammenhang abgesichert werden, weil innerhalb der Untersuchungsjahre einerseits der Stichprobenumfang zu gering ist und andererseits die unabhängige Variable ($N_{\text{min}}$) keinen eindeutigen Zusammenhang zur NO$_3$-N-Fracht aufweist (o. Darstellung). Dagegen sind lineare Zusammenhänge signifikant, wenn jedes Nutzungssystem einer Umbruchvariante einzeln betrachtet und die $N_{\text{min}}$-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 Kleegrass-Nutzung. Ausgewählte lineare Regressionen einzelner Kleegrass-Nutzungssysteme werden im folgenden dargestellt (Abb. 10b & c, Abb. 11b & c). Daraus folgender führt nach Herbstumbruch eine Steigerung des mineralischen Boden-N um 1 kg ha$^{-1}$ in der Variante S zu einer Erhöhung der NO$_3$-N-Fracht um 0,38 kg NO$_3$-N ha$^{-1}$, während für GD$_{\text{ext.}}$ die NO$_3$-N-Fracht-Zunahme fast doppelt so hoch ist (0,63 kg NO$_3$-N ha$^{-1}$) (Abb. 10c). Nach Herbstumbruch ist bei gleichem Boden-$N_{\text{min}}$ im Bereich von 45 bis 93 kg $N_{\text{min}}$ ha$^{-1}$ die NO$_3$-N-Fracht von S deutlich geringer im Vergleich zu GD$_{\text{ext.}}$ (Abb. 10c).

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

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

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse (Abb. 10 & Abb. 11) zeigen, dass der mineralische Boden-N-Gehalt nicht generell zur Abschätzung der NO$_3$-N-Fracht herangezogen werden kann, sondern die Beurteilung des N-Austragspotentials in Verbindung mit der vorherigen Kleegras-Nutzung erfolgen muss. Offensichtlich
verursacht das Belassen von Kleegras-Aufwuchsen 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 NO$_3$-N-Vorkommen im Sickerwasser bei.


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).


4.4.4 Folgefruchtertragsleistung


Obwohl der Weizenkornertrag nicht von der vorherigen Kleegras-Bewirtschaftung beeinflusst wird, zeigt die Weizenspross-N-Menge und die Ertragsstruktur einen signifikanten Zusammenhang zum Kleegras-Nutzungssystem (Tab. 10). So wird nach ausschließlich gemulchtem Kleegras (GD_{int.} & GD_{ext.}) eine um 21-29 kg ha⁻¹ höhere N-Akkumulation in der oberirdischen Weizenbiomasse ermittelt als beim Weizen mit Kleegras-Schnittgutabfuhr (S & S+GD). Im Vergleich zur reinen Schnittgutabfuhr (S) ist bei diesen Weizen-Beständen (GD_{int.} & GD_{ext.}) zusätzlich eine signifikant höhere Triebsdichte 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 wirkt sich positiv auf die Bekörnung 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.} eine größerer Anteil an N in der nicht erntbaren Biomasse gebunden ist.

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

Für den Weizen nach extensiver Kleegras-Gründüngung (GD_{ext.}) wird im Vergleich zur Variante S+GD eine um 8,5 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 NO\textsubscript{3}-N-Fracht im Sickerwasser im Mittel der Kulturen um 20 kg NO\textsubscript{3}-N ha^{-1} (Tab. A2). Die Regressionsanalyse zeigt sowohl für Sommerweizen als auch für Winterweizen, dass auch bei niedrigen NO\textsubscript{3}-N-Frachten durchaus hohe Korn-N-Entzüge realisiert werden können (Abb. 12). Beim Winterweizen stehen niedrigere Korn-N-Mengen im Zusammenhang mit höheren NO\textsubscript{3}-N-Frachten (Abb. 12b).

\begin{figure}[h]
\centering
\includegraphics[width=\textwidth]{Abb_12.png}
\caption{Zusammenhang zwischen der Korn-N-Menge von a) Sommerweizen bzw. b) Winterweizen und der kumulierten NO\textsubscript{3}-N-Fracht im Sickerwasser für ausgewählte Kleegras-Nutzungssysteme (Sickerwasserperioden 2001/02 & 2002/03 sowie Erntejahre 2002 & 2003)}
\end{figure}

Relationship between grain-N of a) spring wheat and b) winter wheat and the NO\textsubscript{3}-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)

4.5 Zusammenfassung

In einem Feldversuch wurde das Fruchtfolgeg lied 'Klee-Weizen' (Trifolium pratense L. / Lolium perenne L. - Triticum aestivum L.) mit den Versuchs faktoren Klee-gras-Bewirtschaftung (S: 3-Schnitte; S+GD: 2-Schnitte + 1x Mulchen; GDI nt.: 3x Mulchen; GDext.: 1x Mulchen) und Umbruchtermin (Herbstumbruch HU mit Winterweizen; Frühjahrumbruch FU mit Sommerweizen) im Hinblick auf wesentliche Kenngrößen des Stickstoff-(N)-Haushaltes und Folgefruchtertrages in zwei Untersuchungszeiträumen geprüft. Es wurden Parameter zur Charakterisierung der Klee-gras-Residuen erhoben sowie der Boden-Nmin-Gehalt, das Nitrat-Vorkommen im Sickerwasser während der Sickerwasserperioden (SWP) 2001/02 und 2002/03 und der Weizenertrag im jeweils anschließenden Erntejahr bestimmt.


Im Gegensatz zum Pflanzenresiduen-N wird das Vorkommen von mineralischem N im Boden (Nmin) und im Sickerwasser (NO3-) erheblich von der Klee-gras-Bewirtschaftung und vom Umbruchzeitpunkt beeinflusst. Die Schnittgutabfuhr (S, S+GD) führt in Verbindung mit der Klee-gras-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 Klee-gras-Biomasse auf der Fläche in Abhängigkeit von der Sickerwassermenge zu wesentlich höheren NO3-N-Frachten führen (GDI nt.: 9,2 bzw. 21,9 kg NO3-N ha⁻¹; GDext.: 14,4 bzw. 59,8 kg NO3-N ha⁻¹). Die mittlere NO3-
Konzentration im Sickerwasser der mehrmalig genutzten überwinternden Kleegrass-Bestände (S, S+GD, GD\textit{int}) liegt unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes. Gegenüber den überwinternden Beständen wird nach Herbstumbruch und Winterweizenansaat in den Varianten S, S+GD und GD\textit{int} eine erhöhte N-Mineralisierung festgestellt, die ein höheres NO\textsubscript{3}^-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\textsubscript{min}-Gehalt und NO\textsubscript{3}^-N-Fracht abgeleitet werden. Allerdings muss die Abschätzung des N-Austragspotentials anhand von Boden-N\textsubscript{min}-Gehalten unter Berücksichtigung der vorherigen Kleegrass-Nutzung erfolgen.

Die Ertragsleistung der Folgekultur Weizen wird nur geringfügig von der vorherigen Kleegrass-Nutzung beeinflusst. Obwohl der Weizen nach ausschließlich gemulchtem Kleegrass (GD\textit{int}, GD\textit{ext}) eine höhere Anzahl Ähren je m\textsuperscript{2} 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\textit{int} und GD\textit{ext} nicht. Durch GD\textit{ext} wird gegenüber S+GD eine signifikante Steigerung der Weizenkorn-N-Menge um ca. 8 kg N ha\textsuperscript{-1} erzielt, die einhergeht mit einer deutlichen Erhöhung der NO\textsubscript{3}^-N-Fracht im Sickerwasser um ca. 20 kg NO\textsubscript{3}^-N ha\textsuperscript{-1}. Für den Korn-Rohprotein-(Rp)-Gehalt zeigt sich die Interaktion zwischen Kleegrass-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.

4.6 Literatureverzeichnis


ANONYM, 2002: Agenda 2000 Pflanzlicher Bereich; Agrarumweltmaßnahmen.


BELAU, L., HONERMEIER, B. & MATHEIS, F., 1995: Modelluntersuchungen zur Ein- 
schätzung der potentiellen N-Freisetzung nach Kleegrasumbruch. 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.

DREYMBNANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2003: Einfluss der Kleegras-Nutzung auf die N-
Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte unter Berücksichti-gung 
einer varierten organischen Düngung. In: Beiträge zur 7. Wissenschafts-tagung 

DUYNISVELD, W. & STREBEL, O., 1985: Nitrat-Auswaschungsgefahr bei verschiedenen 
grundwasserfernen Ackerstandorten in Nordwestdeutschland. Zeitschrift der 
Deutschen Geologischen Gesellschaft 136, 429-439.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) Kommiss-
ionsvertrief Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSC, 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. Wissen-
Wien, 513-514.

FARTHOFER, R., FRIEDEL, J. K., PIETSC, G. & FREYER, B., 2004: Stickstoff-Auswasch-
ungsverluste und Nachfruchteffekte von Luzerne (Schnitt- und Grünbrachenutz-
ung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen 
Standortbedingungen in Ostösterreich. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzen-
bauwissenschaften 16, 67-68.

FAßBENDER, K., 1998: Strategien zur Reduzierung von Nitratverlagerungen auf 
ökologisch wirtschaftenden Betrieben im ersten und zweiten Jahr nach Kleegras-
umbruch. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-
Wilhelms-Universität Bonn.


HAYNES, R., 1997: Fate and recovery of \(^{15}\)N 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.


Stott, D., Elliott, L., PappenDick, R. & Campbell, G., 1986: Low temperature or low water potential effects on the microbial decomposition. Soil Biology and Biochemistry 18 [6], 577-582.


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 $^{14}$C(glucose and $^{15}$N(NH$_4$)$_2$SO$_4$ under different moisture regimes. Soil Biology and Biochemistry 17, 747-756.


4.7 Anhang

Tab. A1: Einfluss der Versuchs faktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin auf die Boden-N<sub>min</sub>-Gehalte [kg N ha<sup>-1</sup>] zu den Probennahmetermi nen Oktober, November und März im Mittel der Untersuchungsperioden 2001/02 und 2002/03

<table>
<thead>
<tr>
<th>Boden-N&lt;sub&gt;min&lt;/sub&gt;-Gehalte [kg N ha&lt;sup&gt;-1&lt;/sup&gt;]</th>
<th>Kleegras-Nutzungssystem</th>
<th>SE / Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Probe- nahmete rmin</td>
<td>Umbruch- termin (Kultur)</td>
<td>Tiefe [cm]</td>
</tr>
<tr>
<td>Oktober</td>
<td>Frühjahr (Kleegras)</td>
<td>0-30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>30-60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>60-90</td>
</tr>
<tr>
<td>November (Vegetations-ende)</td>
<td>Frühjahr (Kleegras)</td>
<td>0-30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>30-60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>60-90</td>
</tr>
<tr>
<td>Herbst (Winterweizen)</td>
<td></td>
<td>0-30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>30-60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>60-90</td>
</tr>
<tr>
<td>März (Vegetations- beginn)</td>
<td>Frühjahr (Kleegras)</td>
<td>0-30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>30-60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>60-90</td>
</tr>
<tr>
<td>Herbst (Winterweizen)</td>
<td></td>
<td>0-30</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>30-60</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>60-90</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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 Probennahmetermi ns (slice= Umbruch*Probennahme)

Tab. A2: Einfluss der Hauptfaktoren Nutzungssystem und Umbruchtermin (a) sowie deren Interaktion (b) auf die Nitrat-N-Fracht [kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>] im Mittel der Sickerwasserperioden 2001/02 und 2002/03

<table>
<thead>
<tr>
<th>Nitrat-N-Fracht [kg NO&lt;sub&gt;3&lt;/sub&gt;-N ha&lt;sup&gt;-1&lt;/sup&gt;]</th>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>Umbruchtermin</th>
<th>SE / Sign.</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>a) Hauptfaktoren</td>
<td></td>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>11,81&lt;sup&gt;bc&lt;/sup&gt;</td>
<td>20,44&lt;sup&gt;ab&lt;/sup&gt;</td>
<td>24,44&lt;sup&gt;v&lt;/sup&gt;</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>2,40***</td>
<td>1,62***</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>b) Interaktion</td>
<td></td>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
</tr>
<tr>
<td>Umbruchtermin</td>
<td>KG</td>
<td>4,69&lt;sup&gt;bc&lt;/sup&gt;</td>
<td>7,47&lt;sup&gt;bc&lt;/sup&gt;</td>
</tr>
<tr>
<td>HU</td>
<td>18,93&lt;sup&gt;a&lt;/sup&gt;</td>
<td>33,41&lt;sup&gt;a&lt;/sup&gt;</td>
<td>33,33&lt;sup&gt;a&lt;/sup&gt;</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>**</td>
<td>***</td>
<td>***</td>
</tr>
</tbody>
</table>

KG = überwinterndes Kleegras, HU = Herbstumbruch; SE = Standardfehler, Sign. = Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5), Signifikanzniveaus aus dem Test of Effect Slices; multipler Mittelwertvergleich der Nutzungssysteme je Umbruchtermin (slice= Umbruchtermin) bzw. der Umbruchtermine je Nutzungssystem (slice= Nutzungssystem) (vgl. Tab. 6)
### Tab. A3: Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Folgefrucht für die Ertragsparameter der Klee-Folgefrucht Weizen im Mittel der Erntejahre 2002 und 2003

<table>
<thead>
<tr>
<th>Parameter</th>
<th>Folgefrucht</th>
<th>Klee-Folgefrucht</th>
<th>Sign.¹)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Kornnertrag [dt ha⁻¹]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>37,34</td>
<td>35,73</td>
<td>39,43</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>33,62</td>
<td>33,39</td>
<td>34,19</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>*</td>
</tr>
<tr>
<td>Rp-Gehalt [%]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>10,72ab</td>
<td>10,58ab</td>
<td>11,07ab</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>12,64ab</td>
<td>13,26b</td>
<td>13,88ab</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>***</td>
<td>***</td>
<td>***</td>
</tr>
<tr>
<td>Korn-N [kg ha⁻¹]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>70,00</td>
<td>66,28</td>
<td>76,39</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>75,75</td>
<td>76,56</td>
<td>82,08</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Spross-N [kg ha⁻¹]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>324,00b</td>
<td>338,67ab</td>
<td>386,67a</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>284,00b</td>
<td>323,33ab</td>
<td>352,00a</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Ähren / m²</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>25,91</td>
<td>23,58</td>
<td>23,22</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>27,94ab</td>
<td>23,61ab</td>
<td>20,39b</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
<tr>
<td>Körner / Ähre</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>45,25</td>
<td>45,44</td>
<td>44,70</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>46,68</td>
<td>45,55</td>
<td>47,11</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>*</td>
</tr>
<tr>
<td>TKM [g]</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Winterweizen</td>
<td>0,38</td>
<td>0,39</td>
<td>0,37</td>
</tr>
<tr>
<td>Sommerweizen</td>
<td>0,43</td>
<td>0,38</td>
<td>0,34</td>
</tr>
<tr>
<td>Sign.</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
<td>ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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


<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse</th>
<th>Spross-N-Menge</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>j</td>
<td>5,95*</td>
<td>119,35***</td>
</tr>
<tr>
<td>sys</td>
<td>1,76ns</td>
<td>6,65**</td>
</tr>
<tr>
<td>j*sys</td>
<td>1,08ns</td>
<td>1,34ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

#### a)
- j: Jahr
- sys: Nutzungssystem

<table>
<thead>
<tr>
<th>Nutzungssystem</th>
<th>potenziell erntbare Jahres-Sprossmasse</th>
<th>Spross-N-Menge</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>TM [g TM m⁻²]</td>
<td>Kleeanteil [% d. TM]</td>
<td>N-Menge [g N m⁻²]</td>
</tr>
<tr>
<td>S</td>
<td>1356,6</td>
<td>83,0°</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>1315,8</td>
<td>82,5°</td>
</tr>
<tr>
<td>GD_S</td>
<td>1274,8</td>
<td>77,0°</td>
</tr>
<tr>
<td>GD_G</td>
<td>1137,9</td>
<td>87,0°</td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>71,6ns</td>
<td>1,6**</td>
</tr>
</tbody>
</table>

#### b)
- Signifikanzniveaus aus dem F-Test (s. Tab. 5); j= Jahr; sys= Nutzungssystem
- 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 Rotkleebras-Einzelaufwuchse und b) Bedeutung der Interaktion Nutzungssystem*Aufwuchs für den Kleeanteil [% d. TM]

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>aufw sys j aufw<em>sys j</em>aufw j<em>sys j</em>aufw*sys</td>
<td>S</td>
<td>73,2</td>
<td>89,5</td>
<td>91,7</td>
<td>83,3*</td>
</tr>
<tr>
<td>S+GD</td>
<td>73,2</td>
<td>89,5</td>
<td>91,7</td>
<td>53,5b</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GDint.</td>
<td>73,2</td>
<td>84,8</td>
<td>80,7</td>
<td>52,3b</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GDext.</td>
<td>83,8</td>
<td>83,8</td>
<td>83,8</td>
<td>93,2a</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>SE / Sign.</td>
<td>2,6ns</td>
<td>3,1ns</td>
<td>3,4ns</td>
<td>5,8***</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

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


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-/Rotkleegras-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 Rotkleegras-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. Rotkleegras-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 Aufwuchse 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 N₂-Mengen als Kleegras-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.
- Der vereinfachte Flächenbilanzsaldo (N₂-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.
- Der Korn ertrag und die Korn-N-Menge von Winterweizen werden nicht von der Vorfruchtnutzung beeinflusst. Jedoch ist in der Interaktion mit der
Saatmischung der Kornерtrag 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.

Kapitel 4:

- Bei Kleebras-Überwinterung wird für S und S+GD unabhängig von der Sickerwässermenge (SW) eine geringe N-Fracht im Sickerwasser ermittelt, während in GD_{int} und GD_{ext} eine hohe SW zu hohen Nitrat-Frachten führt.
- Mehrmals genutzte Kleebras-Bestände (S, S+GD und GD_{int}), die überwintern, bewirken im Beobachtungszeitraum Nitrat-Konzentrationen [NO_3^-] im Sickerwasser unterhalb des EU-Trinkwassergrenzwertes.
- Der Herbstumbruch der Varianten S, S+GD und GD_{int} führt zu einem deutlichen Anstieg der [NO_3^-] im Sickerwasser und nur die Variante S ermöglicht die Einhaltung der EU-Grenzwertes. Unabhängig vom Umbruchtermin ist für GD_{ext} die [NO_3^-] im Sickerwasser am höchsten.
- Der Faktor Vorfruchtnutzung beeinflusst weder als Hauptfaktor noch in der Interaktion mit dem Umbruchtermin den Kornertag der Folgefrucht Weizen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Rotklee-/Rotkleebras-Bestände eine hohe Sprossmasseproduktivität aufweisen (Kapitel 2). Durch die Schnittgutabfuhr von drei Aufwuchsen 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 Kornertäge, 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-B 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 Kleegras-Gemengen können mit der Sprossmasseabfuhr von drei (S) bzw. von zwei (S+GD) Hauptaufwuchsen 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 \(N_2\)-Fixierung und N-Bilanzsaldo

Im Vergleich zu den Rotklee/Rotklee-B 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 \(N_2\)-Fixierungsleistung. So ist die N-Menge in der Jahressprossmasse der Gründüngung (GD) gegenüber den Varianten mit Schnittgutabfuhr (S, S+GD) für die Kleegras-Gemenge um 80-90 kg N ha\(^{-1}\) und für die Rotklee-Reinsaat um 35-44 kg N ha\(^{-1}\) verringert. Dagegen ist die \(N_2\) 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 Folgeaufwuchse auswirkt. Darüber hinaus führt mehrmaliges


Für die Gründüngung (GD) zeigt der einfache N-Flächenbilanzsaldo (N₂-Fixierung – Sprossabfuhr) im Hauptnutzungsjahr des Rotklee-/Rotkleegräs-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

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:

\[ \text{N-Saldo}_{\text{erw.}} \left[ \frac{\text{g N m}^2}{\text{}} \right] = \text{N}_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}} \]

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:**

<table>
<thead>
<tr>
<th>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{erw.}} - s a l d o \left[ \frac{\text{g N m}^2}{\text{}} \right] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}} )</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>N\text{erw.}-Saldo [ \text{[g N m}^2] }</td>
</tr>
<tr>
<td>Jahr</td>
</tr>
<tr>
<td>0,13ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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: \( N_{\text{erw.}} - s a l d o \left[ \frac{\text{g N m}^2}{\text{}} \right] = N_{\text{fix.}} - \text{Korn-N}_{\text{ohne Gülle}} \)

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

Abb. 1: Bedeutung der Interaktion Saatmischung*Nutzungssystem für den ‚erweiterten‘ N-Bilanzsaldo (N-Saldoₐ rv, [g N m⁻²] = Nₐ rv, - Korn-N 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-balanceₐ rv, [g N m⁻²] = Nₐ rv, - 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 Vorfrucht-Saatmischung für die Nitrat-Auswaschung


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

angesät und durch die Bewirtschaftungsform sichergestellt werden muss, da Gras
den ungenutzten N bis zum Bestandesumbruch aufnimmt. Zusätzlich wird durch die
verzögerte Umsetzbarkeit der Rotkleegras-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/Rotkleegras im Vergleich zu Körnererbsen

Im Kapitel 3 wird die Ertragsleistung von Winterweizen nach Rotklee/Gras
vorgestellt. In den beiden Versuchsjahren wurden sehr unterschiedliche
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
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 Ausfallerbsen
er mittelt, deren N-Mengen für das Weizenkorn wirkungslos blieben. Im Versuchs jahr
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 Kleegras-Beständen
hinsichtlich der N-Versorgung des folgenden Winter weizens 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 Kleegras-Beständen
erst nach Umbruch und in der Folgefruchteriode erhöhte N-Mengen mineralisiert
werden (LINDEN & WALLGREN 1993).
5.5 Vergleich unterschiedlicher Ansätze zur Berechnung der Sickerwassermenge

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

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>SWP</td>
<td>2001/02</td>
<td>2002/03</td>
</tr>
<tr>
<td>Sickerwassermenge [mm]</td>
<td>286</td>
<td>154</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>273</td>
<td>137</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>310</td>
<td>165</td>
</tr>
<tr>
<td>ø</td>
<td>220</td>
<td>205</td>
</tr>
<tr>
<td>kritische NO₃-N-Fracht [kg N ha⁻¹]</td>
<td>24,8</td>
<td>23,2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>26,9</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

ETp bzw. ETA: potentielle bzw. aktuelle Evapotranspiration, KG = überwinterndes Kleegras, HU = Kleegras-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

<table>
<thead>
<tr>
<th>Varianzursache</th>
<th>jahr</th>
<th>sys</th>
<th>jahr*sys</th>
<th>umbr</th>
<th>jahr*umbr</th>
<th>sys*umbr</th>
<th>jahr<em>sys</em>umbr</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>56,43***</td>
<td>24,18***</td>
<td>10,11***</td>
<td>89,27***</td>
<td>4,93ns</td>
<td>3,62*</td>
<td>2,21ns</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Hauptfaktoren</th>
<th>Kleegras-Nutzungssystem</th>
<th>Umbruchtermin</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
<td>GDₜₜ</td>
</tr>
<tr>
<td>12,51ᵇ</td>
<td>21,55ᵇ</td>
<td>25,49ᵇ</td>
</tr>
<tr>
<td>KG</td>
<td>15,21</td>
<td>35,29</td>
</tr>
</tbody>
</table>

| SE / Sign. ¹) | 2,51***                  | 1,70***      |

<table>
<thead>
<tr>
<th>Interaktion</th>
<th>Kleegras-Nutzungssystem</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>S</td>
<td>S+GD</td>
</tr>
<tr>
<td>Umbruchterm</td>
<td>KG</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>HU</td>
</tr>
</tbody>
</table>

| 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, GDₜₜ: 3x Mulchen, GDₑₑ: 1x Mulchen, KG = überwinterndes Kleegras, HU = Kleegras-Herbstumbruch mit Winterweizen, SE = Standardfehler, Sign. = ¹)Signifikanzniveaus aus dem F-Test bzw. ²)aus dem Test of Effect Slices: multiplier Mittelwertvergleich (T-Test) (s. Tab. 1), ²) Vergleich der Umbruchtermine je Nutzungssystem (slice= Nutzungssystem)
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


5.7 Literaturverzeichnis


LEDGRAD, S. F., 2001: Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. Plant and Soil 228, 43-59.


6 Zusammenfassung


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 Rotkleegras-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. Rotkleegras-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 Fruchfolgeausschnitt „Kleeegras-Weizen“ dahingehend ableiten, dass die N-Verfügbarkeit wesentlich verbessert wird, wenn das Mulchen der rotklee haltigen 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 (2 x 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 mg NO₃⁻ 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 N₂-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.


Zum Gelingen dieser Arbeit haben eine Vielzahl an Mitarbeitern beigetragen und ich möchte mich ganz besonders bedanken bei Inken Mauscherning, 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.


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

Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für das fortführende 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

1983 – 1989     Realschule, Spenge
1979 – 1983     Grundschule, Westerenger

Hochschulstudium

Fachrichtung: Pflanzenproduktion, Abschluss Diplom-Agraringenieur

Praktische Tätigkeiten

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

Berufstätigkeit