

Stickstoff-Auswaschungsverluste und Nachfruchteffekte von Futterleguminosen (Schnitt- und Grünbrachenutzung) auf Getreide-Nachfrüchte im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen in Ostösterreich

Projekt-Nr.: 1232

Abschlußbericht

Wissenschaftlicher Projektleiter:
Univ.-Prof. Dr. Bernhard Freyer¹

Projektkoordination und Wissenschaftliche Bearbeitung:
Mag. Renate Farthofer¹

Projekt-Mitarbeiter: a. o. Univ.-Prof. Dr. Jürgen K. Friedel¹, Mag. Gabriele Pietsch¹, Christoph Gabler¹, Erich Lang¹

Kooperationspartner
a. o. Univ. Prof. Dr. Willibald Loiskandl²

¹Institut für Ökologischen Landbau (IfÖL)
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
Gregor Mendel Strasse 33, A-1180 Wien
+43-1-47654-3751 (fax – 3792)

²Institut für Landeskulturelle Wasserwirtschaft und Hydraulik (IHLW)
Universität für Bodenkultur (BOKU)
Muthgasse 18, A-1190 Wien
+43-1-36006-5450 (fax – 5499)

Projektlaufzeit: 1. Jänner 2001 bis 31. Oktober 2003

Inhalt

1	Einleitung.....	8
1.1	Problemstellung	8
1.2	Ziele des Projektes und Arbeitshypothesen	9
1.2.1	Ziele des Projektes	9
1.2.2	Arbeitshypothesen.....	9
2	Versuchsanlage und Untersuchungsmethoden.....	10
2.1	Standort und Versuchsanlage	10
2.2	Zeitlicher Ablauf der Arbeiten	12
2.3	Untersuchungsmethoden.....	14
2.3.1	Klimadaten.....	14
2.3.2	Gehalt an anorganischem Stickstoff (N_{\min}).....	14
2.3.3	Gehalt an labilem organischen Stickstoff	14
2.3.3.1	Stickstoff-Mineralisationspotential	14
2.3.3.2	Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse und Kaliumsulfat-extrahierbarer Stickstoff	15
2.3.4	Bilanzierung der in situ Netto-N-Mineralisation	15
2.3.5	Bodenwasserhaushalt und Nitrat-Verlagerung.....	16
2.3.5.1	Messung des Bodenwasserhaushalts.....	16
2.3.5.2	Erfassung des N-Auswaschungspotentials.....	19
2.3.5.3	Modellierung des Wasserhaushaltes und des Stofftransports.....	20
2.3.6	Erfassung Nachfruchteffekte von Futterleguminosen auf Korn- und N-Ertrag nachfolgender Getreide.....	22
2.3.6.1	Erfassung der N-Aufnahme während der Wachstumsperiode.....	22
2.3.6.2	Erfassung der Ertrags- und Qualitätsparameter der Hauptfrüchte	22
2.3.6.3	Bilanzierung des Gesamt-N-Nachfruchteffekts	22
3	Ergebnisse	23
3.1	Witterung im Untersuchungszeitraum.....	23
3.2	Bodenstickstoffhaushalt.....	26
3.2.1	Anorganischer Stickstoff (N_{\min})	26
3.2.1.1	Anorganischer Stickstoff unter der ersten Nachfrucht Winterweizen.....	26
3.2.1.2	Anorganischer Stickstoff unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen.....	30
3.2.2	Labiler organischer Stickstoff	33
3.2.2.1	Stickstoff-Mineralisationspotential	33
3.2.2.2	Kaliumsulfat (K_2SO_4)-extrahierbarer Stickstoff.....	35
3.2.2.3	Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse (N_{mik}).....	37
3.2.3	In situ Netto-N-Mineralisation	39
3.2.3.1	In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen	39
3.2.3.2	In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen.....	41
3.3	Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung.....	44

3.3.1	Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung unter der ersten Nachfrucht Winterweizen	44
3.3.1.1	Bodenwasseranteil und pflanzenverfügbares Wasser	44
3.3.1.2	Wasserbewegung und Stickstoffverlagerung	49
3.3.2	Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen	55
3.3.2.1	Bodenwasseranteil und pflanzenverfügbares Wasser	55
3.3.2.2	Wasserbewegung und Nitratverlagerung	59
3.3.3	Modellierung des Wasserhaushaltes und des Stofftransports	66
3.4	Nachfruchteffekte von Futterleguminosen auf Korn- und N-Ertrag und Proteingehalt von Getreide	71
3.4.1	Nachfruchteffekte bei der ersten Nachfrucht Winterweizen	71
3.4.1.1	Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse während der Wachstumsperiode	71
3.4.1.2	Kornertrag.....	73
3.4.1.3	Rohproteingehalt	74
3.4.2	Nachfruchteffekte bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen.....	76
3.4.2.1	Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse während der Wachstumsperiode	76
3.4.2.2	Kornertrag.....	78
3.4.2.3	Rohproteingehalt	79
4	Diskussion	81
4.1	Mineralstickstoffgehalt im Boden	81
4.2	Bodenwasserhaushalt und Stickstoffverlagerung.....	89
4.3	Nachfruchteffekte von Futterleguminosen	96
5	Zusammenfassung der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis	105
6	Ausblick.....	109
7	Zusammenfassung.....	110
8	Literatur	113
9	Anhang	120

Abbildungen

Abbildung 1: Schema der Versuchsanlage 1 in Raasdorf	11
Abbildung 2: Schema der Versuchsanlage 2 in Raasdorf	12
Abbildung 3: Anordnung der Bodenwasserhaushaltsmessgeräte auf der Parzelle (Aufsicht)	18
Abbildung 4: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des ersten Versuchsjahres (2000/01)	24
Abbildung 5: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des zweiten Versuchsjahres (2001/02)	24
Abbildung 6: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des dritten Versuchsjahres (2002/03)	25
Abbildung 7: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2000/01.....	27
Abbildung 8: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Versuchsjahr 2001/02.....	29
Abbildung 9: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2001/02.....	31
Abbildung 10: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Versuchsjahr 2002/03.....	32
Abbildung 11: N-Mineralisationspotential unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen nach den verschiedenen Vorfrucht-Varianten im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2).....	34
Abbildung 12: N-Mineralisationspotential unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen nach den verschiedenen Vorfrucht-Varianten im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2).....	35
Abbildung 13: K_2SO_4 -extrahierbarer N unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2).....	36
Abbildung 14: K_2SO_4 -extrahierbarer N unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)	36
Abbildung 15: Mikrobieller N unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2).....	38
Abbildung 16: Mikrobieller N unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2).....	38
Abbildung 17: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen im Zeitraum 2000/01 auf der Versuchsanlage 1	40
Abbildung 18: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen im Zeitraum 2001/02 auf der Versuchsanlage 2	41
Abbildung 19: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2001/02	42
Abbildung 20: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2002/03	43
Abbildung 21: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	46
Abbildung 22: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002	48

Abbildung 23: Differenz zwischen Niederschlag (NS) und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	51
Abbildung 24: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002	53
Abbildung 25: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002	57
Abbildung 26: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003	58
Abbildung 27: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002	61
Abbildung 28: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003	63
Abbildung 29: NO ₃ N in der Bodenlösung in 120cm Bodentiefe unter der 2. Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchshälfte 2 im Jahr 2003	65
Abbildung 30: Gemessene Wasseranteilsverteilung des Profils 28b im Zeitraum Februar und März..	68
Abbildung 31: Vergleich der Wasseranteilsverteilung im Monat Februar mittels Hydrus-1 D Simulation und wöchentlicher Messung mittels FDR-Sonden in der Parzelle 28b.....	69
Abbildung 32: Vergleich der Wasseranteilsverteilung im Monat März mittels Hydrus-1 D Simulation und wöchentlicher Messung mittels FDR-Sonden in Parzelle 28b.....	69
Abbildung 33: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	72
Abbildung 34: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002	73
Abbildung 35: Kornerträge der ersten Nachfrucht Winterweizen.....	74
Abbildung 36: Rohproteingehalt im Korn der ersten Nachfrucht Winterweizen.....	75
Abbildung 37: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002	77
Abbildung 38: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003	78
Abbildung 39: Kornerträge der zweiten Nachfrucht Winterroggen.....	79
Abbildung 40: Rohproteingehalt im Korn der zweiten Nachfrucht Winterroggen.....	80
Abbildung 41: Gesamter N-Nachfruchteffekt von Futterleguminosen im Vergleich zu nonlegumen Vorfrüchten bei Winterweizen und Winterroggen	102

Tabellen

Tabelle 1: Zeitliche Abfolge der Feldfrüchte auf beiden Versuchsanlagen.....	11
Tabelle 2: Zeitlicher Ablauf der Projektarbeiten seit Beginn des Projektes im Oktober 2000.	13
Tabelle 3: Monatlicher Niederschlag (NS) und aktuelle Evapotranspiration (Eta) während der Messzeiträume 2001-2003.....	25
Tabelle 4: pF-Werte im Boden unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	44
Tabelle 5: pF-Werte im Boden unter der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002	47
Tabelle 6: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	49
Tabelle 7: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001	50
Tabelle 8: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002	52
Tabelle 9: Geschätzte NO_3 -N-Konzentration in der Bodenlösung unter Winterweizen basierend auf den N_{min} -Gehalten im Boden in 90-120cm Bodentiefe	54
Tabelle 10: pF-Werte im Boden unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002.....	56
Tabelle 11: pF-Werte im Boden unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003.....	57
Tabelle 12: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002	59
Tabelle 13: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002	60
Tabelle 14: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003	62
Tabelle 15: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003	62
Tabelle 16: Geschätzte NO_3 -N-Konzentration in der Bodenlösung unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen basierend auf den N_{min} -Gehalten im Boden in 90-120cm Bodentiefe.....	64
Tabelle 17: Beschreibung der Bodenkennwerte und Parameter für die Parzelle 28b. Legende: θ_r ...Restwasseranteil, θ_s ...Sättigungswasseranteil, α ...Parameter der pF-Kurve, N ...Faktor der Porenverteilung, K_s ...Sättigungsleitfähigkeit, λ ...Faktor für die Porenverbindung	67
Tabelle 18: Sickerwassermengen für die Monate Februar und März in einer Tiefe von 120cm	70
Tabelle 19: Potentiell verlagerte Bodenwassermenge laut Wasserbilanz und Modell auf der Parzelle 28b im Jahr 2003	71
Tabelle 20: Differenz zwischen dem N_{min} -Gehalt nach den Leguminosen-Vorfrüchten und dem N_{min} – Gehalt nach den Referenz-Vorfrüchten (N_{min} Leguminose - N_{min} Referenz-Vorfrucht) unter der ersten Nachfrucht Winterweizen*.....	82
Tabelle 21: Differenz zwischen dem N_{min} -Gehalt nach den Leguminosen-Vorfrüchten und dem N_{min} – Gehalt nach den Referenz-Vorfrüchten (N_{min} Leguminose - N_{min} Referenz-Vorfrucht) unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen	83
Tabelle 22: Ober- und unterirdische Biomasse- und N-Eintrag der Leguminosen- und Referenz- Vorfrüchte auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2000 (Quelle: Pietsch, 2004).....	84
Tabelle 23: Ober- und unterirdische Biomasse- und N-Eintrag der Leguminosen- und Referenz- Vorfrüchte auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2001 (Quelle: Pietsch, 2004).....	84

Tabelle 24: Durchschnittlicher Bodenwasservorrat (mm) nach dem Umbruch der Leguminosen-Vorfrüchte unter der ersten Nachfrucht Winterweizen	86
Tabelle 25: Prozentueller Gräser-Anteil bei den Luzerne-Gräser-Gemenge Varianten	88
Tabelle 26: pF-Werte im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2) bei der ersten Nachfrucht Winterweizen.....	94
Tabelle 27: pF-Werte im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2) bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen.....	94
Tabelle 28: Erträge (kg ha^{-1}) der ersten und zweiten Nachfrucht auf den Versuchsanlage 1 (VA1) und 2 (VA 2) und heimische Durchschnittserträge (Ökologische Erzeugung)	98
Tabelle 29: Rohproteingehalte (%) der ersten und zweiten Nachfrucht auf den Versuchsanlagen 1 (VA1) und 2 (VA 2) und heimische Durchschnittserträge (Ökologische Erzeugung)	99
Tabelle 30: N-Nutzungseffizienz: Wiederfindungsrate (%) des über die Leguminosen in den Boden eingebrachten Stickstoffs im N-Ertrag (N-Menge in Korn, Stroh und Wurzel) der ersten Nachfrucht Winterweizen und zweiten Nachfrucht Winterroggen	103
Tabelle 31: Auswirkungen der Witterungsbedingungen während der Luzernevorfrucht auf Bodenwasser- und -stickstoffhaushalt unter pannonischen Standortbedingungen	107

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Aufgrund des Verbotes von mineralischen Düngemitteln, sowie der Zufuhrbeschränkung organischer Düngemittel im Ökologischen Landbau kommt der biologischen N-Fixierung (BNF) eine zentrale Rolle zu. Biologische Fixierung von Stickstoff aus der Atmosphäre kommt durch eine Symbiose zwischen Leguminosen (Fabaceae) und knöllchenbildenden Bakterien der Gattung *Rhizobium* zustande (Werner et al, 1997).

In den niederschlagsarmen Ackerbaugebieten Ostösterreichs dominiert auch im Ökologischen Landbau die viehlose Bewirtschaftungsform. Unter diesen Umständen muss der Stickstoffbedarf der angebauten Kulturpflanzen über den Einsatz von Körner- und Futterleguminosen in der Fruchtfolge gedeckt werden.

Bei der Nutzung von Futterleguminosen wird im wesentlichen zwischen zwei Nutzungssystemen unterschieden: Nutzung der Leguminose als Feldfutterpflanze bei tierhaltenden Betrieben (Schnittnutzung) und Nutzung der Leguminosen als Gründüngung vorwiegend bei viehloser Landwirtschaft (Mulchnutzung). Dabei wird die Leguminose als Reinkultur oder in Form eines Leguminosen-Gräser-Gemenges angebaut.

Die N-Fixierungsleistung hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Der Genotyp der Pflanze und die Rhizobienart bestimmen das N-Fixierungspotential. Weitere Einflussfaktoren sind zum einen Standortfaktoren wie Temperatur, Bodenwasseranteil, Sauerstoff und Kohlendioxidgehalt der Bodenluft und der Gehalt an Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) des Bodenwassers, sowie die Art der Bewirtschaftung (Marquard, 1998).

Auf Standorten mit guter Wasserversorgung liegen bereits einige Ergebnisse zur biologischen N-Fixierung, zum N-Haushalt im Boden und zum Bodenwasserhaushalt vor (Vallis, 1978; Høgh-Jensen and Schjoerring 1997; Loges 1998, Danso et al., 1988; Nesheim et al. 1990).

Wenig ist hingegen bekannt über die Auswirkungen von Leguminosen-Reinbeständen und Leguminosen-Gräser-Gemengen bei verschiedenen Nutzungssystemen (Schnitt/Mulch) auf die Stickstoffdynamik im Boden und die Stickstoffnutzung durch die Nachfrucht (Frame et al., 1998, Linden and Wallgren, 1993, Rasse et al., 1999).

Unter den pannonischen Klimabedingungen (geringe Niederschläge von 500-550 mm a⁻¹ und kurze Dürreperioden von 3-6 Wochen während der Vegetationszeit) und den dort üblichen Kulturpflanzenarten wie z. B. der Luzerne als Reinsaat, oder im Gemenge mit Gräsern und deren Einflüsse auf die nachfolgenden Kulturarten Winterweizen und Winterroggen liegen für den Ökologischen Landbau bislang keine Forschungsergebnisse vor.

1.2 Ziele des Projektes und Arbeitshypothesen

1.2.1 Ziele des Projektes

Ziel des Projektes war die Optimierung des Anbausystems von Futterleguminosen während der Umstellungsphase auf den Ökologischen Landbau im Hinblick auf die Verbesserung der Nutzung des durch Leguminosen gebundenen Stickstoffs durch die erste und zweite Getreidenachfrucht.

Dabei wurde untersucht in welcher Weise Futterleguminosen in verschiedenen Nutzungssystemen (Schnitt- versus Mulchnutzung) und unterschiedlichen Artenzusammensetzungen (Reinsaat versus Leguminosen-Gräser-Gemenge) geeignet sind um

- a) das Risiko einer Nitratauswaschung zu minimieren und
- b) den Ertrag und die Qualität von nachfolgenden Getreide-Hauptfrüchten zu optimieren.

1.2.2 Arbeitshypothesen

Arbeitshypothese I: Vergleich der Nutzungssysteme von Futterleguminosen

Mulchnutzung von Futterleguminosen führt im Vergleich zu Schnittnutzung (Abfuhr des Schnittgutes von der Fläche) unabhängig von der Artenzusammensetzung (Leguminose in Reinsaat oder Leguminosen-Gräser-Gemenge) zu

- a) höheren Boden-Nitratgehalten und
- b) einer höheren N-Aufnahme durch die Nachfrucht
- c) und damit zu höheren Biomasseerträgen und Proteingehalten der Hauptfrucht.

Mulchnutzung von Futterleguminosen führt weiters zu

- a) höheren Boden-Nitratgehalten
- b) einem größeren Pool an Stickstoff in Form von labilen organischen Verbindungen
- c) einem erhöhten Nitrat-Auswaschungspotential.

Arbeitshypothese II: Vergleich der Artenzusammensetzungen von Futterleguminosen

Nach Leguminosen-Gräser-Gemengen sind im Vergleich zu reinen Leguminosen-Beständen

- a) das Stickstoff-Angebot im Boden und die Stickstoff-Verfügbarkeit für die nachfolgende Hauptfrucht geringer
- b) die Stickstoff- Aufnahme der Hauptfrucht verringert, und
- c) die Biomasseerträge und Proteingehalte der Hauptfrucht geringer.

Des weiteren wird angenommen, dass der Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern aufgrund eines weiteren C/N-Verhältnisses der auf der Fläche verbleibenden Biomasse im Vergleich zu reinen Leguminosen-Beständen

- a) zu niedrigeren Stickstoff-Mineralisationsraten der Ernte- und Wurzelrückstände, sowie des Mulch-Materials führt
- b) die Stickstoff-Verfügbarkeit im Boden geringer ist
- c) was wiederum eine Verringerung des Nitrat-Auswaschungspotentials zur Folge hat.

2 Versuchsanlage und Untersuchungsmethoden

2.1 Standort und Versuchsanlage

Der Feldversuch wurde auf den seit 1997 ökologisch bewirtschafteten Flächen der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Raasdorf (NÖ) durchgeführt. Der Boden der Versuchsanlage kann als tiefgründiger Tschernosem aus Löss bei einer Lössmächtigkeit von zumeist 1 bis 2m angesprochen werden. Die häufigsten Bodenarten im humosen Bereich (Untergrenze: 40-90 cm) sind schluffiger Lehm und lehmiger Schluff mit einer geringen bis mittleren Lagerungsdichte ($1,2-1,4\text{g cm}^{-3}$) und einem Porenvolumen von etwa 50%. Der Boden ist gut durchlüftet und zeichnet sich durch eine hohe nutzbare Wasserkapazität und eine gute Wasserleitfähigkeit aus. Die anhand von pF-Kurven geschätzte nFK in 0-120cm liegt im Mittel bei 170mm. Aufgrund der Heterogenität des Standorts schwanken die Feldkapazität (FK) und der permanente Welkepunkt (PWP) räumlich sehr stark. Die FK liegt im Ap-Horizont meist zwischen 33 und 29%vol und der PWP zwischen 16 und 12%vol. In den unteren Bodenschichten liegt die FK je nach Sandanteil meist zwischen 27 und 14%vol und der PWP zwischen 12 und 6%vol. Unter 2m steht zumeist eine Schicht schluffiger Feinsand an. Die Schotteroberkante liegt auf der Versuchsfläche stets unter 2m. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff beträgt im Ap-Horizont im Mittel 2,2% bei pH-Werten von 7,5 bis 7,6 ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$). Die Bodenoberfläche ist leicht wellig mit Höhenunterschieden von ca. 10cm. Bei ausreichender Wasserversorgung verfügt der Standort über ein hohes Ertragspotential.

Im Versuchsjahr 2001 wurden 24 Parzellen, im Versuchsjahr 2002 insgesamt 48 Parzellen und im Jahr 2003 wiederum 24 Parzellen (randomisiertes Versuchsdesign) mit einer Größe von 18x15m auf einer Fläche von rund 2 ha untersucht. Die Einzelparzellen waren dabei entsprechend des Ablaufes der Versuchsfruchtfolge (Tabelle 1) auf zwei Versuchsanlagen aufgeteilt. Im Jahr 2001 war auf Versuchsanlage 1 Winterweizen der Sorte Capo angebaut (Abbildung 1). Im Jahr 2002 folgte auf der Versuchsanlage 1 Winterroggen der Sorte Elect. Auf Versuchsanlage 2 war im Jahr 2002 Winterweizen (Capo) angebaut (Abbildung 2). Im letzten Untersuchungsjahr 2003 folgte auf der Versuchsanlage 2 wiederum Winterroggen der Sorte Elect. Untersucht wurden 4 verschiedene Vorfrucht-Varianten von Leguminosen (Varianten 1, 2, 3 und 4) und 2 Referenz-Vorfrüchte mit Nicht-Leguminosen (Varianten 5 und 6). Als Leguminose wurde für alle Versuche Luzerne (*Medicago sativa*) verwendet. Das Leguminosen-Gräser-Gemenge bestand zu 80% (Flächenanteil zum Saatzeitpunkt) aus Luzerne und zu 20% aus einem Gräsergemenge (Glatthafer, Wiesenschwingel, Rotschwingel, Schafschwingel). Bei den Mulch-Varianten wurde das pflanzliche Material stets auf der Fläche belassen, während bei den Schnitt-Varianten das Schnittgut von der Fläche entfernt wurde. Als Referenz-Vorfrüchte dienten Winterroggen und ein schnittgenutztes Gräser-Gemenge aus Glatthafer, Wiesenschwingel, Rotschwingel, Schafschwingel. Jede Variante wurde in 4 Wiederholungen angelegt. Zur Untersuchung des Bodenwasserhaushaltes und der Sickerwassergewinnung wurden Feldmessgeräte und Saugkerzen installiert. Die genaue Messanordnung auf Parzellenniveau ist in Kapitel 2.3.5.1 beschrieben.

Tabelle 1: Zeitliche Abfolge der Feldfrüchte auf beiden Versuchsanlagen

Jahr	Versuchsanlage 1	Versuchsanlage 2
2000	Futterleguminosen ¹	Winterroggen
2001	Winterweizen	Futterleguminosen ¹
2002	Winterroggen	Winterweizen
2003	Winterroggen	Winterroggen

4 WH	S 2 55b	56b	S 1 57b	58b	S 3 59b	60b	61b	62b	63b	Parzelle Variante →
	S 4 55a	56a	57a	58a	S 6 59a	60a 5	61a	62a	63a	
3 WH	37b 5	S 4 38b	S 1 39b	40b	41b	42b	STF 6 43b	44b	45b	
	37a	38a	S 3 39a	40a	41a	STF 1 42a	43a	STF 2 44a	45a	
2 WH	19b	20b	21b	STF 4 22b	STF 3 23b	24b	25b	26b	27b	S 6 33b
	19a	20a	21a	22a	23a	24a	STF 2 25a	26a 5	27a	
1 WH	1b	2b	3b	STF 4 4b	5b	6b	7b	8b	9b	S 6 15b
	1a	2a 5	3a	4a	S 2 5a	6a	STF 3 7a	S 1 8a	9a	
S Saugkerze		T Tensiometer		F FDR-Sonde						
V 1	Luzerne	Reinsaat	Mulch	V 5	Gräser-Gemenge	Referenzfrucht	Gemenge	Schnitt		
V 2	Luzernegras	Gemenge	Mulch	V 6	Winterroggen	Referenzfrucht	Reinsaat	Schnitt		
V 3	Luzerne	Reinsaat	Schnitt							
V 4	Luzernegras	Gemenge	Schnitt							

Abbildung 1: Schema der Versuchsanlage 1 in Raasdorf

¹ Luzerne-Reinsaat, Luzerne-Gräser-Gemenge jeweils Mulch- und Schnittnutzung, Referenz-Vorfrüchte Gräser-Gemenge und Winterroggen

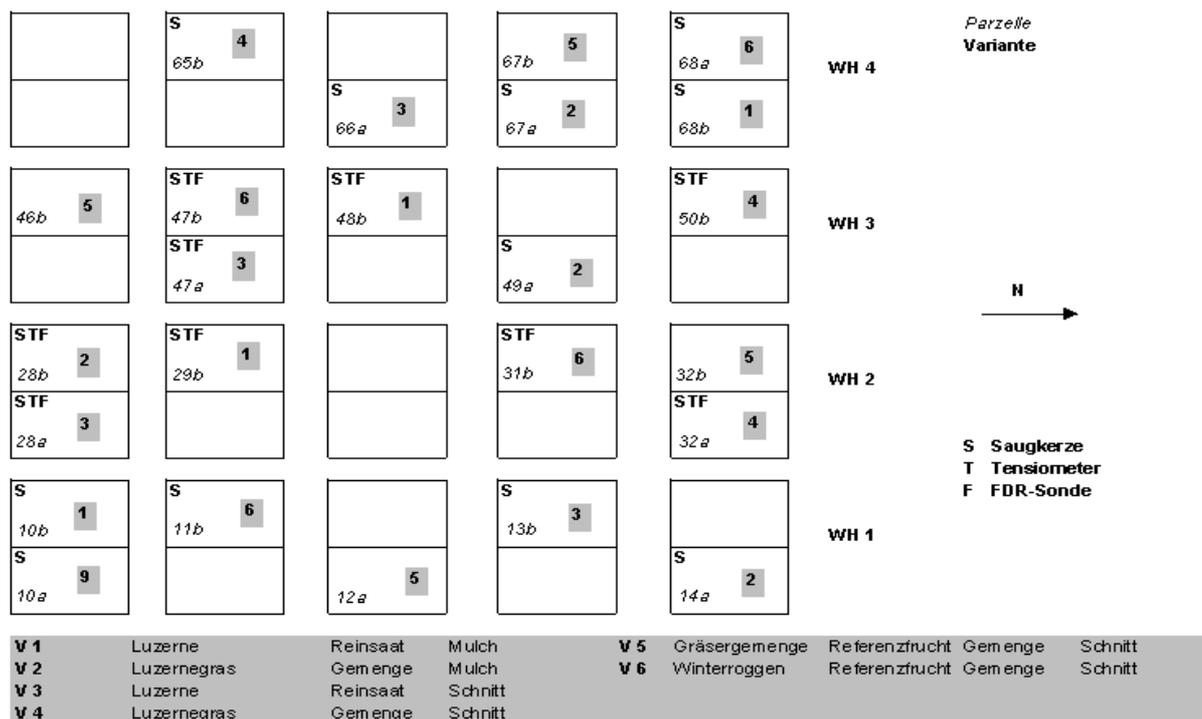


Abbildung 2: Schema der Versuchsanlage 2 in Raasdorf

2.2 Zeitlicher Ablauf der Arbeiten

Die Untersuchung baute auf einem vorangegangenen Forschungsprojekt zur Stickstoff-Fixierungsleistung von verschiedenen Futterleguminosen auf (Pietsch, 2004). Aus den in diesem Projekt untersuchten Leguminosen-Varianten wurden die in 2.1 angeführten Varianten als Grundlage für das hier vorliegende Forschungsprojekt ausgewählt. Die Untersuchung erfolgte über 3 Vegetationsperioden. Die Versuchsfruchtfolge ist in Tabelle 1 beschrieben. Nach Umbruch der Leguminosen-Bestände wurde im ersten Versuchsjahr Winterweizen und im zweiten Versuchsjahr Winterroggen angebaut. Um mögliche Witterungseinflüsse mit ein zu beziehen, wurde der Versuch in gleicher Weise auf der Versuchsanlage 2, um ein Jahr versetzt, wiederholt.

Der Start zu dem hier vorliegenden Projekt erfolgte mit dem Umbruch der Leguminosen-Bestände Anfang Oktober 2000 auf der 1. Versuchsanlage (Abbildung 1) und der anschließenden Aussaat von Winterweizen Mitte Oktober. Alle folgenden Arbeitsschritte sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Aufarbeitung und Analyse der Boden- und Pflanzenproben erfolgten im Labor des Institutes für Ökologischen Landbau in Groß-Enzersdorf, beziehungsweise in den Labors der Institute für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung sowie Bodenforschung der Universität für Bodenkultur.

Tabelle 2: Zeitlicher Ablauf der Projektarbeiten seit Beginn des Projektes im Oktober 2000.

Zeitraum	Art der Arbeiten
2000/2001	
3. 10. 2000	Umbruch der Leguminosen-Bestände auf Versuchsanlage 1
Mitte Oktober	Anbau von Winterweizen
Mitte November	Entnahme von Bodenproben auf den Umgebrochenen Parzellen
Ende Dezember	Einbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
Anfang April	Entnahme von Bodenproben und 1. Grünschnitt von Weizen
Mitte Mai	Entnahme von Bodenproben und 2. Grünschnitt von Weizen
Ende Mai	Ausbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
Mitte Juli	Ernte des Winterweizens mit anschließender Entnahme von Bodenproben
Mitte August	Umbruch
Anfang Oktober	Anbau von Winterroggen auf Versuchsanlage 1
Anfang Oktober	Entnahme von Bodenproben auf Versuchsanlage 1 und Einbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
20.09.2001	Umbruch der Leguminosen-Bestände auf Versuchsanlage 2
Mitte Oktober	Anbau von Winterweizen auf Versuchsanlage 2
Mitte Oktober	Entnahme von Bodenproben auf Versuchsanlage 2 und Einbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
Anfang Dezember	Entnahme von Bodenproben auf Versuchsanlage 1. Auf Versuchsanlage 2 werden keine Proben gezogen um den auflaufenden Weizenbestand nicht zu schädigen
2002	
Anfang April	Entnahme von Bodenproben und 1. Grünschnitt von Weizen und Roggen auf Versuchsanlage 1 und 2
Mitte Mai	Entnahme von Bodenproben und 2. Grünschnitt von Weizen und Roggen auf Versuchsanlage 1 und 2
Ende Juni	Ausbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
Anfang Juli	Kornernte und Entnahme von Bodenproben auf Versuchsanlage 1 und 2
Juli und August	Bodenbearbeitung
September	Umbruch und Saatbettbearbeitung auf Versuchsanlage 2
Mitte Oktober	Anbau von Winterroggen auf Versuchsanlage 2
Mitte Oktober	Entnahme von Bodenproben auf Versuchsanlage 2
Ende Oktober	Einbau der Wasserhaushalts-Messgeräte auf der Versuchsanlage 2
Anfang Dezember	Entnahme von Bodenproben auf der Versuchsanlage 2
2003	
Ende März	Entnahme von Bodenproben und 1. Grünschnitt von Winterroggen auf der Versuchsanlage 2
Mitte Mai	Entnahme von Bodenproben und 2. Grünschnitt auf der Versuchsanlage 2
Ende Juni	Ausbau der Wasserhaushalts-Messgeräte
Anfang Juli	Kornernte und Entnahme von Bodenproben auf der Versuchsanlage 2

2.3 Untersuchungsmethoden

2.3.1 Klimadaten

Die Klimadaten wurden hauptsächlich über die Wetterstation Raasdorf des Institutes für Pflanzenbau der Universität für Bodenkultur in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsgebietes erfasst. Für die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration wurden zusätzlich Daten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung, Wind) von zwei im Umkreis des Untersuchungsgebietes liegenden Messstationen des Institutes für Meteorologie und Klimatologie der Universität für Bodenkultur herangezogen.

Die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration (ET_a) erfolgte nach dem Modell von Allen et al. (1998). Für die Berechnungen wurde eine Excel-Vorlage vom Institut für Meteorologie und Klimatologie zur Verfügung gestellt.

2.3.2 Gehalt an anorganischem Stickstoff (N_{min})

Zur Feststellung des N_{min} -Gehaltes wurden auf den in 2.1 genannten Versuchspartzellen mittels Bodenbohrer Proben aus 4 Horizonten (0-30cm, 30-60cm, 60-90cm und 90-120cm) entnommen. Pro Parzelle wurden 8 Bohrproben gezogen und noch auf dem Feld gemischt, zerkleinert in einer Kühlbox zwischengelagert. Die Aufbewahrung der Proben erfolgte im Labor bei $-18^{\circ}C$. Die Probenahme wurde jeweils nach der Saat der Nachfrucht, nach dem Auflaufen des Getreides zu Beginn des Winters, zur Bestockung (Ende März/Anfang April), zur Getreideblüte (Mitte Mai) und nach der Ernte (Anfang Juli) durchgeführt.

Zur Analyse wurden die Proben über Nacht aufgetaut und je 50g Boden mit 200ml 0.0125 M $CaCl_2$ Lösung im Überkopfschüttler eine Stunde lang extrahiert. Danach wurde der Überstand durch einen N-freien Faltenfilter abfiltriert, und die Konzentration von NO_3^- und NH_4^+ im Extrakt photometrisch bestimmt (ÖNORM L 1091, 1988: 2). Die Messung des NO_3^- erfolgte bei 330nm und die des NH_4^+ bei 670nm.

2.3.3 Gehalt an labilem organischen Stickstoff

2.3.3.1 Stickstoff-Mineralisationspotential

An den Bodenproben, die jeweils zu Beginn der Bestockung der Getreidenachfrüchte gezogen wurden, wurde die potentielle N-Nachlieferkapazität des Bodens bestimmt (Standardarbeitsanweisung SAA33BO0201; Quelle: Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit; Kandeler et al., 1993). Dazu wurden jeweils 5g Boden in drei Wiederholungen mit Wasser überstaut und nach 7-tägiger Bebrütung bei $40^{\circ}C$ mit 2 M KCl extrahiert und das NH_4^+ im Extrakt photometrisch bestimmt. Jeweils eine zusätzliche Wiederholung wurde sofort extrahiert und das darin enthaltene NH_4^+ photometrisch bestimmt. Die sich daraus ergebende Differenz des Ammoniumgehalts wurde als Maß für die potentielle N-Nachlieferkapazität des Bodens herangezogen.

2.3.3.2 Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse und Kaliumsulfat-extrahierbarer Stickstoff

Der Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse im Boden wurde jeweils zu Beginn der Bestockung der Getreidenachfrüchte erfasst. Die Analyse erfolgte nach Brookes et al. (1985). Dabei wurden 25g Boden in dreifacher Wiederholung in Bechergläser eingewogen und 24h lang in einer Chloroform-Atmosphäre in einem Exsikkator fumigiert. Anschließend wurden die Proben mit 1M K₂SO₄-Lösung extrahiert. Durch die Einwirkung des Chloroforms werden die Zellwände der im Boden vorhandenen Mikroorganismen zerstört und so der in den Mikroorganismen vorliegende N der Analyse zugänglich gemacht. Parallel zu den fumigierten Proben wurden in zweifacher Wiederholung 25g Boden eingewogen und anschließend mit 1M K₂SO₄-Lösung extrahiert. Die Analyse der Proben erfolgte mittels TOC-Analyzer. Die Differenz des N-Gehaltes in den mit Chloroform fumigierten Proben zu den unbehandelten Proben ergibt den Gehalt des Bodens an mikrobiellem Stickstoff.

Zur Erfassung des Kaliumsulfat-Extrahierbaren Stickstoffs wurden die Ergebnisse der Analysen der nicht fumigierten Bodenproben aus der Bestimmung des mikrobiellen Stickstoffs herangezogen (Jensen et al, 1997).

2.3.4 Bilanzierung der in situ Netto-N-Mineralisation

Aus der Bilanz von Mineralstickstoff und der N-Aufnahme durch den Getreidebestand wurde die Netto-N-Mineralisation für 8 Zeiträume errechnet.

1. Vom Pflügen der Leguminosen bis zur Keimung des Winterweizens
2. Von der Keimung des Winterweizens bis zum Vegetationsbeginn
3. Vom Beginn der Vegetationsperiode bis zur Blüte des Winterweizens
4. Von der Blüte bis zur Ernte
5. Von der Ernte des Winterweizens bis zur Saat des Winterroggens
6. Von der Keimung des Winterroggens bis zum Vegetationsbeginn
7. Vom Beginn der Vegetationsperiode bis zur Blüte des Winterroggens
8. Von der Blüte bis zur Ernte des Winterroggens

Dazu wurde die in situ Netto-N-Mineralisation (NNM) nach folgender Formel berechnet:

$$\text{NNM} = \Delta N_{\text{min}} + \text{N-Aufnahme} + \text{N-Verluste} - \text{N-Deposition}$$

Der ΔN_{min} ergibt sich aus den Veränderungen des N_{min} -Gehaltes im Boden im Untersuchungszeitraum und die N-Aufnahme von Weizen/Roggen aus dem N-Gehalt in den oberirdischen Pflanzenanteilen (Kapitel 2.3.6.1). Die nasse N-Deposition wurde durch die Erfassung des N-Gehaltes im Niederschlag erhoben. Dazu wurde während eines Jahres das in einem Niederschlagsmesser gesammelte Regenwasser auf NO₃ und NH₄ untersucht und aus den Ergebnissen ein mittlerer N-Gehalt im Niederschlag von 2 mg N l⁻¹ berechnet und mit den Niederschlagsmengen im entsprechenden Untersuchungsabschnitt multipliziert. Die trockene Deposition wurde anhand von Ergebnissen der Untersuchungen von Weigel et al. (2000) geschätzt. Der in der Wurzelmasse gebundene Stickstoff wurde anhand von Angaben aus der Literatur abgeschätzt (Himmelbauer, 2003; Junge, 1993).

2.3.5 Bodenwasserhaushalt und Nitrat-Verlagerung

2.3.5.1 Messung des Bodenwasserhaushalts

Volumetrischer Wasseranteil

Zur Erfassung des Einflusses der verschiedenen Nutzungssysteme und Artengemeinde auf den Wasserhaushalt des Bodens waren in allen Versuchsjahren während der Vegetationsperiode der Getreide-Hauptfrüchte in ausgewählten Parzellen der Varianten 1, 2, 3, 4 und 6 Wassersensoren installiert (Abbildung 1 und Abbildung 2). Durch diese wurde der volumetrische Wasseranteil in 40cm, 80cm und 120cm Bodentiefe gemessen. Im Untersuchungsjahr 2003 erfolgte ab dem Auftauen der Bodenoberfläche zusätzlich eine punktuelle Messung des Wasseranteils in 10cm Tiefe mit Hilfe einer tragbaren FDR-Sonde.

Der Einbau der Messgeräte erfolgte nach der Aussaat der Getreidenachfrüchte (Abbildung 3). Die Auswertung der Messdaten zeigte, dass die bei tiefen Temperaturen keine aussagekräftigen Messwerte erzielt wurden (Einfrieren der Sonde). Die produktive Messperiode beschränkte sich daher auf die Monate Februar bis Mai (Juni). Um Beschädigung durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu verhindern, wurden die Messgeräte vor der Ernte des Getreides ausgebaut. Die Erfassung des Bodenwasserhaushaltes nach dem Anbau des Wintergetreides in den Monaten November und Dezember war in dieser Untersuchung nicht möglich. Im ersten Untersuchungsjahr konnte aufgrund des späten Projektstarts die Messgeräte erst im Frühjahr vollständig eingebaut werden. Im Herbst/Winter 2001/02 wurden die Messgeräte durch Marderverbiss beschädigt, sodass die Messungen erst nach deren Reparatur und neuerlichem Einbau beginnen konnten. Im letzten Untersuchungsjahr konnte aufgrund der schlechten Witterung der Einbau der Messgeräte erst Mitte November abgeschlossen werden. In allen drei Untersuchungsjahren erfolgte die Datenerfassung wöchentlich durch Handablesung.

Die Messung des Wasseranteils (%vol) im Boden wurde mit FDR-Sonden (Frequency Domain Reflectometry) bestimmt (Abbildung siehe Anhang 1). Das Messprinzip der FDR-Sonde basiert auf den unterschiedlichen Dielektrizitätszahlen (DEZ) des Wassers im Boden (~80) und der übrigen Bodenbestandteile (<5). Mit der FDR-Sonde wird dabei ein elektromagnetischer Puls in den Boden abgegeben. Je höher die DEZ des die Sonde umgebenden Mediums ist, desto stärker wird der Puls verzögert und seine Frequenz verändert. Durch die hohe DEZ des Wassers kann also die Änderung des volumetrischen Wasseranteils im Boden über die Änderung der Reflexionsgeschwindigkeit und der Frequenzänderung des elektromagnetischen Pulses ermittelt werden.

Alle Angaben zum Wasserhaushalt beziehen sich auf einen mittleren effektiven Wurzelraum von Getreide bei der am Standort Raasdorf am häufigsten vorkommenden Bodenart lehmiger Schluff bei mittlerer Lagerungsdichte. Aufgrund der Tiefgründigkeit des Bodens am Untersuchungsstandort wurde ein effektiver Wurzelraum von 120cm angenommen (Renger und Strebel, 1980).

Zur Abschätzung des Bodenwasservorrates in 0-120cm wurde der Wasseranteil in 40cm Bodentiefe der Bodenschicht von 0-60cm, der Wasseranteil in 80cm der Schicht von 60-100cm und der Wasseranteil in 120cm der Schicht ab 100cm zugeordnet. Durch die Multiplikation des volumetrischen Wasseranteils mit der Schichtmächtigkeit ergab sich der Wasseranteil des Bodens in mm.

Bei den im Kapitel 3.3 dargestellten Werte für Feldkapazität und permanenten Welkepunkt handelt es sich um Mittelwerte, die anhand von Untersuchungen der Porengrößenverteilung und verschiedener am Standort Raasdorf erstellten pF-Kurven abgeschätzt wurden (Farthofer et al., 2003; Himmelbauer, 2003; Freyer et al., 2000). Die Werte stellen aufgrund der Heterogenität des Standortes nur Richtgrößen zur Einordnung der gemessenen Wasseranteile dar.

Wasserspannung

Die Bewegung des Wassers im Boden wurde durch die Erfassung der in Boden vorliegenden Potentiale mit Hilfe von Tensiometern ermittelt (Abbildung siehe Anhang 1). Der Einbau erfolgte gleichzeitig mit den FDR-Sonden. Die Ablesung wurde ebenfalls ein Mal wöchentlich durchgeführt (Abbildung 3).

Mit Hilfe eines Tensiometers kann das Potential des Wassers im Boden gemessen werden. Das Potential (Ψ) ist ein Maß für die Bindung des Wassers an die Bodenmatrix und ist definiert als die Arbeit die notwendig ist um eine Menge Wasser von einem gegebenen Punkt eines Kraftfeldes zu einem Bezugspunkt zu bewegen. Der Messbereich der in diesem Versuch verwendeten Tensiometer endet bei einem Matrixpotential ca. -800hPa .

Dabei gilt:

$$\text{Potential } (\Psi) = \text{Masse } (m) * \text{Beschleunigung } (b) * \text{Höhe } (h)$$

Wird das Gewicht (im Kraftfeld der Erde = $m * b$) als Bezugspunkt angenommen so nimmt das Potential die Dimension einer Länge an.

$$\Psi = h \text{ (cm Wassersäule entspricht hPa)}$$

Das Gesamtpotential des Bodenwassers (Ψ) setzt sich dabei aus mehreren Teilpotentialen zusammen.

$$\text{Gesamtpotential } (\Psi) = \text{Gravitationspotential } (\Psi_z) + \text{Matrixpotential } (\Psi_m) + \text{osmotisches Potential} + \text{Gaspotential} + \text{Druckpotential}$$

Zur Beschreibung der Wasserbewegung im Boden können osmotisches Potential, Gaspotential und Druckpotential gemeinhin vernachlässigt werden, da diese hauptsächlich durch das Matrixpotential, welches den Einfluss der festen Bodenbestandteile auf das Bodenwasser beschreibt, bestimmt wird. Prinzipiell gilt: je weniger Wasser ein Boden enthält, desto stärker wirken die Matrixkräfte. Das heißt je trockener ein Boden ist, desto stärker ist das Wasser an die Bodenmatrix gebunden. Bestehen verschiedene Wasseranteile im Boden, entsteht zwischen den Punkten mit verschiedenen Wasseranteilen ein Potentialgradient. Dabei bewegt sich das Wasser stets von einem Punkt höheren Potentials zu einem Punkt niedrigeren Potentials.

Die Beschreibung der Wasserbewegungen im Boden erfolgt über das hydraulische Potential (Ψ_H) das eine Kombination von zwei Teilpotentialen darstellt.

$$\Psi_H = \Psi_m + \Psi_z$$

Der Potentialgradient ($\text{grad}\Psi_H$) wird wie folgt ermittelt:

$$\text{grad}\Psi_H = (\Delta\Psi_m + \Delta\Psi_z) / \Delta z$$

Δz Fließstrecke

Trägt der Potentialgradient ein positives Vorzeichen ist der Wasserstrom von oben nach unten gerichtet. Es findet daher eine Verlagerung von Wasser in tiefere Bodenschichten statt. Bei einem Potentialgradienten mit einem negativen Vorzeichen richtet sich der Bodenwasserstrom von unten nach oben. Eine Verlagerung von Bodenwasser in tiefere Schichten kann daher nicht stattfinden.

Aufgrund der niedrigen Wasseranteile und der damit einhergehenden hohen Wasserspannungen wurde der Messbereich der Tensiometer im Versuchszeitraum zeitweilig überschritten. Die Angabe des pF-Wertes und des Potentialgradienten erfolgt für diese Zeiträume nicht in absoluten Zahlen, sondern als Tendenz ($pF > 2,9$ und Potentialgradient $< / > 0$).

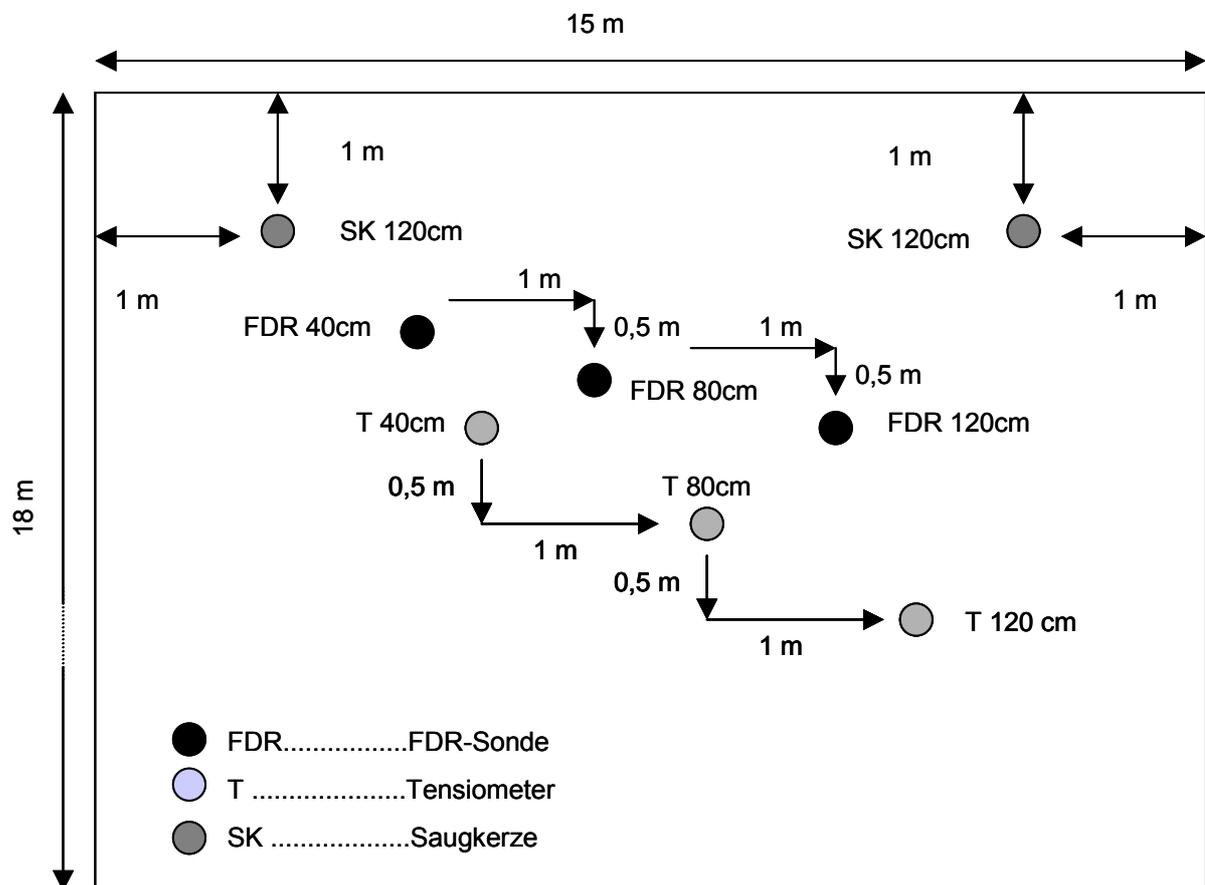


Abbildung 3: Anordnung der Bodenwasserhaushaltsmessgeräte auf der Parzelle (Aufsicht)

2.3.5.2 Erfassung des N-Auswaschungspotentials

Menge des verlagerten Bodenwassers

Die Abschätzung potentiell verlagerten Wassermenge aus dem Bodenprofil von 0-120cm basiert auf einer Bilanzierung der erhobenen Klima- und Bodenwasserhaushaltsdaten (Ehlers, 1997):

$$N + B = T + E + A + S + \Delta BWV$$

N: Niederschlag B: Bewässerung T: Transpiration E: Evaporation A: Oberflächenabfluss

S: Wasserüberschuss (S > 0: abwärtsgerichtete Wasserbewegung bzw. Wasserdefizit (S < 0: aufwärtsgerichtete Wasserbewegung)

ΔBWV : Veränderung des Bodenwasservorrats (BWV) im Bereich des effektiven Wurzelraums (0-120 cm)

Der Niederschlag und die Wasseranteilsänderung im Bodenprofil wurden gemessen. Die aktuelle Evapotranspiration wurde berechnet (siehe Kapitel 2.3.1). Der Oberflächenabfluss konnte vernachlässigt werden, da die Fläche (nahezu) eben ist (A=0). Im Untersuchungszeitraum erfolgte keine Bewässerung der Getreidekulturen. Die Berechnung der potentiell größtmöglichen Sickerwassermenge (S_{max}) kann daher durch Umformung obiger Gleichung wie folgt berechnet werden:

$$S_{max} = N - (T + E) - \Delta BWV$$

Nitratverlagerung

Zur Gewinnung von Bodenwasser wurden Saugkerzen (Verteilung auf der Versuchsfläche siehe Abbildung 1 und Abbildung 3) installiert. Im Versuchszeitraum waren die Saugkerzen in ausgewählten Parzellen der Varianten 1, 2, 3, 4 und 6 in einer Tiefe von 120cm installiert. Die Saugkerzen wurden auf der Basis der Ergebnisse der Wasseranteils- und Wasserspannungsmessungen bei Bedarf aktiviert, indem mit einer Vakuumpumpe ca. 24 h lang Unterdruck angelegt wurde (Anhang 2). Die Bodenwasserproben wurden anschließend im Labor photometrisch (siehe Kapitel 2.3.2) auf ihren Nitratgehalt untersucht.

Die Berechnung der Stickstofffracht im Bodenwasser erfolgte durch Multiplikation des Nitrat-N-Gehaltes (mg l^{-1}) in der Bodenlösung mit der durch die Wasserbilanz erhobenen potentiellen aus dem Wurzelraum verlagerten Wassermenge (S_{max}). Verlagerung von Bodenwasser in tiefere Schichten wurde angenommen wenn der Potentialgradient eine Wasserbewegung von oben nach unten anzeigte.

In den Jahren 2001 und 2002 konnte mit Hilfe der Saugkerzen keine Bodenlösung gewonnen werden. Die Abschätzung einer potentiellen Stickstofffracht erfolgte daher auf der Basis der N_{min} -Gehalte. Dazu wurde aus dem N_{min} -Gehalt in 90-120cm Bodentiefe die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in mg l^{-1} berechnet.

2.3.5.3 Modellierung des Wasserhaushaltes und des Stofftransports

Für die Modellierung des Wasserhaushaltes wurde das Programm HYDRUS-1D (Programmentwicklung: U.S. Salinity Laboratory (USDA/ARS), Riverside, CA) verwendet.

Dieses Programm dient zur Simulation der Strömungs-, Wärme- und Stofftransportprozesse in 1-dimensionalen gesättigten oder ungesättigten porösen Medien.

Das Programmpaket enthält das 1-dimensionale Finite-Element-Modell HYDRUS (Version 7.0) zur Simulation der Wasserströmungs-, Wärme- und Mehrmigrantentransportprozesse. Inkludiert ist ein Parameteridentifikationsverfahren zur Ermittlung der bodenphysikalischen und der Stofftransportparameter.

Für die Dateneingabe, die Netzdiskretisierung und die grafische Aufbereitung der Berechnungsergebnisse wurde eine grafische Benutzeroberfläche entwickelt.

Die Beschreibung der gesättigten und ungesättigten Strömungsprozesse beruht auf der RICHARDS-Gleichung, die Beschreibung der Wärme- und Stofftransportprozesse auf der Konvektions-Dispersions-Gleichung. Beide Differenzialgleichungen werden mit Hilfe numerischer Verfahren gelöst.

Die zu berechnenden Strömungsgebiete können aus verschiedenen, heterogenen porösen Materialien bestehen. Wasserbewegung und Transport können in vertikaler, horizontaler oder in beliebiger Richtung nachgebildet werden. Das Strömungsmodell kann stationäre oder zeitabhängige Piezometer- und Flussrandbedingungen berücksichtigen, diese können weiters über atmosphärische Bedingungen, wie auch über frei drainbare Bedingungen gesteuert werden. Die Randbedingung an der Bodenoberfläche kann während der Simulation von einer vorgegebenen Piezometerhöhe in einen vorgegebenen Fluss und umgekehrt umgewandelt werden.

Das Transportmodell kann stationäre und/oder zeitabhängige Randbedingungen mit vorgegebener Konzentration (Dirichlet, RB 1. Art) und vorgegebener Massenstromrate (Cauchy, RB 3. Art) berücksichtigen. Der Dispersionskoeffizient enthält einen Term zur Berücksichtigung der molekularen Diffusion sowie der Tortuosität.

Die Parameterfunktionen innerhalb der ungesättigten Zone können mit dem van Genuchten-Modell (1980), Brooks and Corey-Modell (1964) sowie mit einem modifizierten van Genuchten-Modell nachgebildet werden. Die Parametermodelle wurden, sofern notwendig, so modifiziert, dass eine konsistente Formulierung nahe der Sättigung erreicht werden kann. Die Hysterese der Parameterfunktionen wird mit Hilfe der Parametermodelle nach Scott et al. (1983) sowie Kool und Parker (1987) berücksichtigt. Diese Modellansätze gehen davon aus, dass Entwässerungsarbeitskurven über einen Skalierungsfaktor aus der Hauptdränagekurve und Bewässerungsarbeitskurven durch einen Skalierungsfaktor aus der Hauptbewässerungskurve berechnet werden können.

HYDRUS enthält gleichfalls einen Algorithmus zur Berücksichtigung von Skalierungsfaktoren, mit dem ermöglicht wird, einen Referenzboden zu definieren und andere Bodenarten mit ihren hydraulischen Eigenschaften über diesen Skalierungsfaktor zu beschreiben.

In der Software ist ein Minimierungsalgorithmus enthalten, der auf dem Marquardt-Levenberg-Algorithmus basiert. Damit wird die Parameteroptimierung ausgewählter hydraulischer und Stofftransportparameter aus Experimenten möglich. Es können dafür Beobachtungsergebnisse stationärer oder instationärer Versuche mit Angaben zum Strömungs- und/oder Transportverhalten verwendet werden. Verwertbare Beobachtungsdaten sind: Wasseranteile, Druckhöhen, Konzentrationen, Stromraten oder kumulative Volumenströme über die Randbedingungen (Infiltrations-/Drainraten- bzw. volumina). Zusätzlich können Angaben zu vorhandenen Retentionsfunktionen oder Durchlässigkeiten wie auch Penalty-Funktionen (Restriktionen) zur Einschränkung der Bandbreite in der die Optimierung für einzelne Parameter ablaufen soll, berücksichtigt werden.

Die zugrundeliegenden Strömungs- und Transportgleichungen werden mit Hilfe der linearen GALERKIN-Finite-Element-Methode gelöst. Die Zeitintegration erfolgt mit einem impliziten (rückwärts) Finite-Differenzen-Schema. Zur Steigerung der Effizienz (Abarbeitungsgeschwindigkeit) wurde eine automatische Zeitschrittweitensteuerung, die auch die berechneten Peclet- und Courantzahlen berücksichtigt, im Programm implementiert. Der Wasseranteil wird mit einem Massenkonservativenansatz nach Celia et al. (1990) berechnet. Um numerische Oszillationen bei der Lösung des Transportproblems zu minimieren, wurde upstream weighting, künstliche Dispersion und/oder Performanzindexing eingesetzt.

Das Programm besitzt eine grafische Benutzeroberfläche (Windows) für die Dateneingabe, die Netzdiskretisierung, Parameterzuweisung, Steuerung der Simulation und die grafische Aufbereitung der Berechnungsergebnisse.

Alle räumlich verteilten Parameter, wie Bodenarten- und -schichten, Entzug von Wasser und Nährstoffen durch Pflanzenwurzeln, Anfangsbedingungen (Wasserbewegung, Wärme, Stofftransport) können unter Verwendung der bereitgestellten grafischen Tools eingegeben werden. Die Anordnung der Netzknoten kann mit einem grafischen Editiertool zur Netzoptimierung geändert werden.

Die Aufbereitung der Ausgabedaten ermöglicht die Visualisierung der Piezometerhöhen, der Wasseranteil, der Wasser- und Stoffströme, des Pflanzenwurzelentzugs, der Temperatur, sowie der Konzentrationsverteilung zu vorgebbaren Zeiten. Gleichfalls können Zeitreihen der Berechnungsgrößen für jeden beliebigen Ort dargestellt werden.

Dem Programm wurde eine reduzierte Ausgabe eines Standardkatalogs mit typischen Boden- und Stofftransportparametern beigelegt.

2.3.6 Erfassung Nachfruchteffekte von Futterleguminosen auf Korn- und N-Ertrag nachfolgender Getreide

2.3.6.1 Erfassung der N-Aufnahme während der Wachstumsperiode

Zur Erfassung der N-Aufnahme durch die Getreidenachfrucht während der Wachstumsperiode wurden zu drei Zeitpunkten Pflanzenproben auf ihren N-Gehalt untersucht. Dazu wurden jeweils zu Beginn der Vegetationsperiode (Ende März, bzw. Anfang April), Anfang der Getreideblüte (Mitte Mai) und zur Ernte (Anfang Juli) pro Parzelle 3 mal 1m² von Hand geerntet. Anschließend wurde die Frischmasse erhoben und aus einer Stichprobe der drei Quadratmeter-Ernten die Trockensubstanz im Trockenschrank bei 105°C (48h) ermittelt. Ein weiteres Quantum wurde bei 60°C getrocknet, vermahlen und der N-Gehalt im C/N-Analyzer ermittelt.

Die Berechnung der N-Aufnahme erfolgte nach der Formel:

$$\text{N-Aufnahme (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{N-Gehalt (\%)} * \text{TM (kg ha}^{-1}\text{)}$$

2.3.6.2 Erfassung der Ertrags- und Qualitätsparameter der Hauptfrüchte

Für die Erhebung von Ertrag und Qualität der Hauptfrüchte wurden zur Ernte auf jeder Parzelle 3 m² von Hand geerntet und die Frischmasse erhoben. Nach der Ernte wurden die Ähren maschinell gedroschen und der Kornertrag bestimmt. Aus einer Mischprobe wurde die Trockenmasse des Korns bestimmt. Die Angabe des Kornertrages erfolgte stets bezogen auf 14% Feuchte. Für die Bestimmung des Proteingehaltes wurde eine vorgetrocknete Mischprobe (Trocknung bei 60°C; 48h) von jeder Parzelle vermahlen, und der N-Gehalt mittels C/N-Analyzer (Fa. Leco) bestimmt. Die Berechnung des Rohproteingehaltes erfolgte durch Multiplikation des N-Gehaltes (Angabe in % N in der Trockensubstanz) mit dem Faktor 5,7.

2.3.6.3 Bilanzierung des Gesamt-N-Nachfruchteffekts

Der Gesamt-N-Nachfruchteffekt stellt den von einer Getreidenachfrucht nach einer Leguminose zusätzlich gegenüber einer Nicht-Leguminosen-Vorfrucht aufgenommene Stickstoff dar.

Dazu wurde der N-Gehalt in der Getreidepflanze (kg N pro ha) zum Zeitpunkt der Ernte in den Leguminosen und in den Referenz-Varianten mit Vorfrucht Gräser-Gemenge, bzw. Winterroggen erhoben (siehe Kapitel 2.3.6.1 und 2.3.6.2). Die N-Aufnahme der Getreidenachfrucht nach den Nicht-Leguminosen Vorfrüchten wurde gemittelt.

Die Bilanzierung des Gesamt-N-Nachfruchteffektes erfolgte nach der Formel:

$$\text{Gesamter-N-Nachfrucht-Effekt} = \text{N-Aufnahme Getreide}_{\text{nach Leguminose}} - \text{N-Aufnahme Getreide}_{\text{nach Nicht-Leguminose}}$$

3 Ergebnisse

3.1 Witterung im Untersuchungszeitraum

Nachdem die Niederschläge von August bis Dezember 2000 um durchschnittlich 22% über dem langjährigen Mittel (1960-1990) lagen, folgte im Jänner und Februar 2001 eine Periode mit nur geringem Niederschlag. Nach vermehrten Niederschlägen im März 2001 folgte im April, Mai, Juni eine weitere Trockenperiode. Insgesamt erreichten die Niederschläge im Zeitraum von Jänner bis Juni nur 66% der langjährigen Mittelwerte (Abbildung 4). Im September 2001 waren hingegen sehr große Niederschlagsmengen zu verzeichnen (220% des langjährigen Monatsmittels). Im darauffolgenden Herbst 2001 und Winter 2002 herrschte wieder eine zum Teil starke Trockenheit (kein Niederschlag im Jänner 2002) vor. Von Oktober 2001 bis Februar 2002 wurden 56% der für den Zeitraum typischen Niederschlagsmenge gemessen. Die Niederschläge von März bis Juni 2002 lagen hingegen rund 30% über dem mittleren Niederschlägen für diesen Zeitraum. Im Von Juli bis Oktober 2002 lagen die Niederschläge im Schnitt um 65% über dem Mittel (Abbildung 5). Im Zeitraum August bis Dezember 2002 fielen rund 160% des für diesen Zeitraum typischen Niederschlages, wobei besonders in den Monaten August (172%) und Oktober (197%) hohe Regenmengen zu verzeichnen waren. Der darauffolgende Winter und das Frühjahr 2003 blieben hingegen mit 43% der langjährigen Niederschläge weitgehend trocken. Die Niederschlagswerte von Mai bis Juli entsprachen dem langjährigen Mittel (Abbildung 6).

Insgesamt erreichten die Niederschläge im Jahr 2000 90%, im Jahr 2001 85%, im Jahr 2002 130% und im Jahr 2003 60% des langjährigen Niederschlagsmittels.

Die Temperaturen bewegten sich in den Jahren 2000 bis 2002 großteils über dem langjährigen Mittel. Ab August 2002 entsprachen die Temperaturen weitgehend den mittleren Temperaturwerten. In den Monaten Dezember 2002, Februar 2003 und April 2003 lagen die Temperaturen unter der mittleren Monatstemperatur. Ab Mai 2003 wurden überdurchschnittlich hohe Temperaturen gemessen.

Aufgrund der geringen Niederschläge und den hohen Temperaturen im Frühjahr 2001, war die Evapotranspiration während dieser Periode meist höher als der monatliche Niederschlag (Tabelle 3). Besonders hohe Verdunstungsraten wurden mit dem dreifachen des monatlichen Niederschlages im Mai 2001 erreicht. In den Jahren 2002 und 2003 war das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung meist ausgeglichen bzw. die Niederschläge waren höher als die Verdunstung. Im Mai 2002 überwog die Verdunstung die Niederschläge.

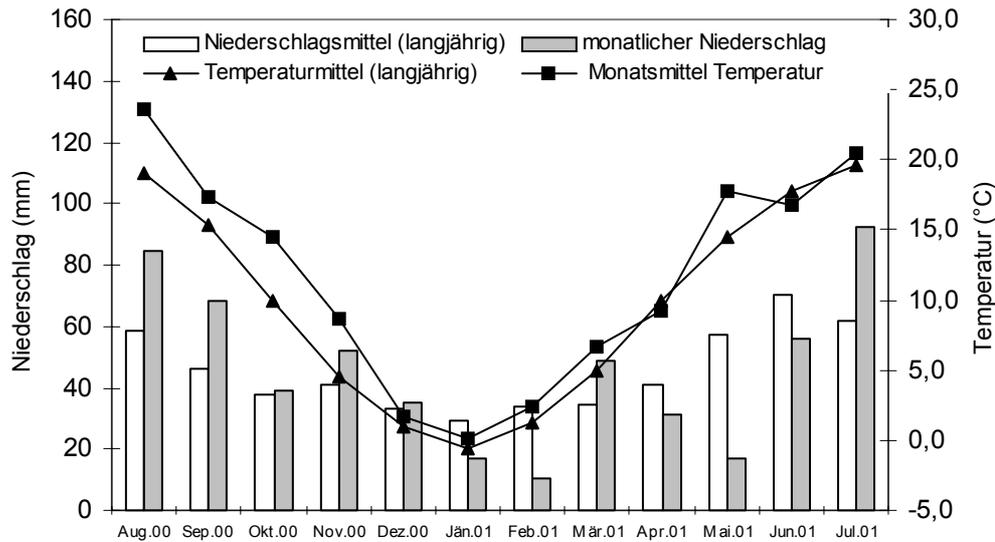


Abbildung 4: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des ersten Versuchsjahres (2000/01)

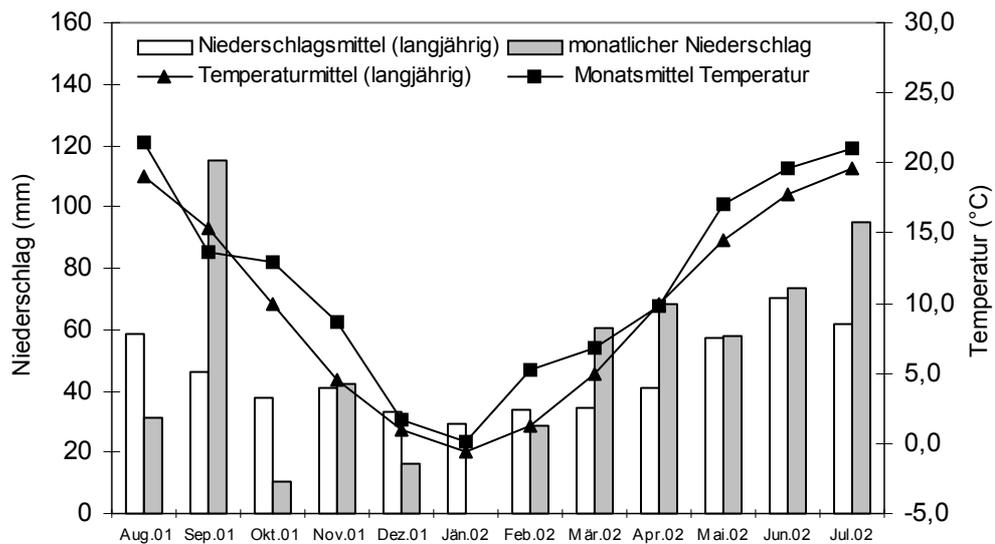


Abbildung 5: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des zweiten Versuchsjahres (2001/02)

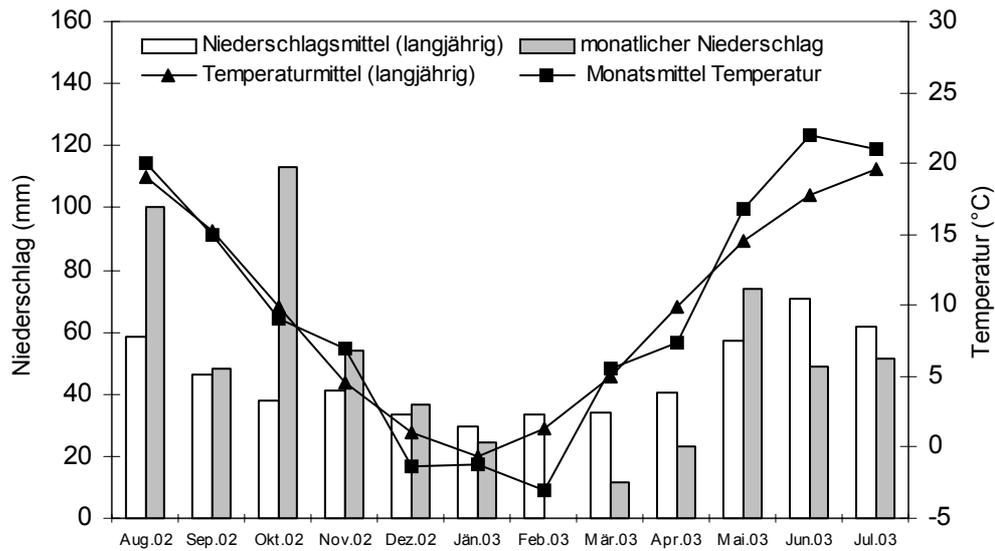


Abbildung 6: Niederschlags- und Temperaturverlauf während des dritten Versuchsjahres (2002/03)

Tabelle 3: Monatlicher Niederschlag (NS) und aktuelle Evapotranspiration (Eta) während der Messzeiträume 2001-2003

	NS 2001	Eta 2001	NS 2002	Eta 2002	NS 2003	Eta 2003
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Februar	10	20	27	23	0	16
März	49	28	62	27	5	12
April	31	47	69	56	30	41
Mai	17	60	58	80	57	62
Juni	55	52	45	45	54	35

3.2 Bodenstickstoffhaushalt

3.2.1 Anorganischer Stickstoff (N_{\min})

3.2.1.1 Anorganischer Stickstoff unter der ersten Nachfrucht Winterweizen

Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2000/01

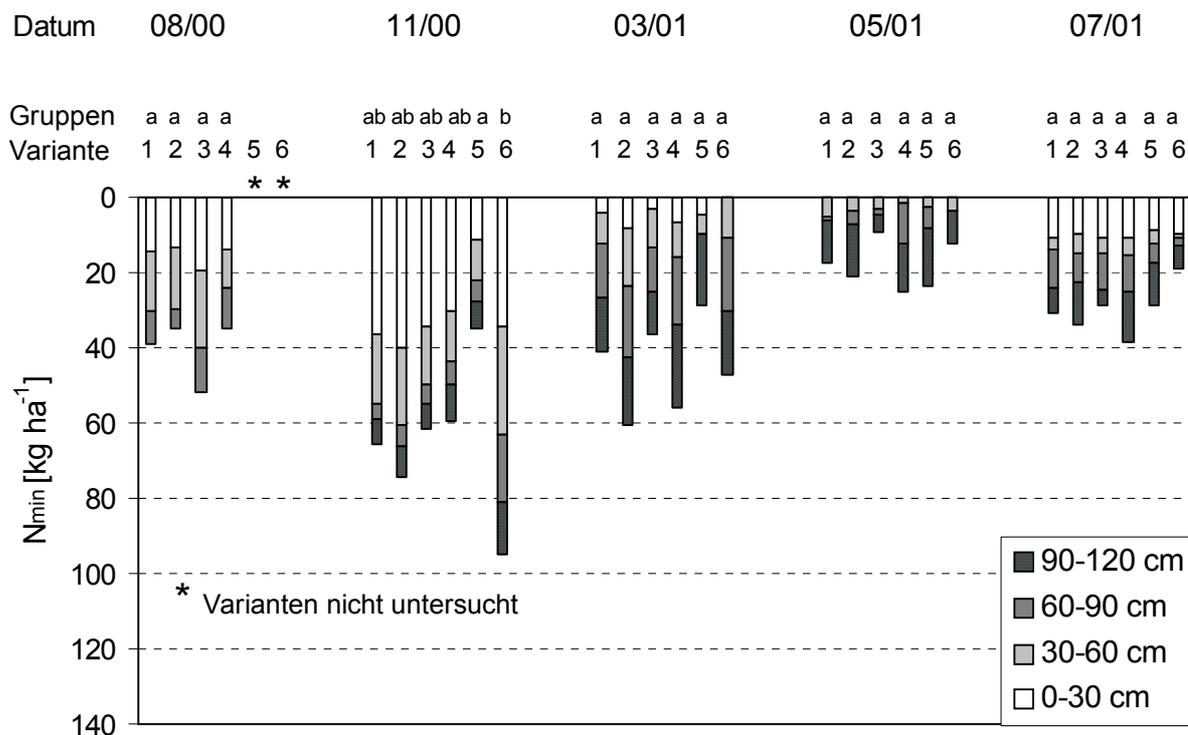
Die zum letzten Schnitttermin der Leguminosen-Vorfrüchte im August 2000 durchgeführte Bodenuntersuchung ergab N_{\min} -Gehalte von bis zu 50kg N ha^{-1} unter den lebenden Leguminosen-Beständen (Abbildung 7). Nach dem Umbruch der Leguminosen-Bestände (Anfang Oktober 2000) nahm der Gehalt an mineralischem Stickstoff bis Ende November auf bis zu 70kg ha^{-1} zu. Nach der Referenz-Vorfrucht Winterroggen wurden mit 95kg N ha^{-1} die höchsten N_{\min} -Gehalte dieses Probenahmetermins gemessen. Bei der Referenz-Vorfrucht-Variante Gräser-Gemenge waren die N_{\min} -Gehalte mit 35kg ha^{-1} am geringsten. Zur Bestockung (Ende März), zur Getreideblüte (Mitte Mai) und zur Ernte (Anfang Juli) wurden nach den Leguminosen-Gräser-Gemenge Varianten tendenziell stets höhere N_{\min} -Gehalte als nach den Leguminosen-Reinsaaten gemessen. Die N_{\min} -Gehalte betragen bei der Bestockung bei Luzerne-Reinsaat (Mulch und Schnitt) $35\text{-}40\text{kg N ha}^{-1}$ und bei den Luzerne-Gräser-Gemenge Varianten (Mulch und Schnitt) $55\text{-}60\text{kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$. Zur Getreideblüte wurden bei allen Varianten weniger als $25\text{kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gemessen. Nach der Ernte lagen die N_{\min} -Gehalte zwischen 20 und 40kg ha^{-1} . Der Anstieg der N_{\min} -Gehalte im Juli war in erster Linie auf eine Zunahme des N_{\min} -Gehaltes in $0\text{-}30\text{cm}$ ($+10\text{-}20\text{kg ha}^{-1}$ im Vergleich zu Mai) durch Mineralisation von N aus der organischen Substanz zurückzuführen.

Aufgrund der standörtlich bedingten starken Streuung der Ergebnisse zwischen den Wiederholungen der Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede ($P < 0,05$) abgesichert werden.

Auf der Versuchsanlage 1 war der N_{\min} -Gehalt im Herbst 2000 nach der Referenz-Variante Winterroggen um bis zu 35kg N ha^{-1} höher als nach den Leguminosen-Varianten. Die Gründe für die höheren N_{\min} -Gehalte lagen einerseits im früheren Umbruchzeitpunkt (Mitte Juli) des Winterroggens (Leguminosen-Umbruch Anfang Oktober). Die dadurch längere Zeitperiode in der Mineralisation der Ernterückstände stattfinden konnte, führte zu gegenüber den Leguminosen höheren N_{\min} -Gehalten. Die hohen Niederschläge des Sommers 2000 verstärkten die N-Mineralisationstätigkeit nach Winterroggen. Weiters fand bei Winterroggen durch das Erntegut nur eine geringfügige Abfuhr von N statt (34kg ha^{-1}).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Zeitraum 2000/01 bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

- Mulchen von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden führte (Arbeitshypothese 1) und
- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern gegenüber dem Anbau von Futterleguminosen im Reinbestand die N_{\min} -Gehalte im Boden nicht verringerte (Arbeitshypothese 2).
- Ab dem Zeitpunkt der Bestockung im März 2001 konnte im Vergleich zu den Luzerne-Reinbeständen ein tendenziell höherer N_{\min} -Gehalt bei den Luzerne-Gräser-Gemenge-Varianten festgestellt werden.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 7: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2000/01

Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2001/02

Im August 2001 betrug der N_{\min} -Gehalt unter den lebenden Leguminosen-Beständen ca. 20 kg ha^{-1} (40 kg ha^{-1} bei Leguminosen-Gräser-Gemenge Mulch) und war somit um durchschnittlich 30 kg ha^{-1} niedriger als im gleichen Zeitraum des Vorjahres auf der Versuchsanlage 1 (Abbildung 8). Zum Anbau des Winterweizens (Mitte Oktober) waren die N_{\min} -Gehalte unter den Leguminosen-Varianten ($80\text{--}110 \text{ kg ha}^{-1}$) und der Referenz-Vorfrucht Winterroggen (57 kg ha^{-1}) stark angestiegen. Zur diesem Termin bestand ein statistisch absicherbarer Unterschied zwischen den Leguminosen-Varianten und der Referenz-Vorfrucht-Variante Gräser-Gemenge, die mit knapp unter $20 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ den niedrigsten herbstlichen N-Gehalt aller Varianten aufwies. Über den Winter kam es durch Verlagerung von N aus dem obersten Horizont (0-30cm) zu einer Zunahme des N_{\min} -Gehalts in der Bodentiefe 30-60cm.

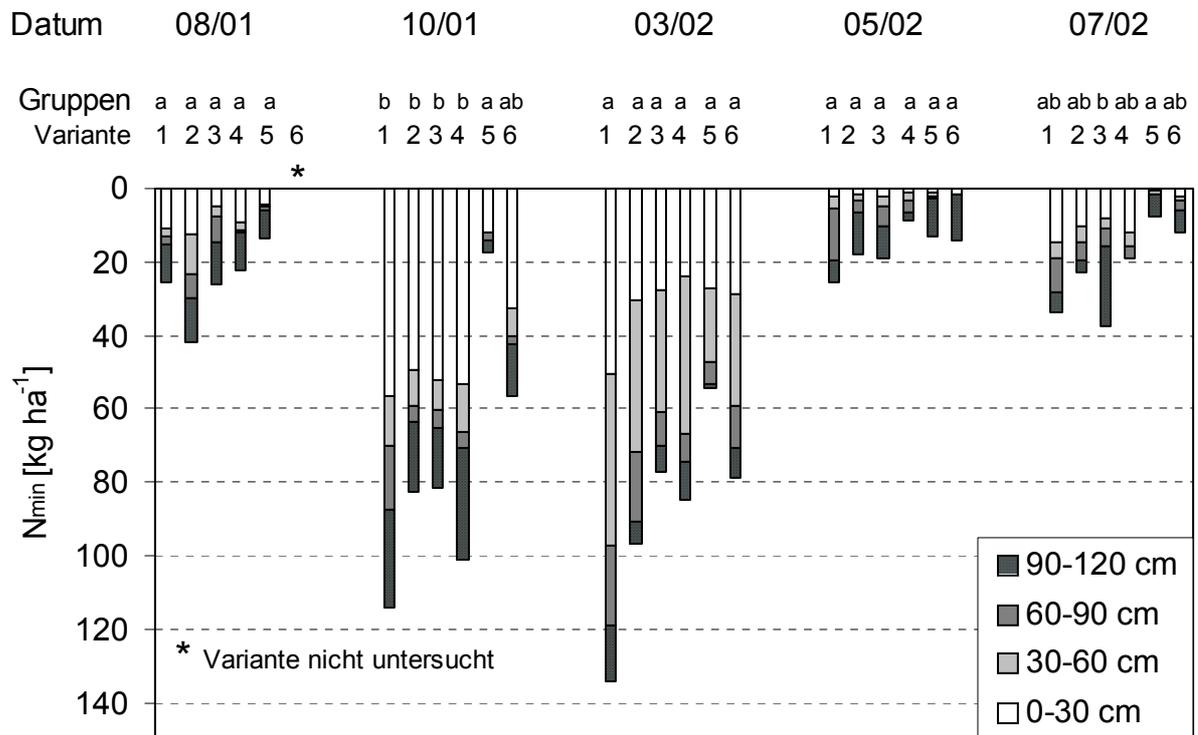
Zur Bestockung Ende März 2002 entsprachen die N_{\min} -Gehalte nach den Mulch-Varianten den Hypothesen in denen angenommen wurde, dass Mulchen von Leguminosen-Beständen zu höheren N_{\min} -Gehalten im Boden als Schnittnutzung von Leguminosen führt. Weiters konnten bei den Mulch-Varianten nach Reinbeständen höhere N_{\min} -Gehalte als nach Luzerne-Gräser-Gemenge festgestellt werden. Nach Schnittnutzung bestand zwischen reinen Luzerne-Beständen und Luzerne-Gräser-Gemenge kein Unterschied im N_{\min} -Gehalt. Der N_{\min} -Gehalt nach der Referenz-Variante Winterroggen war mit ca. 80 kg N ha^{-1} ähnlich dem der Luzerne-Schnitt-Varianten. Bei der Referenz-Variante Gräser-Gemenge wurden die niedrigsten N_{\min} -Gehalt im Boden gemessen ($<60 \text{ kg N ha}^{-1}$).

Zur Zeit der Getreideblüte im Mai waren die N_{\min} -Gehalte unter allen Varianten gering ($8\text{-}25 \text{ kg N ha}^{-1}$). Bis zur Ernte Anfang Juli fand wie bereits unter der ersten Nachfrucht auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001 ein Anstieg des N_{\min} -Gehaltes im Oberboden um durchschnittlich 10 kg statt.

Aufgrund der hohen Streuung der Ergebnisse innerhalb der Varianten konnten die Unterschiede im N_{\min} -Gehalt zwischen den Varianten nicht statistisch abgesichert werden (Tukey-Test, $P < 0,05$).

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass im Jahr 2002 bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

- Mulchen von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden führte (Arbeitshypothese 1) und
- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern gegenüber dem Anbau von Futterleguminosen im Reinbestand die N_{\min} -Gehalte im Boden nicht verringerte (Arbeitshypothese 2).
- Zum Zeitpunkt der Bestockung im März konnte eine tendenzielle Erhöhung der N_{\min} -Gehalte durch Mulchnutzung von Luzerne-Reinbeständen gegenüber Schnittnutzung festgestellt werden.
- Weiters bestand eine tendenzielle Erhöhung des N_{\min} -Gehaltes bei Mulchnutzung bei Luzerne-Reinsaat gegenüber Luzerne-Gräser-Gemenge.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
 Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 8: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Versuchsjahr 2001/02

3.2.1.2 Anorganischer Stickstoff unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen

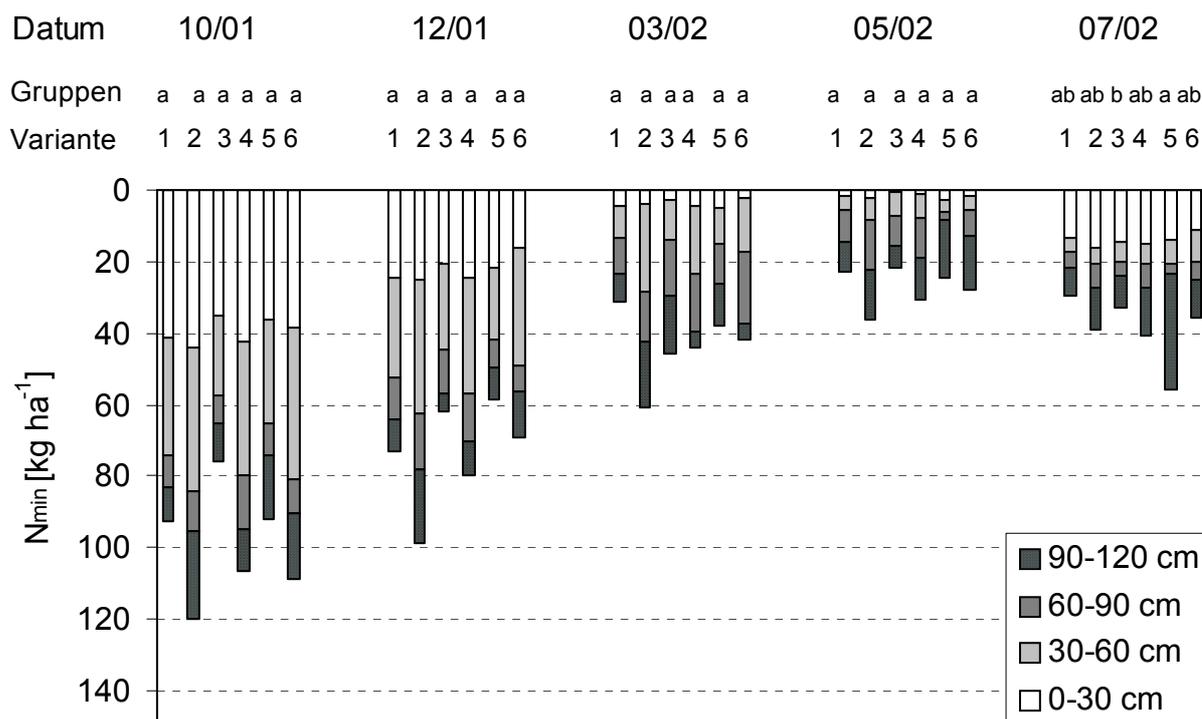
Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2001/02

Zur Roggenaussaat Anfang Oktober 2001 bestanden bei allen Leguminosen-Varianten, sowie bei den Referenz-Varianten Gräser-Gemenge und Winterroggen hohe N_{\min} -Gehalte ($80-120 \text{ kg N ha}^{-1}$) im Boden (Abbildung 9). Bei den Varianten mit Leguminosen-Vorfrüchten wiesen die Luzerne-Gräser-Gemenge Varianten um durchschnittlich 25 kg ha^{-1} höhere N_{\min} -Gehalte als die reinen Luzerne-Varianten auf. Ein Vergleich der Nutzungssysteme Mulch und Schnitt ergab zu den Probennahmeterminen Oktober 2001 (Aussaat) und Dezember 2001 tendenziell höhere N_{\min} -Gehalte bei den Mulch-Varianten. Die N_{\min} -Gehalte zur Bestockung im Frühjahr 2002 betragen 30 bis 80 kg N ha^{-1} . Im Vergleich zu den N_{\min} -Gehalten im Oktober 2001 bedeutet das eine Abnahme des Mineralstickstoffgehaltes von 30 kg ha^{-1} (Luzerne-Gräser-Gemenge Schnitt) bis 70 kg ha^{-1} (Referenz Vorfrucht Winterroggen). Zur Getreideblüte im Mai betragen die N_{\min} -Gehalte zwischen 21 und 38 kg ha^{-1} . Nach der Ernte der zweiten Nachfrucht wurden wieder etwas höhere N_{\min} -Gehalte zwischen 30 und 40 kg bei den Leguminosen-Varianten und 55 bzw. 35 kg bei den Referenz-Vorfrüchten Gräser-Gemenge und Winterroggen gemessen.

Die Bodenuntersuchungen bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen im Versuchsjahr 2001/02 ergaben bei allen 5 Probeterminen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ($P < 0,05$).

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass im Versuchszeitraum 2001/02 bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen

- Mulchen von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden führte (Arbeitshypothese 1) und
- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern gegenüber dem Anbau von Futterleguminosen im Reinbestand die N_{\min} -Gehalte im Boden nicht verringerte (Arbeitshypothese 2).
- Die N_{\min} -Gehalte waren zu allen Untersuchungsterminen nach Luzerne-Gräser-Gemenge tendenziell höher waren als nach Luzerne-Reinbeständen.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 9: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2001/02

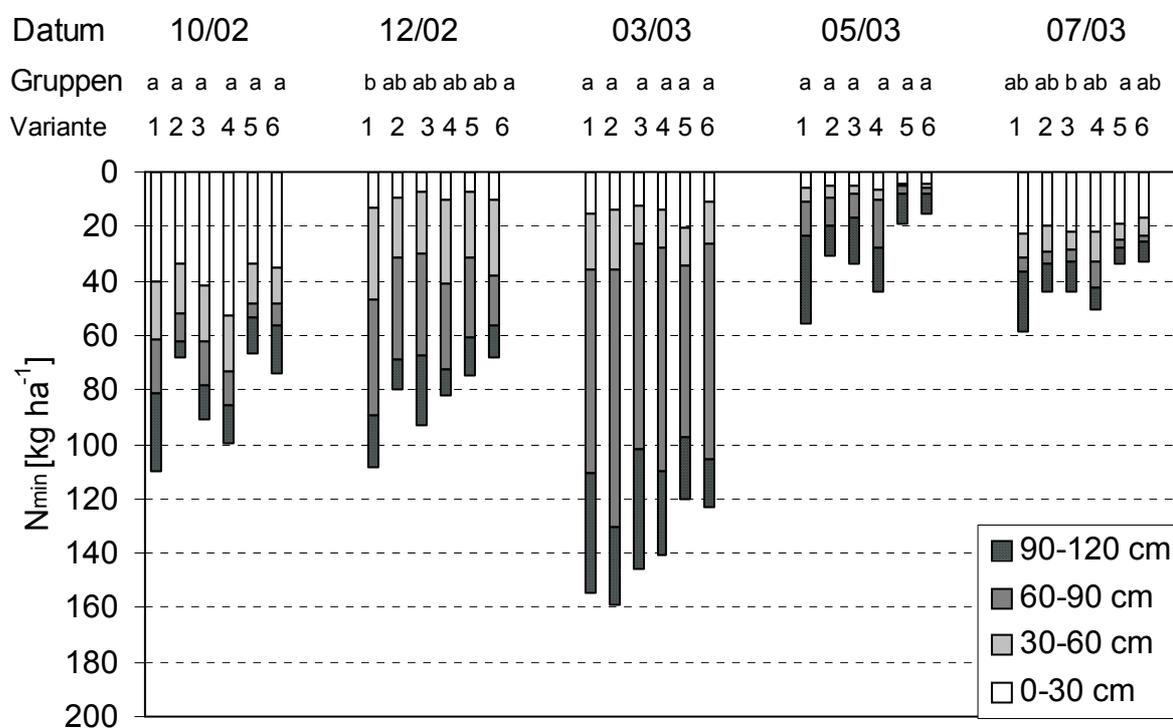
Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2002/03

Die Bodenuntersuchungen unter der 2. Nachfrucht Winterroggen ergaben zur Aussaat des Winterroggens (Mitte Oktober 2002) und vor dem Winter (Anfang Dezember 2002) N_{\min} -Gehalte von 70 bis 110 kg N ha⁻¹ (Abbildung 10). Im Dezember 2002 wurde unter der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) ein signifikant höherer N_{\min} -Gehalt gemessen als unter der Referenz-Variante Winterroggen (Tukey-Test, $P < 0,05$). Nach einem niederschlagsreichen Herbst 2002 wurden während des Winters in allen Parzellen große Mengen an Stickstoff mineralisiert. Ende März 2003 lagen die N_{\min} -Gehalte zum Zeitpunkt der Bestockung bei allen Varianten zwischen 120 und 160 kg N ha⁻¹. Die N_{\min} -Gehalte waren somit die höchsten der Versuchsperiode. Tendenziell waren zum Zeitpunkt der Bestockung die N_{\min} -Gehalte, wie unter der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2, bei den Mulch-Varianten höher als bei den Schnitt-Varianten. Die hohen N_{\min} -Mengen lagen dabei hauptsächlich im Horizont 60-90 cm vor. Zur Getreideblüte Mitte Mai und nach der Ernte des Winterroggens Anfang Juli waren zwischen den Varianten keine Unterschiede bei den N_{\min} -Gehalten feststellbar (N_{\min} -Gehalte < 60 kg ha⁻¹).

Zu allen untersuchten Zeitpunkten bestanden zwischen den Leguminosen-Varianten keine statistisch absicherbaren Unterschiede im N_{\min} -Gehalt (Tukey-Test, $P < 0,05$).

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass im Versuchszeitraum 2002/03 bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen

- Mulchen von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden führte (Arbeitshypothese 1) und
- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern gegenüber dem Anbau von Futterleguminosen im Reinbestand die N_{\min} -Gehalte im Boden nicht verringerte (Arbeitshypothese 2).
- Wie bereits bei der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 konnten auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003 zum Zeitpunkt der Bestockung tendenziell höhere N_{\min} -Gehalte nach Mulchnutzung festgestellt werden.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 10: N_{\min} -Gehalte im Boden nach verschiedenen Leguminosen-Vorfrüchten unter der Hauptfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Versuchsjahr 2002/03

3.2.2 Labiler organischer Stickstoff

Um die Akkumulation der organischen Substanz im Boden abzubilden, wurde im Rahmen dieser Untersuchung die Veränderung des Gehaltes an labilen organischen Verbindungen im Boden gemessen. Als ein Maß dafür dienten der Gehalt an mineralisierbarem Stickstoff, der Kaliumsulfat-extrahierbare Stickstoff und der mikrobielle Stickstoff im Boden. Die drei Parameter wurden jedes Jahr zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr bestimmt. Als Hypothese wurde angenommen, dass der Gehalt des Bodens an labilen organischen Verbindungen durch Mulchnutzung von Leguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung erhöht ist.

3.2.2.1 Stickstoff-Mineralisationspotential

Der Vergleich des N-Mineralisationspotentials zwischen den Leguminosen-Vorfrucht-Varianten unter der **1. Nachfrucht Winterweizen** ergab in keiner der untersuchten Tiefenstufen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey, $P < 0,05$) (Abbildung 11). In den Untersuchungsjahren 2001 und 2002 bewegte sich der Gehalt an mineralisierbarem N bei den Leguminosen-Varianten bei ca. $60 \mu\text{g N g}^{-1}$ TS Boden pro 7 Tage. Die hohen Gehalte an mineralisierbarem N in den unteren Horizonten wurden nur im ersten Jahr der Untersuchung beobachtet. Da für diesen Termin Fehler in der Analytik nicht auszuschließen sind², erscheint eine Interpretation der Ergebnisse als nicht sinnvoll. Im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 war das N-Mineralisationspotential unter der ersten Nachfrucht Winterweizen bei den reinen Luzerne-Varianten tendenziell höher als bei den Luzerne-Gemenge-Varianten. Das Nutzungssystem zeigte dabei keinen Einfluss auf das N-Mineralisationspotential.

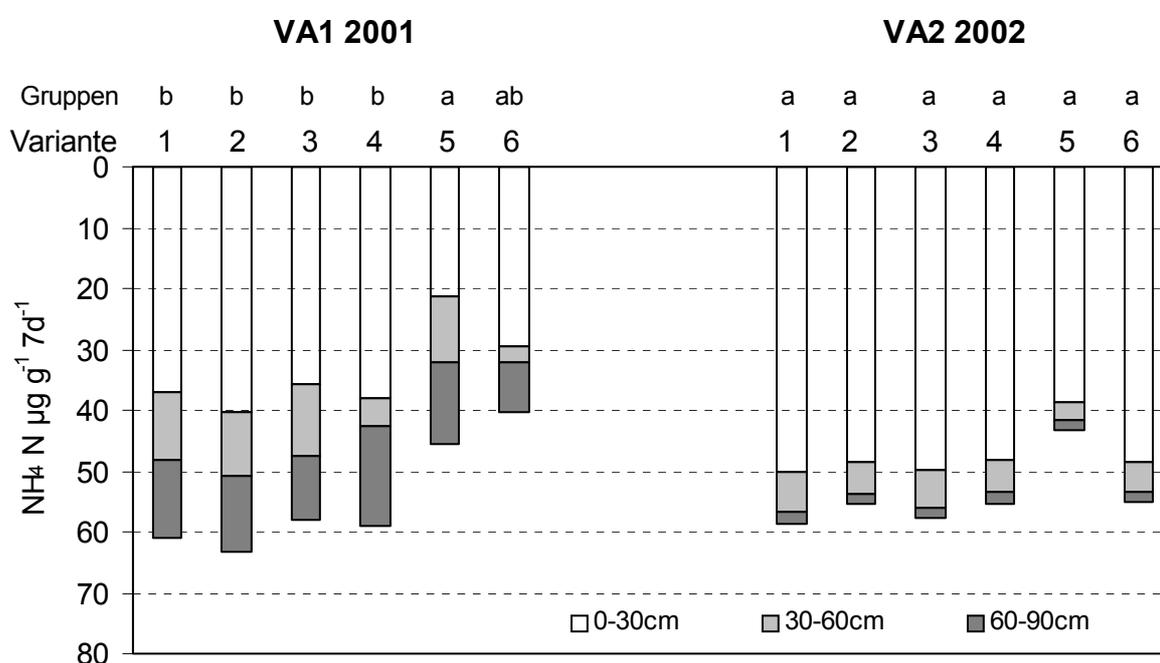
Unter der **2. Nachfrucht Winterroggen** im Jahr 2002 war das N-Mineralisationspotential der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) gegenüber der Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) signifikant erhöht (Tukey, $P < 0,05$) (Abbildung 12). Die übrigen Varianten unterschieden sich hinsichtlich des N-Mineralisationspotentials nicht signifikant. Unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen bewegte sich das N-Mineralisationspotential zwischen 48 und $60 \mu\text{g N g}^{-1}$ TS Boden. Das Mineralisationspotential bei den Luzerne-Reinbeständen war unter der zweiten Nachfrucht um etwa $10 \mu\text{g}$ (17%) niedriger als unter der ersten Nachfrucht. Bei den Luzerne-Gräser-Gemenge-Varianten kam es gegenüber dem N-Mineralisationspotential unter der ersten Nachfrucht zu keiner Abnahme. Unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen war daher das Mineralisationspotential bei den Luzerne-Gräser-Gemenge-Varianten höher als bei den reinen Luzernebeständen. Das Nutzungssystem der Leguminosen hatte keinen Effekt auf das Mineralisationspotential.

Um mögliche Unterschiede im N-Mineralisationspotential zwischen den Varianten bei längerer Bebrütungsdauer zu untersuchen, wurde ein zusätzlicher Versuch durchgeführt, bei dem Boden 14 statt der üblichen 7 Tage bebrütet wurde. Es ergaben sich dabei keine Unterschiede im freigesetzten N zwischen den Varianten ($P < 0,05$). Bei allen Varianten wurde bei doppelter Bebrütungszeit ca. 60-70% mehr N mineralisiert. Durch eine längere Bebrütungsdauer wurden daher keine Unterschiede im N-Mineralisationspotential sichtbar.

² Bei der Extraktion der Bodenproben für die Probenserie kamen mit NH_4 kontaminierte Papierfaltenfilter (Fabrikationsfehler der Herstellerfirma) zur Anwendung. Eine Nachanalyse der Proben war nicht mehr möglich.

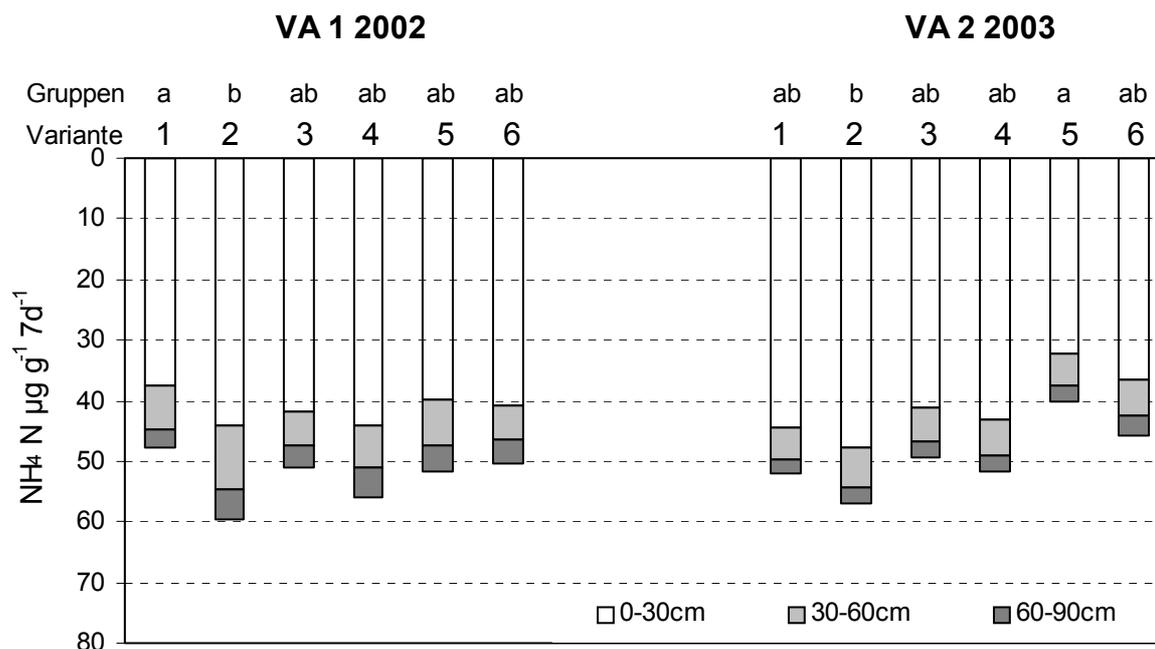
Zusammenfassend ist daher in Bezug auf die Untersuchungshypothesen festzustellen, dass

- Mulchen von Futterleguminosen gegenüber Schnittnutzung weder unter der ersten noch unter der zweiten Nachfrucht zu einer signifikanten Erhöhung des N-Mineralisationspotentials führte (Arbeitshypothese 1)
- und weiters der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zum Anbau reiner Luzerne-Bestände kein niedrigeres N-Mineralisationspotential zur Folge hatte (Arbeitshypothese 2).
- Tendenziell war das Mineralisationspotential unter der ersten Nachfrucht nach den Leguminosen-Reinbeständen höher als nach den Gräser-Gemenge-Varianten und unter der zweiten Nachfrucht bei den Gräser-Gemenge-Varianten höher als bei den Leguminosen-Reinbeständen



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 11: N-Mineralisationspotential unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen nach den verschiedenen Vorfrucht-Varianten im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

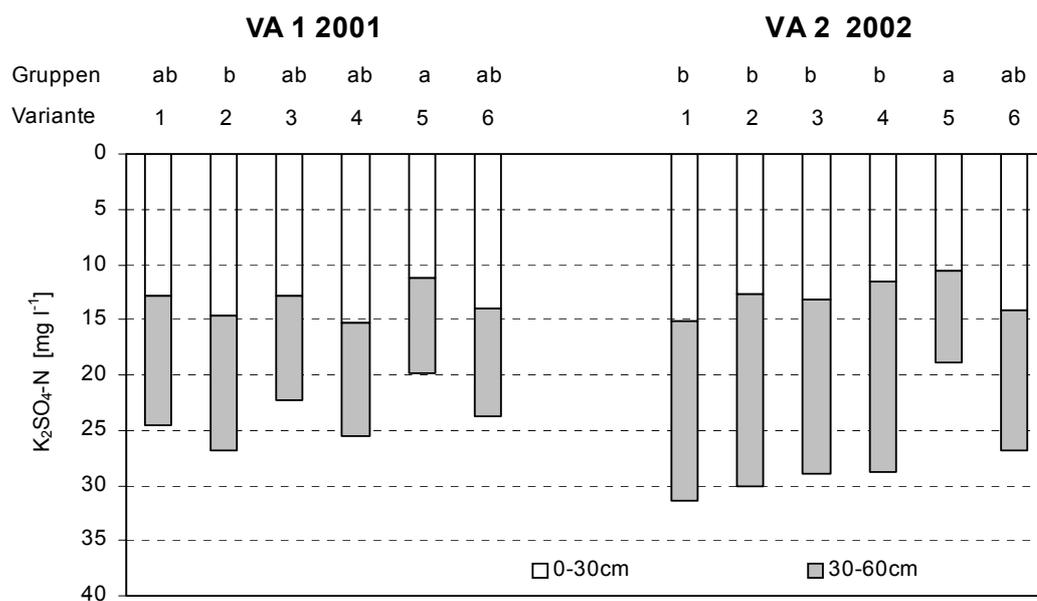
Abbildung 12: N-Mineralisationspotential unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen nach den verschiedenen Vorrucht-Varianten im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)

3.2.2.2 Kaliumsulfat (K_2SO_4)-extrahierbarer Stickstoff

Die Untersuchung der labilen organischen und mineralischen Stickstofffraktionen anhand des K_2SO_4 -extrahierbaren Stickstoffs ergab unter beiden Nachfrüchten in 0-30cm und 30-60cm Bodentiefe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Leguminosen-Vorrucht-Varianten (Abbildung 13 und Abbildung 14).

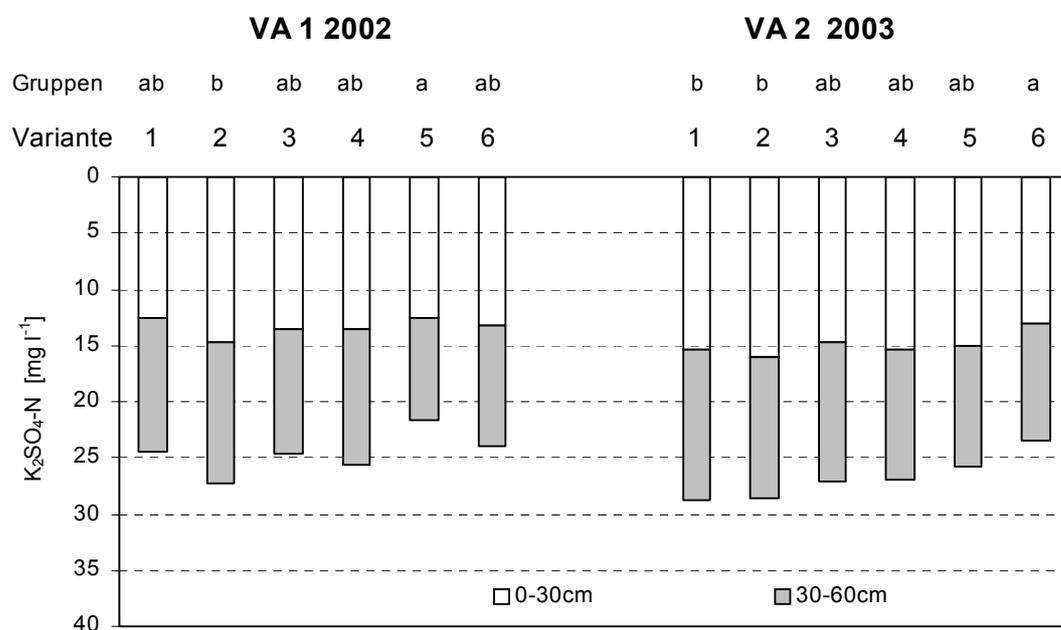
In Bezug auf die Untersuchungshypothesen wurde daher anhand des K_2SO_4 -extrahierbaren Stickstoffs festgestellt, dass der Gehalt an labilen organischen N-Verbindungen im Boden

- durch Mulchen von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung nicht erhöht wird (Arbeitshypothese 1) und
- durch den Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zu Anbau Leguminosen-Reinbeständen nicht verringert wird (Arbeitshypothese 2).
- Auf der Versuchsanlage 1 waren die Gehalte an labilen organischen N-Verbindungen nach den Luzerne-Gräser-Gemenge-Varianten tendenziell höher als nach den Luzerne-Reinbeständen. Zwischen den Nutzungssystemen bestanden keine Unterschiede.
- Auf der Versuchsanlage 2 waren die Gehalte an labilen organischen N-Verbindungen nach Mulchnutzung tendenziell etwas höher als nach Schnittnutzung wobei in Bezug auf die Artenzusammensetzung keine Unterschiede festgestellt wurden.



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
 Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, P<0,05)

Abbildung 13: K₂SO₄-extrahierbarer N unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
 Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, P<0,05)

Abbildung 14: K₂SO₄-extrahierbarer N unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)

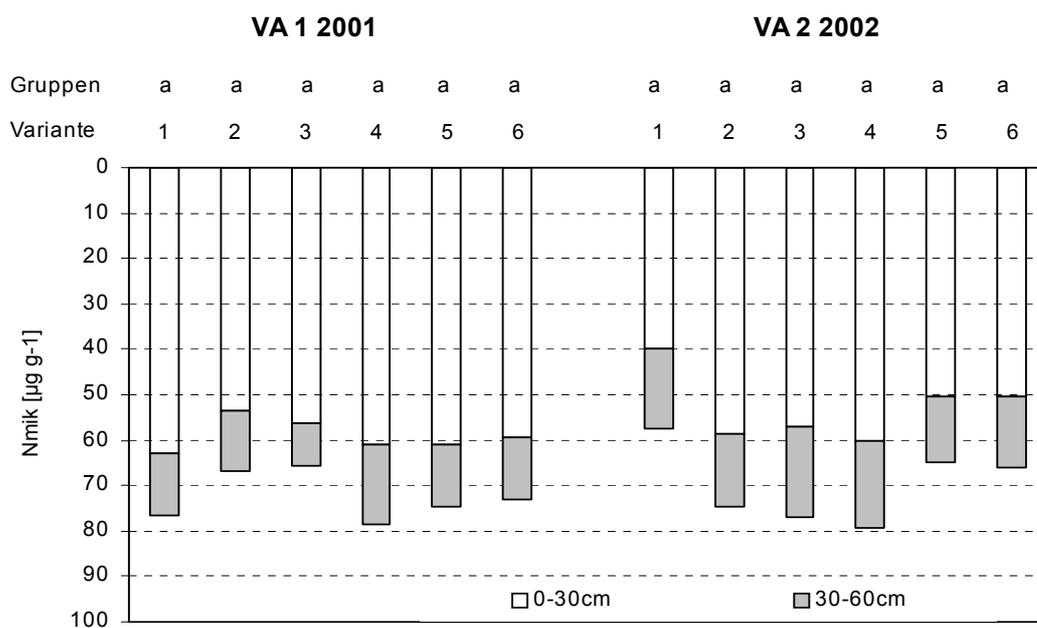
3.2.2.3 Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse (N_{mik})

Neben der Menge an mineralisierbarem Stickstoff und dem Gehalt an K_2SO_4 -extrahierbarem N stellt der Gehalt an mikrobiellem Stickstoff ein Maß für den Gehalt des Bodens an labilen organischen N-Verbindungen dar. Ursprünglich sollte der Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse in drei Tiefenstufen erfasst werden. Bereits nach dem erste Versuchsjahr zeigte sich jedoch, dass die N-Gehalte in der Bodentiefe von 60-90cm zu gering waren, um Unterschiede feststellen zu können. Da es sich bei der Fumigations-Extraktionsmethode um ein sehr zeitaufwändiges Verfahren handelt, wurde entschieden, die Untersuchungen auf die beiden oberen Bodenhorizonte 0-30cm und 30-60cm zu beschränken.

Bei der Untersuchung der mikrobiellen Biomasse unter der ersten Nachfrucht Winterweizen und der zweiten Nachfrucht Winterroggen konnten in keinem der Untersuchungsjahre signifikante Unterschiede im Gehalt an mikrobiellem Stickstoff zwischen den Varianten festgestellt werden (Abbildung 15 und Abbildung 16). (Tukey-Test, $P < 0,05$). Bei der ersten Nachfrucht Winterweizen lag in beiden Untersuchungsjahren mit rund $80 \mu\text{g } N_{\text{mik}} \text{ g}^{-1} \text{ TS}$ bei der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) der höchste Gehalt an N_{mik} vor. Bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen waren die N_{mik} -Gehalte auf beiden Versuchsanlagen bei der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), mit $75 \mu\text{g } N_{\text{mik}} \text{ g}^{-1} \text{ TS}$ im Jahr 2002 und $80 \mu\text{g } N_{\text{mik}} \text{ g}^{-1} \text{ TS}$ im Jahr 2003, die höchsten aller Varianten.

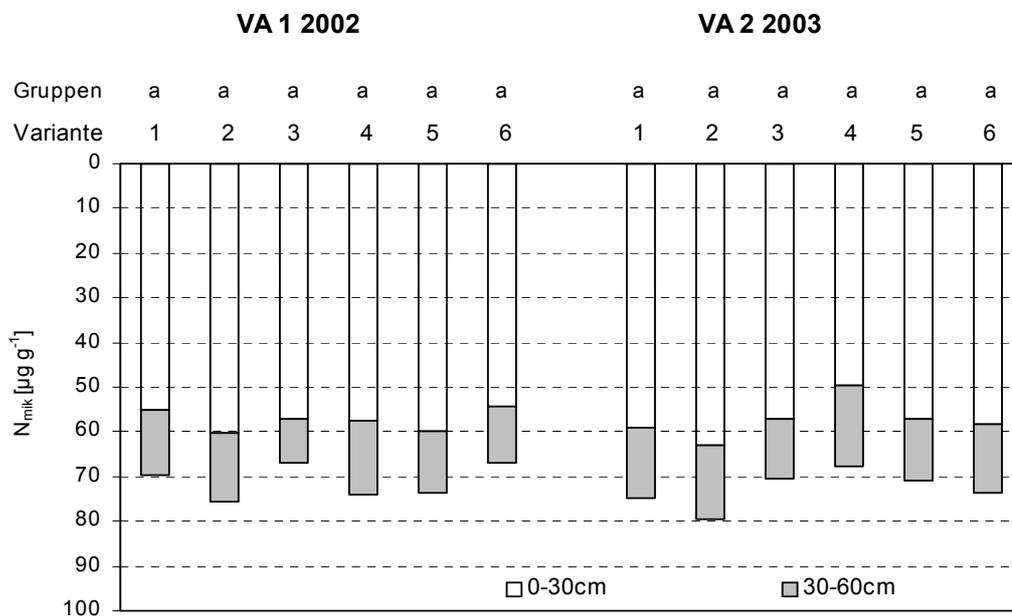
In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher anhand des Stickstoffs in der mikrobiellen Biomasse folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung der labilen organischen N-Verbindungen (Arbeitshypothese 1).
- Der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern bewirkte im Vergleich zum Anbau von reinen Luzerne-Beständen keine Verringerung der labilen organischen N-Verbindungen im Boden (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
 Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 15: Mikrobieller N unter der ersten Hauptfrucht Winterweizen im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
 Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 16: Mikrobieller N unter der zweiten Hauptfrucht Winterroggen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA 1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2)

3.2.3 In situ Netto-N-Mineralisation

3.2.3.1 In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen

Die Berechnung der in situ Netto-N-Mineralisation (NNM) erfolgte anhand folgender Formel:

$$\text{NNM} = \Delta N_{\min} + \text{Pflanzenentzug} + \text{N-Verluste} - \text{N-Deposition}$$

Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2000/01

In diesem Zeitraum betrug die in situ Netto-N-Mineralisation in der Periode vom Umbruch der Leguminosen-Bestände bis zum Keimen des Winterweizens zwischen 5 und 30kg N ha⁻¹ (Abbildung 17). Daten zu den Referenz-Vorfrüchten lagen zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor. Im Vergleich zu den folgenden Untersuchungsjahren war diese Mineralisationsrate als gering anzusehen. Über den Winter 2000/01 fand eine netto-Mineralisation von 40 bis 100kg N ha⁻¹ statt. Die höchsten N-Mengen wurden von Oktober bis März bei den Varianten Luzerne-Gräser-Gemenge sowohl bei Mulch- als auch bei Schnittnutzung mineralisiert (80-100kg N ha⁻¹). Bei Referenz-Vorfrucht Gräser-Gemenge wurden rund 40kg N ha⁻¹ netto mineralisiert. Die netto N-Mineralisation bei den Luzerne-Reinbeständen lag bei 60kg N ha⁻¹ und war somit deutlich niedriger als bei den Luzerne-Gräser-Gemenge Varianten. Bei der Referenz-Vorfrucht Winterroggen fand keine Netto-N-Mineralisation statt. Vom Beginn der Vegetationsperiode bis zum Ährenschieben des Winterweizens wurden bei allen untersuchten Varianten relativ gleich große Mengen Stickstoff mineralisiert. Die netto mineralisierte N-Menge betrug in diesem Zeitraum zwischen 20 und 40kg N ha⁻¹. In der Periode vom Ährenschieben bis zur Ernte des Weizens wurden N-Mengen im Bereich von 1 bis 25kg N ha⁻¹ netto mineralisiert.

Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2001/02

Im Zeitraum vom Umbruch der Leguminosen-Vorfrüchte bis zum Auflaufen des Winterweizens betrug die in situ Netto-N-Mineralisierung bei den Leguminosen-Varianten zwischen 48 und 75kg N ha⁻¹ und war somit wesentlich höher als im Jahr davor auf der Versuchsanlage 1 (Abbildung 18). Die Varianten Luzerne-Reinsaat (Mulch) und Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) wiesen die höchsten herbstlichen Mineralisierungsraten auf. Unter der Referenz-Variante Gräser-Gemenge wurde bei einer Netto-Mineralisierung von 5 kg N ha⁻¹ die signifikant niedrigste N-Menge mineralisiert. Über den Winter blieb die Mineralisierungsrate auf bei 30 bis 75kg N ha⁻¹ hoch und war daher auf einem ähnlichen Niveau wie im Jahr davor auf der Versuchsanlage 1. Die Referenz-Vorfrucht-Variante Winterroggen und die Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) wiesen die höchsten Mineralisationsraten auf (>50kg N ha⁻¹). Die Netto-N-Mineralisierungsraten von März bis Mai (Bestockung bis Ährenschieben) waren meist etwas höher als im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1. Die Varianten Luzerne Reinsaat (Mulch) wies in diesem Zeitraum eine stark negative netto-N-Mineralisierungsbilanz (30kg ha⁻¹) auf. Für den Zeitraum März bis Mai konnte für die Variante Leguminose-Reinsaat (Mulch) eine Verlagerung von N ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 3.3). Die negative Netto-N-Mineralisierungsrate die für diese Variante berechnet wurde, weist daher auf eine Überschätzung der Frühjahrs- N_{min}-Gehalte hin. Des weiteren könnte die Unterschätzung der Wurzelmasse bei dieser Variante die Ursache für die negative Netto-N-Mineralisation sein. Im Zeitraum vom Ährenschieben bis zur Ernte waren die Netto-Mineralisierungsraten niedriger als unter Winterweizen im gleichen Zeitraum des Vorjahres (1 bis 10kg ha⁻¹). Bei Variante Luzerne Reinsaat (Mulch) wurde mit einer Bilanz von 40kg N ha⁻¹ die höchste N-Menge mineralisiert.

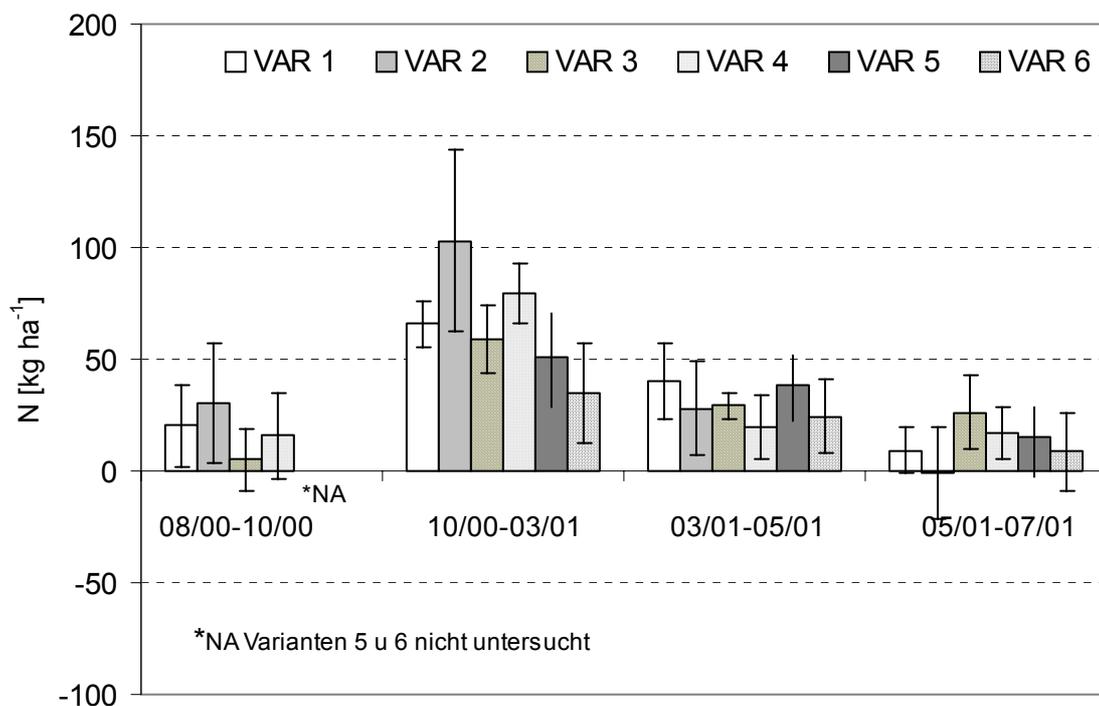
Aufgrund der hohen Varianzen innerhalb der Varianten konnten in Bezug auf die in situ Netto-N-Mineralisation unter der ersten Nachfrucht Winterweizen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tukey-Test, $P < 0,05$). Auch zu den Referenz-Vorfrüchten Gräser-Gemenge und Winterroggen bestanden keine deutlichen Unterschiede im Mineralisationsverhalten. Da die N-Gehalte in der Wurzelmasse auf der Basis von Literaturangaben abgeschätzt wurden und die Wurzelmasse abhängig von der Gesamtbiomasse der Pflanze stark schwankt, waren die hohen Standardabweichungen zum Teil auf die ungenauen Angaben zur unterirdischen Biomasse zurückzuführen.

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

- Mulchnutzung von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner höheren netto N-Mineralisation führte

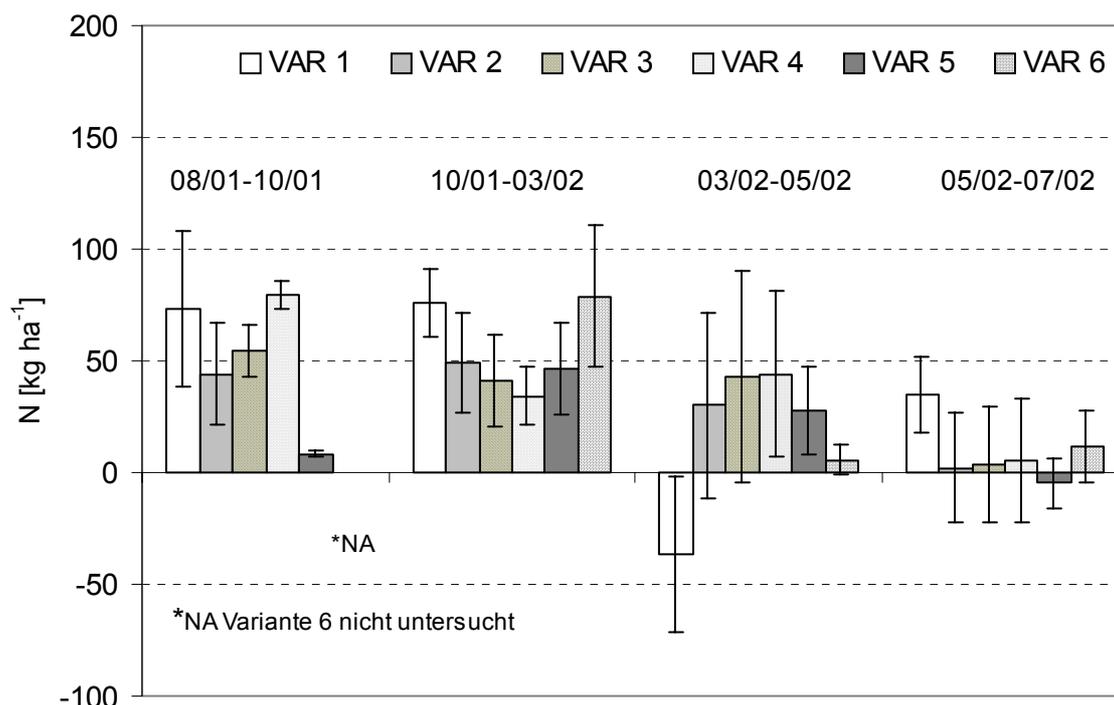
und weiters, dass

- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern keine Verringerung der netto N-Mineralisation bewirkte.



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 17: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen im Zeitraum 2000/01 auf der Versuchsanlage 1



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 18: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterweizen im Zeitraum 2001/02 auf der Versuchsanlage 2

3.2.3.2 In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen

Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2001/02

Im Zeitraum vom Umbruch der ersten Nachfrucht Winterweizen bis zum Anbau des Winterroggens war die Netto-Mineralisierung sehr hoch (45 und 80kg N ha⁻¹) (Abbildung 19). Die höchste Mineralisierung wurde bei der Referenz-Vorfrucht Winterroggen und der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) gemessen. Über den Winter 2001/02 waren die Netto-Mineralisierungsraten im Vergleich zu allen andern Jahren mit 0 bis 40kg ha⁻¹ am niedrigsten. Durch den frühen Anbautermin des Winterroggens (1.10.2001) kam es zu einer überdurchschnittlichen vorwinterlichen Entwicklung des Winterroggens. Da die Abnahme der N_{min}-Gehalte über den Winter hauptsächlich in der obersten Bodenschicht stattfand, waren die niedrigen N-Bilanzen zumindest teilweise auf die Verstärkte N-Aufnahme durch die 2. Nachfrucht zurückzuführen. Im Spätwinter 2002 konnten auf Grund der geringen Wasseranteile im Unterboden nur sehr geringe Wasserbewegungen festgestellt werden, was eine bedeutende N-Verlagerung ausschließen lässt. Zu Beginn der Vegetationsperiode bewegten sich die Mineralisierungsraten bei allen Varianten auf einem ähnlichen Niveau. Dabei wurden vom Ende März bis zum Ährenschieben Mitte Mai 30 bis 50kg N ha⁻¹ netto mineralisiert. Ab dem Ährenschieben bis zur Ernte des Roggens fand keine netto-N-Mineralisation mehr statt.

Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2002/03

Vor dem Anbau des Winterroggens war die Netto-Mineralisierung über die Sommermonate mit 40-70kg N ha⁻¹ hoch (Abbildung 20). Anders als im Jahr davor auf der Versuchsanlage 1 fand über den Winter 2002/2003 eine weitere Zunahme der N_{min}-Gehalte im Boden durch eine hohe Mineralisierungsaktivität bei allen Varianten statt. Die N-Bilanz war daher mit bis zu 130kg netto mineralisiertem N sehr hoch. Auf die hohen N_{min}-Gehalte im Frühjahr folgte eine starke Abnahme der N-Gehalte im Boden, die nicht der N-Aufnahme durch den Winterroggenbestand entsprach. Eine mögliche Auswaschung zu diskutieren (siehe Kapitel 3.3). Die stark positive Bilanz bei der Referenz-Vorfrucht Gräser-Gemenge weist jedoch darauf hin, dass die negative Bilanz von Mai bis Juli bei dieser Variante auf eine Überschätzung des N_{min}-Gehaltes im vorangegangenen März zurückzuführen sein dürfte. Die übrigen Negativ-Bilanzen liegen im Rahmen einer möglichen Unterschätzung der N-Aufnahme durch die Hauptfrucht.

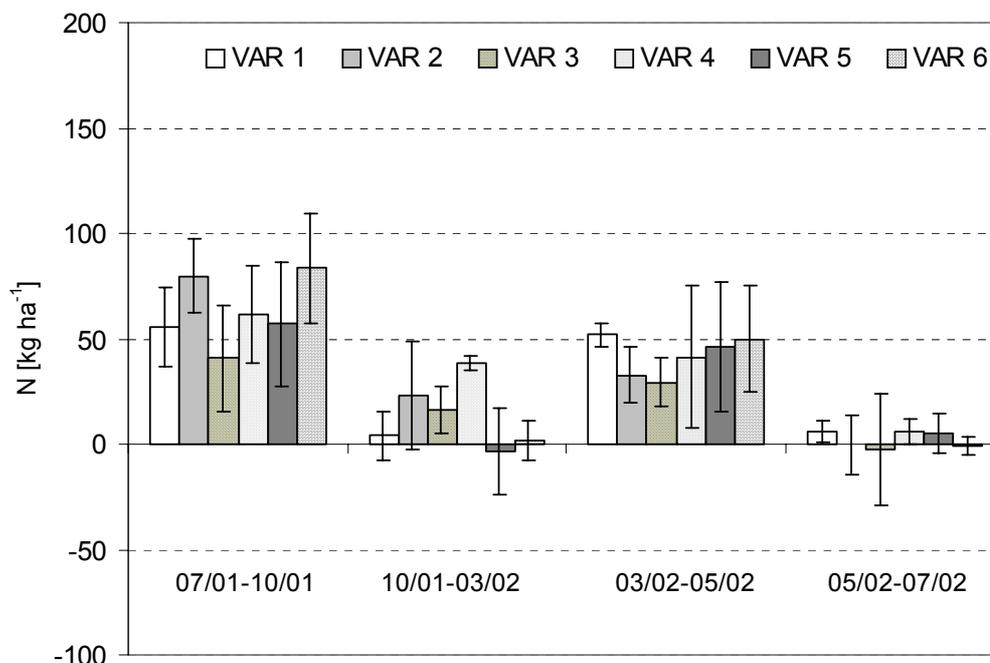
Auch unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen konnten aufgrund der hohen Varianzinhomogenität innerhalb der Varianten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden ($P < 0,05$).

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen

- Mulchnutzung von Futterleguminosen im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner höheren netto N-Mineralisation führte

und weiters, dass

- der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern keine Verringerung der netto N-Mineralisation bewirkte.



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 19: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Zeitraum 2001/02



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 20: In situ Netto-N-Mineralisation unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Zeitraum 2002/03

3.3 Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung

Zur Beschreibung des Bodenwassergehalts und des pflanzenverfügbaren Wassers wurden die Feldkapazität und der permanente Welkepunkt als Eckpunkte herangezogen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Feldkapazität und der permanente Welkepunkt nicht direkt bestimmt, sondern sekundär (pF-Kurven, Porenvolumen) als mittlere Werte auf der Basis von Daten aus anderen Untersuchungen geschätzt (Freyer, 2000, Himmelbauer, 2003; Farthofer, 2003). Die Feldkapazität wurde bei 300mm (0-120cm Bodentiefe) und der permanente Welkepunkt bei 130mm (0-120cm Bodentiefe) festgelegt. Aufgrund der Heterogenität des Standortes sind die Punkte daher als Richtwerte für die Interpretation der gemessenen Wasserhaushaltsdaten zu sehen.

3.3.1 Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung unter der ersten Nachfrucht Winterweizen

3.3.1.1 Bodenwasseranteil und pflanzenverfügbares Wasser

Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

Die Ergebnisse der Messung der Wasserspannung mittels Tensiometer ergaben pF-Werte im Bereich zwischen 2,0 und 2,9 (Tabelle 4). Die pF-Werte in 40cm Bodentiefe lagen bei 2,0 bis 2,8. Im 4. Wiederholungsblock (Variante 2 und 6), der im Vergleich zu den anderen drei Wiederholungsblocks auf einem feuchteren und etwas tonreicheren Standort angelegt war, wurden die niedrigsten pF-Werte gemessen. Parallel zum Beginn der Austrocknungsphase des Bodenprofils ab Ende April wurde der Messbereich der Tensiometer in 40cm überschritten. Für den Mai lagen daher keine Messdaten zur Wasserspannung im Oberboden vor. Für die oberen Bodenschichten empfiehlt sich daher unter den klimatischen Bedingungen des Marchfeldes die Anwendung von Gipsblöcken, deren Messbereich (>1000hPa) auch eine Anwendung unter trockenen Bedingungen erlaubt. Die pF-Werte in 80cm Bodentiefe lagen meist bei 2,8 und darüber, wobei der Messbereich der Tensiometer meist ab Mitte Mai überschritten wurde. In 120cm Bodentiefe wurden pF-Werte von 2,5 bis 2,9 gemessen. Insgesamt bewegten sich die pF-Werte in 0-120cm Bodentiefe im Bereich der mittleren bis unteren nutzbaren Feldkapazität. Die Ergebnisse der Wasserspannungsmessung auf der Parzelle 44a stimmten in der Bodentiefe 120cm nicht mit denen der Wasseranteilmessung überein und wurden daher für weitere Berechnungen nicht herangezogen.

Tabelle 4: pF-Werte im Boden unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

Variante Parzelle	1			2			2			3			4			6		
	42a			44a			55b			23b			22b			59a		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
März	2,7	2,9	2,5	2,8	2,8	2,5	2,0	2,8	2,8	2,5	2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,1	2,8	2,8
April	2,7	>2,9	2,8	2,8	2,8	2,3	2,1	2,7	2,8	2,6	2,8	2,8	2,8	>2,9	2,8	>2,9	2,7	2,8
Mai	>2,9	>2,9	>2,9	>2,9	2,9	2,5	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,7	>2,9	2,8	2,8

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

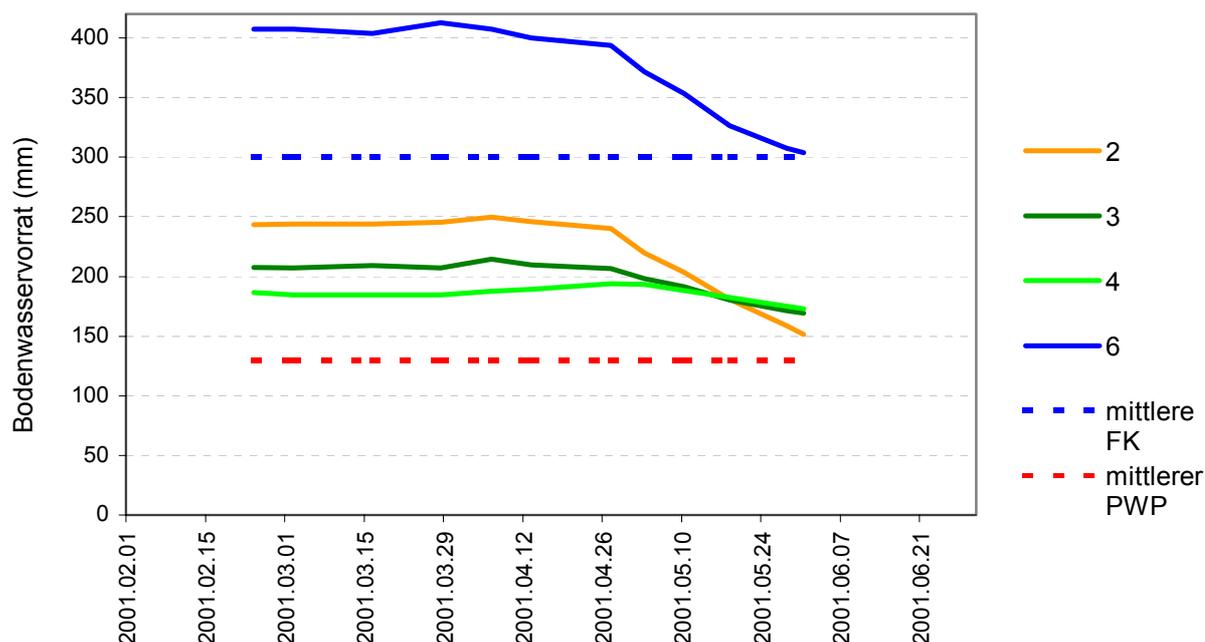
Der Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) bewegte sich mit 190 und 250mm in den Monaten März und April im mittleren bis unteren Bereich der nutzbaren Feldkapazität (Abbildung 21). Nach der Referenz-Vorfrucht Winterroggen lag der Bodenwasservorrat bis Anfang Mai über dem Niveau der mittleren Feldkapazität. Dieser Unterschied im Wasseranteil war vor allem auf den höheren Tongehalt in den Parzellen des 4. Wiederholungsblocks auf der Versuchsanlage 1 zurückzuführen (Messprofil für die Referenz-Vorfrucht Winterroggen). Auf Grund des höheren Wasserspeichervermögens der tonreichen Bodenschichten lagen die in diesem Bereich der Versuchsanlage gemessenen Wasseranteile um bis zu 50% über den Wasseranteilen, die in Parzellen der anderen Wiederholungsblöcken gemessen wurden. Der 4. Wiederholungsblock der Versuchsanlage 1 wurde daher im Jahr 2002 aus der Untersuchung des Wasserhaushaltes ausgeschieden und die Messstellen auf Parzellen der Wiederholungsblocks 1, 2 und 3 verlegt.

Insgesamt blieb auf der Versuchsanlage 1 der gemessene Bodenwasservorrat von Februar 01 bis Ende April 01 bei allen Varianten auf einem konstanten Niveau.

Da der erste Messpunkt zur Erfassung der Bodenfeuchte erst in 40cm Bodentiefe lag, konnte die Änderung des Wasseranteils in der obersten Bodenschicht nur näherungsweise erfasst werden. Bei der Bestimmung des Wasseranteils über eine Profiltiefe von 120cm ist durch das Fehlen eines Messpunktes in 10cm Bodentiefe von einem Messfehler von ca. 17%³ des gemessenen Wasseranteiles auszugehen. In den Monaten Februar und März (feuchter Oberboden) ist mit einer Unterschätzung und in den Monaten Mai und Juni (Oberboden trockener als in 40cm) mit einer Überschätzung des Wasseranteils zu rechnen. Darüber hinaus werden Änderungen des Wasseranteiles mit zeitlicher Verzögerung erfasst, wenn eine Feuchtefront die Tiefe von 40cm erreicht. Aufgrund der wöchentlichen Datenerfassungsintervalle konnten punktuelle Niederschlagsereignisse vor allem bei hohen aktuellen Verdunstungsraten (April, Mai, Juni) nicht erfasst werden.

Hohe Niederschläge im März (48mm) zeigten sich daher mit zeitlicher Verzögerung als leichter Anstieg des Wasseranteiles im April 2001. Ab Ende April kam es durch den Wasserverbrauch des Winterweizens und der dadurch erhöhten aktuellen Evapotranspiration (Tabelle 3) zu einer Abnahme des Bodenwasseranteils (Abbildung 21). Mit Ausnahme der Referenz-Vorfrucht Winterroggen auf dem feuchteren Standort im 4. Wiederholungsblock, wurde in keiner der untersuchten Parzellen das Wasservorratsdefizit zur Feldkapazität, das über den Sommer des Jahres 2000 aufgebaut worden war, durch die Niederschläge im Winterhalbjahr wieder vollständig aufgefüllt. Die wegen der geringen Niederschläge im Frühjahr/Sommer 2001 angespannte Wasserversorgungssituation für den Winterweizens konnte daher über den Bodenwasservorrat nur zum Teil ausgeglichen werden.

³ Bei Zuordnung des volumetrischen Wasseranteils in 10cm Bodentiefe für die Berechnung des Bodenwasseranteils der obersten 20cm bei einer Gesamtprofiltiefe von 120cm.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 21: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001⁴

Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

Die Messung der Wasserspannung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002 ergab in 40cm Bodentiefe pF-Werte um 2,6. In der mittleren (80cm) und unteren (120cm) Bodenschicht wurden im März und April pF-Werte im Bereich der Feldkapazität gemessen. Die Messungen der Wasserspannung mittels Tensiometer ergaben in 80cm Bodentiefe pF-Werte um 2 (Tabelle 5). In 120 cm lagen die pF-Werte ebenfalls mehrheitlich im Bereich der Feldkapazität. Die Messung der Bodenwasseranteile (FDR und gravimetrische Bestimmung) ergab stets Wasseranteile unterhalb der Feldkapazität. Die mittels Tensiometer gemessenen Wasserspannungen waren daher nicht plausibel (Abbildung 22).

Es wurde daher angenommen, dass aufgrund der geringen Bodenwasseranteile der Messbereich der Tensiometer im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 mehrheitlich überschritten wurde. Die Messdaten der Tensiometer auf diesem Standort wurden daher im Jahr 2002 nicht für weitere Überlegungen und Berechnungen herangezogen.

⁴ Für die Variante 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch) liegen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001 keine Messungen des volumetrischen Wasseranteils vor.

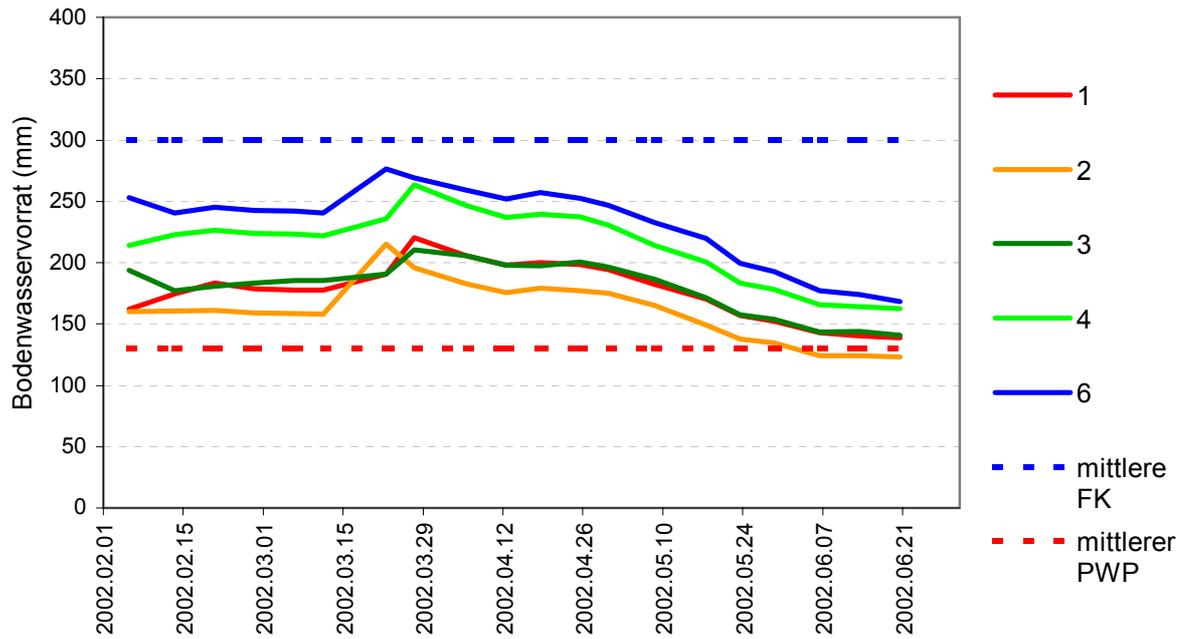
Tabelle 5: pF-Werte im Boden unter der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

Variante	1			2			3			4			6		
Parzelle	48b			67a			47a			50b			47b		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
Februar	NA	2,3	2,6	NA	2,7	2,7	NA	2,4	2,3	NA	2,6	2,8	NA	NA	NA
März	2,4	2,1	2,2	2,6	2,7	2,7	2,7	2,2	2,5	2,6	2,4	2,7	2,5	0,9	2,3
April	2,6	2,2	2,0	2,6	2,6	2,5	2,7	2,1	2,1	2,7	2,5	2,1	2,6	1,8	2,2
Mai	2,9	2,3	2,2	2,9	2,7	2,3	2,6	2,4	2,1	>2,9	2,7	2,2	>2,9	2,1	2,2
Juni	2,9	2,6	2,3	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,7	2,1	>2,9	2,8	2,0	>2,9	2,3	2,3

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen.

Der Bodenwasservorrat im Wurzelraum bewegte sich im zweiten Untersuchungsjahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 nach dem Winter auf einem Niveau zwischen 160 und 270mm und daher im mittleren bis unteren Bereich der nutzbaren Feldkapazität (Abbildung 22). Die Vorfrucht-Varianten Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) und Referenz-Vorfrucht Winterroggen wiesen über die gesamte Messperiode die höchsten Wasseranteile auf. Hohe Niederschläge im März 2002 führten bei allen Varianten zu einem deutlichen Anstieg des Wasseranteiles.

Wegen der, während der Anbauphase der Luzerne, im Sommer des Jahres 2001 herrschenden trockenen Witterung, wurde der Bodenwasservorrat bei den meisten Varianten in größerem Ausmaß erschöpft als auf der Versuchsanlage 1 im Jahr zuvor. Wie auch im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 kam es im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 ab Ende April zu einer starken Abnahme des Wasseranteils bei allen Varianten. Der Wasseranteil im Boden nach Winterroggen war, wie bereits im Jahr davor auf der Versuchsanlage 1, auch im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 der höchste aller Varianten. Im ersten Untersuchungsjahr war der höhere Wasseranteil nach Winterroggen zumindest teilweise durch den höheren Tongehalt des Standortes zu begründen. Die Wiederholung des Effektes im zweiten Untersuchungsjahr ist ein Hinweis darauf, dass die Futterleguminosen den Wasservorrat des Bodens stärker beanspruchten als die Vorfrucht Winterroggen. Die Auswirkungen der Luzerne auf die Wasserversorgung der nachfolgenden Getreidekulturen wird im Kapitel 4.2 diskutiert.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 22: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

3.3.1.2 Wasserbewegung und Stickstoffverlagerung

Wasserbewegung unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

Im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 zeigte der Potentialgradient in 80-120cm Bodentiefe nur auf dem feuchteren Standort der Messparzelle 55b eine längere Periode (März bis Mitte April) mit einem von oben nach unten gerichteten Wasserstrom an (Tabelle 6). Aufgrund der Richtung des Bodenwasserstroms ist daher anzunehmen, dass auf dem Großteil der Fläche der Versuchsanlage 1 im Messzeitraum März-Mai 2001 keine Verlagerung von Wasser aus dem durchwurzelten Raum stattgefunden hat.

Tabelle 6: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

Variante Parzelle	1 42a	2 55b	3 23b	4 22b	6 59a
23.02.01	-12,2	0,5	-3,8	<0	-0,4
02.03.01	-10,6	1,4	-0,1	<0	0
16.03.01	-11,7	0,8	0,2	<0	-0,6
30.03.01	<0	0,9	-0,1	<0	-0,6
06.04.01	-2,2	2,2	-0,2	<0	0,2
13.04.01	<0	1,0	-0,6	<0	-0,1
27.04.01	<0	-0,1	<0	<0	-0,3
03.05.01	<0	-0,7	<0	<0	-0,5
10.05.01	<0	-2,4	<0	<0	-2,4
18.05.01	<0	-1,5	<0	<0	-2,3
28.05.01	-2,8	-0,1	<0	<0	-2,5
31.05.01	-0,6	-0,8	-2,9	<0	-2,7

Legende

- 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch)
- 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)
- 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt)
- 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)
- 6 Winterroggen

Legende: grau unterlegte Werte entsprechen einem von oben nach unten gerichteten Bodenwasserstrom

Die Abschätzung der maximal aus dem effektiven Wurzelraum verlagerten Wassermenge (S_{max}) erfolgte durch die Erstellung einer Wasserbilanz, bei der die Änderung des Bodenwasservorrates (ΔBWV) der Differenz aus Niederschlag (NS) und aktueller Evapotranspiration (Eta) gegenüber gestellt wurde (Ehlers, 1997).

Die potentielle Sickerwassermenge lässt sich anhand folgender Gleichung herleiten:

$$S_{max} = NS - \text{Eta} - \Delta BWV$$

Aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung der Erfassung der Änderung des Bodenwasservorrats (wöchentliche Messungen) wurde nur eine monatliche Bilanzierung vorgenommen.

Auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2001 betrug die potentielle Sickerwassermenge (S_{\max}) laut Wasserbilanz je nach Standort im März 15 bis 23mm, im April 3mm und im Monat Mai 13 bis 47mm (Tabelle 7). Im April ergab die Wasserbilanz meist ein Wasserdefizit, was einem von unten nach oben gerichteten Bodenwasserstrom entspricht. Im Mai war die Schwankungsbreite zwischen potentieller Sickerung und einem nach oben gerichteten Bodenwasserstrom sehr hoch.

Tabelle 7: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{\max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

	März	April	Mai
	mm	mm	mm
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	NA	NA	NA
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	15	-4	32
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	22	-15	-6
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	23	-25	-23
Winterroggen	16	3	47
MW	19	-10	13

Die Berechnung der Wasserbilanz ergab eine Verlagerung von Bodenwasser für die Monate März und Mai. Die Richtung des Bodenwasserstroms in 80-120cm Bodentiefe (Tabelle 6) und die im gesamten Messzeitraum meist hohen pF-Werte ($pF > 2,5$) sprechen jedoch gegen eine Verlagerung von Bodenwasser aus dem Messprofil (Tabelle 4). Im April und Mai 2001 war darüber hinaus die klimatische Wasserbilanz negativ (Niederschlag $<$ aktuelle Evapotranspiration) (Abbildung 23). Es ist daher anzunehmen, dass die aus der Wasserbilanz berechneten potentiell verlagerten Wassermengen auf die fehlende Erfassung der Wasserhaushaltsdynamik in der obersten Bodenschicht zurückzuführen sind. Eine Verlagerung von nennenswerten Wassermengen aus dem effektiven Wurzelraum ist daher nicht anzunehmen.

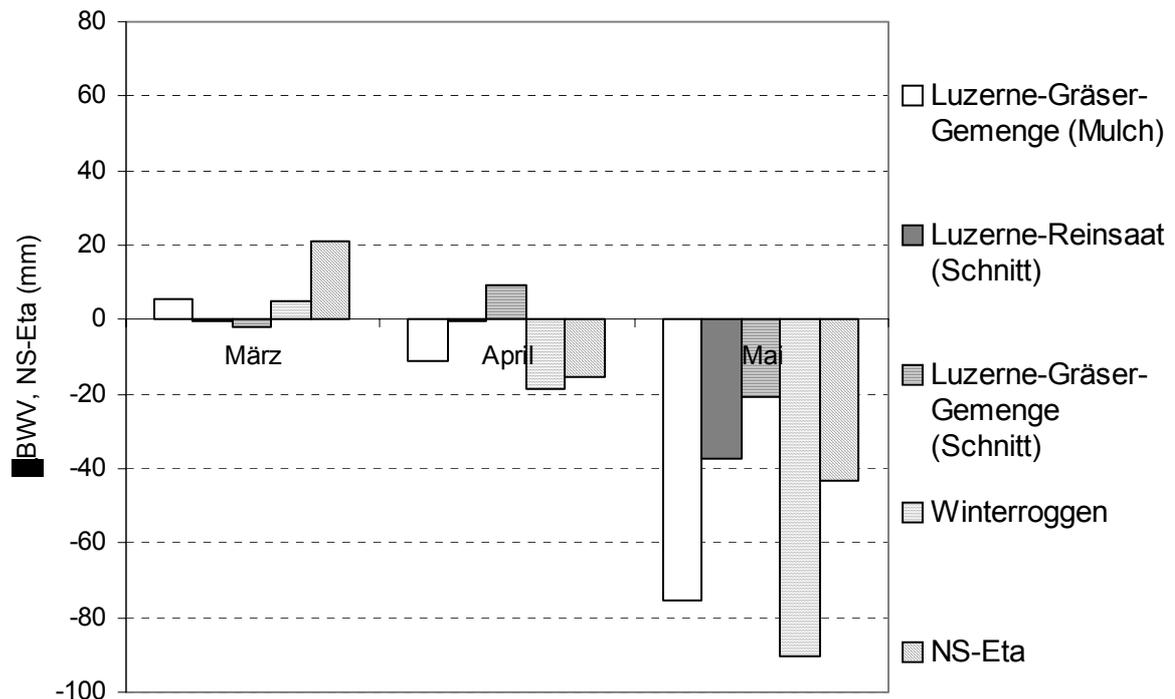


Abbildung 23: Differenz zwischen Niederschlag (NS) und aktueller Evapotranspiration (Eta); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001

Wasserbewegung unter Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

Wie bereits weiter oben beschrieben, konnten die Ergebnisse der Messung der Wasserspannung durch Tensiometer auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002 nicht zur Berechnung der Potentialgradienten herangezogen werden. Die Berechnung der aus dem Wurzelraum verlagerten Wassermenge beruht daher ausschließlich auf den Ergebnissen der Bodenwasserbilanz und der klimatischen Wasserbilanz.

Für die Versuchsanlage 2 ergaben sich im Jahr 2002 laut Wasserbilanz bei den einzelnen Messparzellen potentielle Sickerwassermengen von 9 bis 19mm im Februar, 8 bis 9mm im März, 26 bis 45mm im April, 19 bis 32mm im Mai und 2 bis 25mm im Juni (Tabelle 8).

Tabelle 8: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{\max} bei $S > 0$) bzw. Wasserdefizit ($S < 0$) auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

	Februar	März	April	Mai	Juni
	mm	mm	mm	mm	mm
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	-8	-7	38	20	14
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	9	-2	33	19	12
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	19	8	26	21	14
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	-2	-5	45	31	16
Winterroggen	18	9	35	32	25
MW	7	1	35	25	16

Aufgrund der feuchten Witterung im Untersuchungsjahr 2002 war die klimatische Wasserbilanz außer im Monat Mai stets positiv ($NS > \text{Eta}$) (Abbildung 24). Im Februar und März entsprach die Zunahme des Bodenwasservorrats meist dem Niederschlagsüberschuss. Die stetige Zunahme des Bodenwasseranteils weist daher auf eine Wiederauffüllung des Bodenwasservorrats hin. Eine Verlagerung von Bodenwasser in den Monaten Februar und März ist daher auszuschließen. Im April, Mai und Juni kam es zu einer Abnahme des Bodenwasserspeichers, wobei die Abnahme des Wasseranteils in diesen Monaten durch die klimatische Wasserbilanz nicht abgedeckt war. Aufgrund der hohen Niederschläge im April 2002 (68mm), war die klimatische Wasserbilanz in diesem Monat positiv ($NS > \text{Eta}$). Die parallel dazu verlaufende Abnahme des Bodenwasservorrats weist auf eine Verlagerung von Wasser aus dem Wurzelraum im Monat April hin. Da in keinem der Messprofile im April die mittlere Feldkapazität erreicht wurde, ist eine Verlagerung von größeren Wassermengen auszuschließen (Abbildung 22). Darüber hinaus waren die Wasseranteile im Unterboden meist gering (9-16%vol). Es wird angenommen, dass die sich aus der Wasserbilanz ergebende potentiell verlagerte Wassermenge in Wirklichkeit in der oberen Bodenschicht gespeichert und daher durch die Messungen nicht erfasst wurde. In den Monaten Mai und Juni war die klimatische Wasserbilanz negativ bzw. ausgeglichen. Da es in diesen Monaten zum höchsten Wasserverbrauch durch die Getreidekultur kommt, ist eine Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum nicht wahrscheinlich. Für die Monate Mai und Juni wird daher angenommen, dass die sich aus der Wasserbilanz ergebenden potentiellen Sickerwassermengen eine Folge der fehlenden Informationen über die Wasserdynamik in der obersten Bodenschicht sind.

Der Ausfall der Tensiometer und die fehlende Sammlung von Bodenlösung in den Saugkerzen weisen auf hohe Wasserspannungen im Unterboden während des gesamten Messzeitraumes hin, was ebenfalls gegen eine Verlagerung von Wasser spricht.

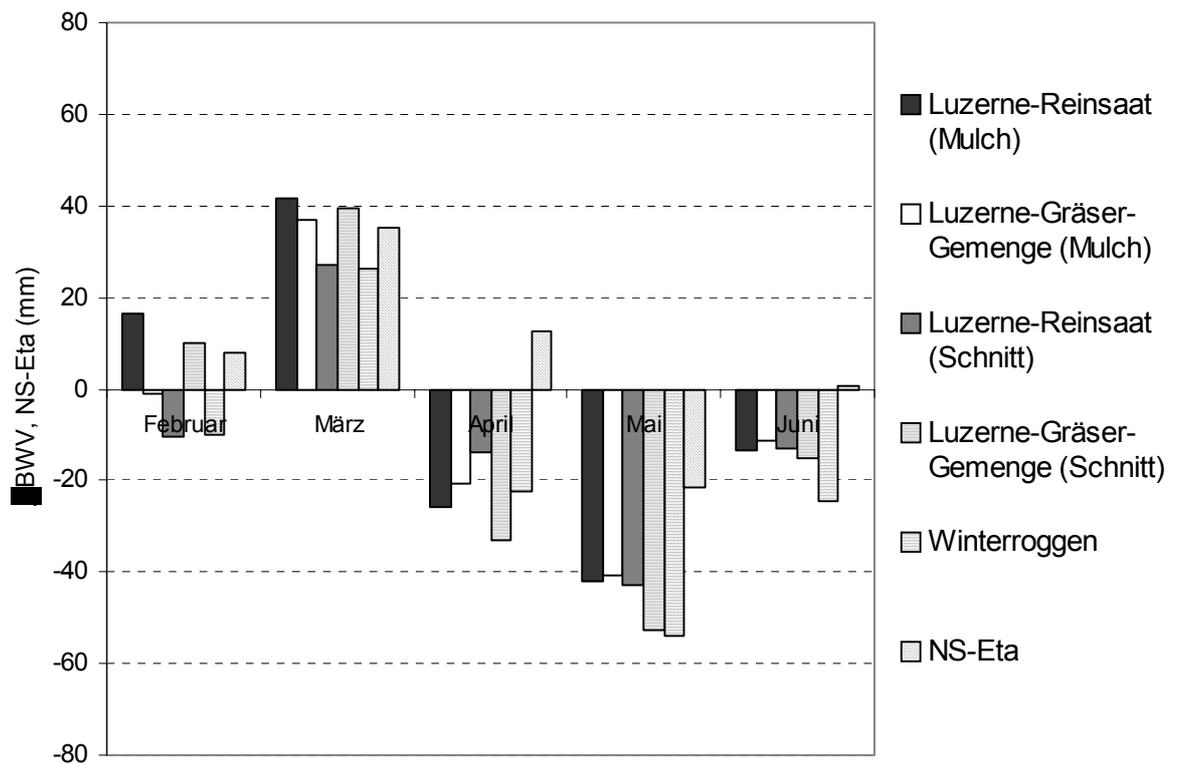


Abbildung 24: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

Nitratkonzentration in der Bodenlösung

In den Messperioden der Jahre 2001 und 2002 konnte aufgrund des geringen Bodenwasservorrats mit Hilfe der Saugkerzen keine Bodenlösung gesammelt werden. Um trotz dieses Umstandes Aussagen über die Verlagerung von Stickstoff treffen zu können, wurde der N_{\min} -Gehalt in der Bodenschicht von 90-120cm als Grundlage für die Berechnung der potentiellen N-Konzentration in der Bodenlösung herangezogen. Von einer Verlagerung in tiefere Bodenschichten ist in erster Linie das Nitrat, das in den wasserführenden Grob- und Mittelporen gelöst ist, betroffen. Bei der Extraktion von Bodenproben wird das gesamte Nitrat, also auch jene Menge, die in den wassergefüllten Feinporen (Totwasser) gebunden ist, erfasst. Die anhand der N_{\min} -Gehalte berechneten N-Konzentrationen stellen daher die maximal möglichen N-Konzentration im Bodenwasser dar.

Unter der ersten Nachfrucht Winterweizen konnten in beiden Untersuchungsjahren aufgrund der hohen Varianzinhomogenität der NO_3 -N-Gehalte innerhalb der Wiederholungen einer Variante keine signifikanten Unterschiede zwischen den NO_3 -N-Konzentrationen im Bodenwasser in 90-120cm ausgewiesen werden (Tabelle 9).

Im **Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1** bewegten sich die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in der Bodenlösung nach den Leguminosen-Vorfrüchten im März in einem Bereich von 26 bis 54mg l^{-1} und nach den Referenz-Vorfrüchten zwischen 43 und 44mg l^{-1} . Im Mai 2001 betrug die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration nach den Leguminosen-Vorfrüchten zwischen 20 und 42mg l^{-1} und nach den Referenz-Vorfrüchten zwischen 18 und 41mg l^{-1} .

Im **Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2** betragen die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im März nach Leguminosen-Vorfrüchten 21 bis 30mg l^{-1} und nach den nichtleguminosen Referenz-Vorfrüchten 2- 14mg l^{-1} . Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Mai lagen zwischen 3 und 23mg l^{-1} . Bei den Leguminosen-Vorfrucht-Varianten waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Mai tendenziell niedriger als bei den Referenz-Vorfrucht-Varianten ($30\text{-}36\text{mg l}^{-1}$).

Aufgrund der hohen Varianzen innerhalb der Varianten waren die Unterschiede statistisch nicht absicherbar ($P < 0,05$).

Unter der ersten Nachfrucht Winterweizen führte daher

- Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der N-Konzentration in der Bodenlösung (Arbeitshypothese 1).

des weiteren

- war die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Bodenlösung nach Luzerne-Gräser-Gemengen nicht niedriger als nach reinen Luzerne-Beständen (Arbeitshypothese 2).

Tabelle 9: Geschätzte $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Bodenlösung unter Winterweizen basierend auf den N_{min} -Gehalten im Boden in 90-120cm Bodentiefe

Variante	VA1 2001				VA 2 2002			
	März		Mai		März		Mai	
	mg l^{-1}	Stbw						
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	39	21	42	21	30	20	23	22
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	48	19	41	21	21	21	3	23
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	26	19	20	18	22	20	23	23
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	54	19	39	18	25	15	14	23
Gräser-Gemenge (Schnitt)	44	18	41	16	2	17	36	25
Winterroggen	43	17	18	18	14	22	30	31

Nitratverlagerung

Wie bereits im Unterkapitel Wasserbewegung beschrieben, fand im **Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1** in den meisten Messparzellen keine Verlagerung von Bodenwasser aus dem durchwurzelten Bereich statt. Eine Verlagerung großer N-Mengen aus dem Wurzelraum war daher für das Jahr 2001 auszuschließen.

An einem feuchteren Standort der Versuchsanlage 1 (Parzelle 55b, Variante 2 Luzerne-Gräser-Gemenge Mulch) wurde von März bis Mitte April 2001 ein von oben nach unten gerichteter Potentialgradient festgestellt. Für diesen Standort ergibt sich anhand der Wasserbilanz und der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in der untersten Bodenschicht für den Monat März eine maximal verlagerte $\text{NO}_3\text{-N}$ -Menge von 7kg ha^{-1} .

Auf der **Versuchsanlage 2 im Jahr 2002** war eine Verlagerung von Bodenwasser und daher auch eine Verlagerung von Nitrat auszuschließen.

Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

- Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der aus dem effektiven Wurzelraum verlagerten N-Menge führte (Arbeitshypothese 1).

des weiteren

- war die verlagerte N-Menge nach Luzerne-Gräser-Gemengen nicht niedriger als nach reinen Luzerne-Beständen (Arbeitshypothese 2).

3.3.2 Bodenwasserhaushalt und Nitratverlagerung unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen

3.3.2.1 Bodenwasseranteil und pflanzenverfügbares Wasser

Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

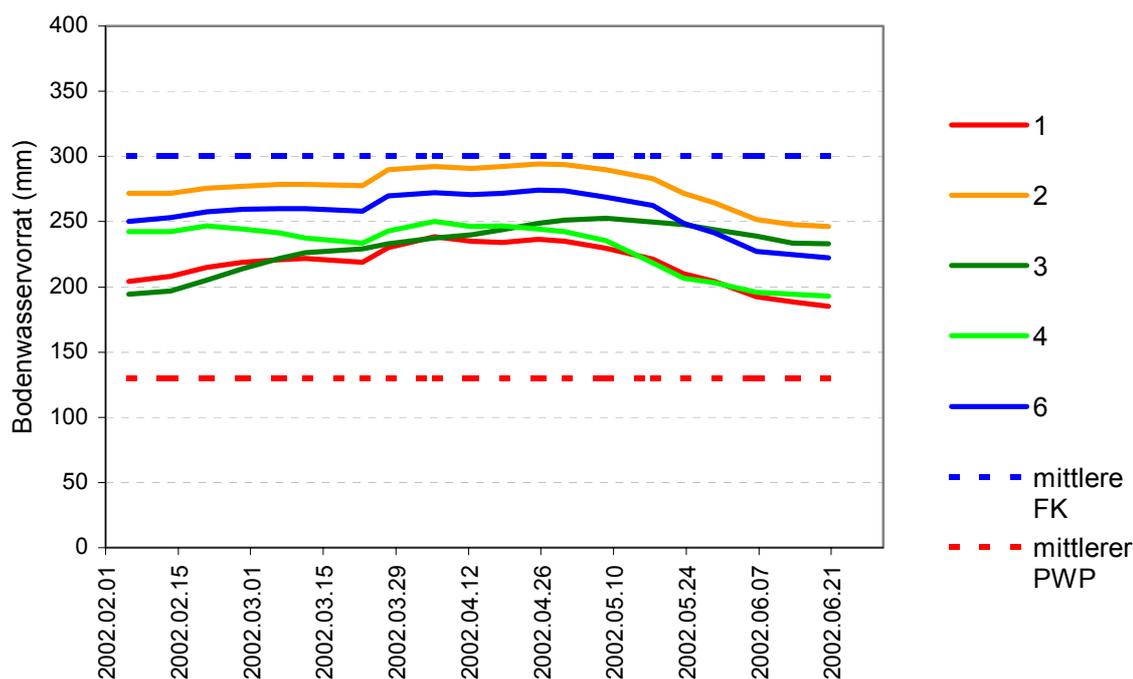
Die Messung der Wasserspannung mittels Tensiometer ergab pF-Werte zwischen 2,4 und 2,9 (Tabelle 10). Durch die hohen Regenfälle im März kam es bei den meisten Messstellen in 40cm Bodentiefe zu einer vorübergehenden Verringerung der pF-Werte in den Bereich der Feldkapazität bzw. der oberen nutzbaren Feldkapazität. In den tieferen Bodenschichten führten die Niederschläge ebenfalls zu einer leichten Verringerung der pF-Werte. In 120cm Bodentiefe wurde die Feldkapazität allerdings nur in der Parzelle 22b (Variante Luzerne-Gräser-Gemenge Schnitt) in den Monaten März und April erreicht. Bei den anderen Messparzellen lagen die pF-Werte zwischen 2,6 und 2,8 und somit im oberen und mittleren Bereich der nutzbaren Feldkapazität. Ab Mitte Mai wurde der Messbereich der Tensiometer die in 40cm Bodentiefe eingebaut waren unterschritten ($\text{pF} > 2,9$). In den tieferen Bodenschichten, vor allem in 120cm blieben die pF-Werte über der Feldkapazität ($\text{pF} > 2,5$).

Tabelle 10: pF-Werte im Boden unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

Variante	1			2			2			3			4			6		
Parzelle	42a			25a			44a			23b			22b			43b		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
Februar	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,6	NA	2,9	2,9	NA	2,8	2,6	NA	2,7	2,7
März	2,6	2,7	2,7	2,5	2,8	2,7	2,6	2,7	2,6	2,8	2,9	2,9	2,4	2,8	2,5	2,6	2,8	2,6
April	2,7	2,6	2,7	2,7	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,9	2,5	2,7	2,5	2,6	2,7	2,6
Mai	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,7	2,8	2,7	2,5	2,8	2,9	2,9	>2,9	2,7	2,6	>2,9	2,8	2,6
Juni	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6	2,8	2,8	2,9	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,6

Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen.

Die Messung der Wasseranteile ergab einen Wasservorrat im effektiven Wurzelraum zwischen 200 und 300mm (Abbildung 25). Das entsprach einem Wasseranteil im oberen bis mittleren Bereich der nutzbaren Feldkapazität. Bei den Varianten Luzerne-Gräser-Gemenge und der Referenz-Vorfrucht-Variante Winterroggen wurden Bodenwasseranteile nahe der angenommenen mittleren Feldkapazität gemessen. Die Wasseranteile dieser beiden Varianten waren bereits im Jahr 2001 unter Winterweizen wurden auf der Versuchsanlage 1 die höchsten aller Varianten. Bei Referenz-Vorfrucht Winterroggen waren die Wasseranteile unter der zweiten Nachfrucht im Unterschied zum Jahr 2001 etwas geringer als bei der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch). Die übrigen Varianten unterschieden sich hinsichtlich des Wasseranteils nur geringfügig. In den Monaten März, April und Mai führten hohe Niederschläge bei allen Varianten zu einem Anstieg der Wasseranteile. Der Wasseranteilsanstieg war im Vergleich zu den Wasseranteilen, die auf der Versuchsanlage 2 im gleichen Zeitraum unter Winterweizen gemessen wurden, geringer ausgeprägt. Anfang Mai 2002 setzte bei allen Varianten außer der Vorfrucht-Variante Luzerne-Reinsaat (Schnitt) durch die höhere Evaporation und den zunehmenden Wasserverbrauch durch den Pflanzenbestand eine langsame Wasseranteilsabnahme im Bodenprofil ein. Im Vergleich zur Versuchsanlage 2 (Winterweizen) war die Wasseranteilsabnahme geringer ausgeprägt. Als Grund dafür ist die schlechtere Bestandesentwicklung des Winterroggens und der in der Folge geringere Wasserverbrauch der Nachfrucht anzunehmen.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 25: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

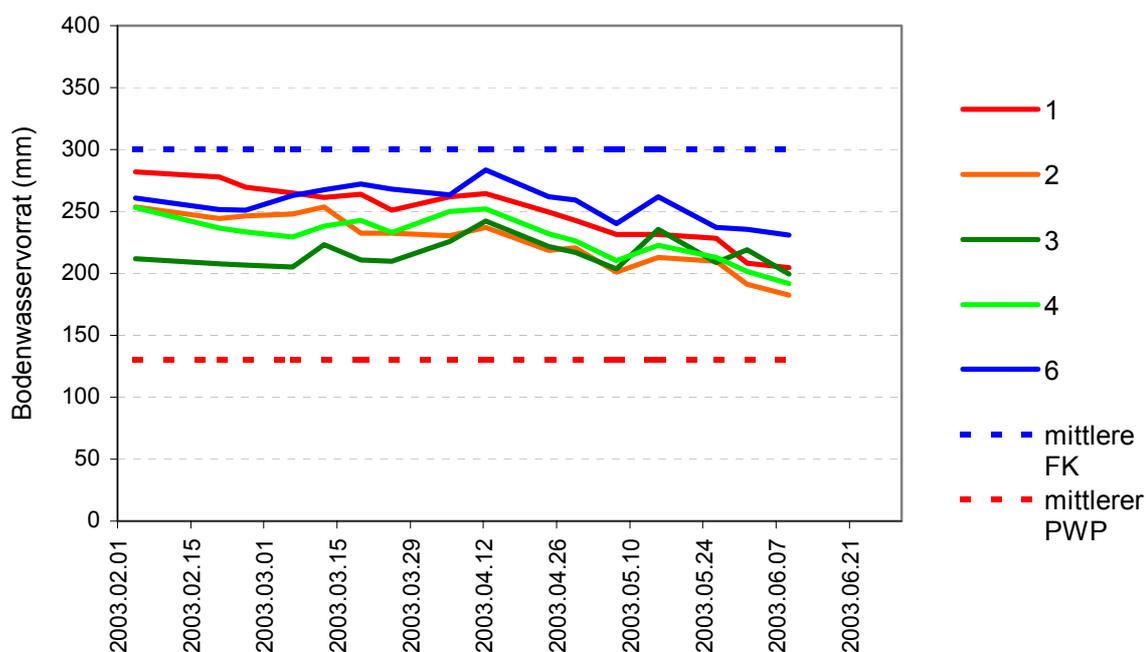
Die Messungen Wasserspannung ergaben im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 pF-Werte in einem Bereich von 2,6 (Tabelle 11). Von März bis April bestand bei den Messparzellen der Varianten Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), Luzerne Reinsaat (Schnitt), Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) und der Referenz-Vorfrucht-Variante Winterroggen eine Aufsättigung auf Feldkapazität. In 40cm Bodentiefe sank das Matrixpotential ab Mitte Mai unter den Messbereich der Tensiometer ab. In 80 und 120cm Bodentiefe wurden pF-Werte im oberen und mittleren Bereich der nutzbaren Feldkapazität gemessen, wobei die mittlere Bodenschicht (80cm) während der Messperiode in allen Parzellen die höchsten pF-Werte aufwies.

Tabelle 11: pF-Werte im Boden unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

Variante	1			2			2			3			4			6		
Parzelle	29b			28b			49a			28a			50b			31b		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
März	2,4	2,6	2,6	2,4	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,5	2,4	2,3
April	2,7	2,7	2,6	2,6	2,7	2,6	2,5	2,5	2,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4
Mai	>2,9	2,9	2,8	2,7	2,9	2,8	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,7	2,6	2,9	2,7	2,6
Juni	>2,9	2,9	2,8	2,8	2,9	2,8	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,9	2,8	>2,9	2,8	2,6	2,9	2,8	2,7

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Im Jahr 2003 wurde zusätzlich zu den drei Messpunkten in 40, 80 und 120cm Bodentiefe der Wasseranteil an der Bodenoberfläche (10cm) gemessen. Die Änderungen im Wasseranteil konnten daher mit höherer Genauigkeit als in den vorangegangenen Jahren abgebildet werden. Durch die weiterhin wöchentlich erfolgte händische Datenerfassung blieben vor allem in den Monaten April, Mai und Juni kleinere Niederschlagsereignisse weiterhin unberücksichtigt. Im letzten Untersuchungsjahr bewegte sich der Bodenwasservorrat in einem Bereich zwischen 200 und 280mm, was dem oberen und mittleren Bereich der nutzbaren Feldkapazität entsprach (Abbildung 26). Aufgrund der geringen Niederschlagstätigkeit kam es im Jahr 2003 früher als in den vorangegangenen Jahren (Mitte April) zu einem Absinken des Bodenwasservorrats. Hohe Niederschläge im Mai 2003 bewirkten eine zwischenzeitliche Wasseranteilerhöhung. Den höchsten Wasseranteil wies wie im Jahr 2002 unter der ersten Nachfrucht die Referenz-Vorfrucht Variante Winterroggen auf. Bei den Leguminosen-Varianten waren keine eindeutigen Tendenzen in Bezug auf den Wasseranteil des Vorjahres festzustellen.



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 26: Bodenwasservorrat im effektiven Wurzelraum (0-120cm) unter Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

3.3.2.2 Wasserbewegung und Nitratverlagerung

Wasserbewegung auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

Laut Potentialgradient bestand in der Messparzelle 42a (Variante Luzerne Reinsaat Mulch) im April eine Periode mit Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum. In der Messparzelle 23b (Variante Luzerne-Reinsaat Schnitt) lag eine Periode mit Verlagerung von Bodenwasser von März bis Juni vor (Tabelle 12). Bei der Messparzelle 23b wurden im Verlauf der Wasserhaushaltsmessungen beträchtliche Unterschiede zu den übrigen Messparzellen festgestellt. Da von dieser Messparzelle keine Bodendaten vorlagen, konnte keine Interpretation des Messverlaufes erfolgen. Die Messergebnisse dieser Parzelle konnten daher nicht für die Darstellung der Bedingungen der N-Verlagerung am Standort herangezogen werden.

In den übrigen untersuchten Messprofilen zeigten die Potentialgradienten während der gesamten Messperiode eine von unten nach oben gerichtete Wasserbewegung an. Die Richtung der Potentialgradienten stand daher im Widerspruch zu einer Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum.

Tabelle 12: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

Variante	1	2	2	3	4	6
Parzelle	42a	25a	44a	23b	22b	43b
2002.02.13	-8,7	-6,3	-7,7	-1,5	-6,8	-2,0
2002.02.20	-5,3	-5,0	-7,0	0,2	-6,9	-1,8
2002.02.27	-3,4	-4,2	-5,3	-1,1	-8,0	-3,0
2002.03.06	-2,6	-3,7	-5,2	-1,1	-8,6	-4,0
2002.03.11	-1,0	-4,1	-4,5	0,2	-8,8	-5,3
2002.03.22	-3,3	-3,2	-3,3	0,6	-7,0	-5,2
2002.03.27	-2,0	-3,2	-3,5	1,0	-6,2	-5,1
2002.04.05	0,2	-1,5	-2,5	0,4	-8,0	-3,3
2002.04.12	0,2	-2,7	-2,5	0,3	-5,4	-4,4
2002.04.18	0,5	-3,2	-2,4	0,7	-4,8	-3,5
2002.04.25	1,3	-3,1	-1,9	1,5	-4,8	-4,4
2002.04.30	1,5	-4,2	-2,1	0,4	-4,8	-3,2
2002.05.08	-1,4	-4,1	-2,6	0,3	-5,4	-5,3
2002.05.17	-2,2	-4,3	-4,5	0,6	-3,3	-5,7
2002.05.23	-2,9	-7,3	-6,3	0,4	-4,6	-5,8
2002.05.29	-4,9	-7,2	-6,0	0,0	-4,0	-5,5
2002.06.06	-5,9	-6,0	-8,9	-0,1	-6,5	-5,2
2002.06.13	-6,8	-5,9	-9,1	1,0	-7,1	-5,5
2002.06.20	-7,0	-5,8	-10,2	2,6	-7,8	-5,5

Legende

1 Luzerne-Reinsaat (Mulch)

2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)

3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt)

4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)

6 Winterroggen

Legende: grau unterlegte Werte entsprechen einem von oben nach unten gerichteten Bodenwasserstrom

Laut Wasserbilanz betragen die Sickerwassermengen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002 im Februar von 3 bis 6mm, im März 22 bis 36mm, im April 5 bis 13mm, im Mai 8 bis 18mm und im Juni 6 bis 20mm an (Tabelle 13).

Tabelle 13: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

	Februar	März	April	Mai	Juni
	mm	mm	mm	mm	mm
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	-7	24	7	9	20
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	3	22	8	8	19
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	4	-17	5	17	6
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	6	36	13	18	11
Winterroggen	-1	25	9	11	20
MW	1	18	8	13	15

In den Monaten Februar, März und April 2002 war die klimatische Wasserbilanz positiv ($NS>E_{ta}$) (Abbildung 27). Da die Niederschläge zu keiner entsprechenden Erhöhung des Bodenwasservorrats führten, wies die Wasserbilanz auf eine Verlagerung von Bodenwasser im Ausmaß von durchschnittlich 1mm im Februar, 18mm im März und 8mm im April hin. Die Richtung des Potentialgradienten im Unterboden (80 - 120cm) sprach bei den meisten Messstellen gegen eine tatsächliche Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum. Weiters wurde im betreffenden Zeitraum die Feldkapazität des Bodens nicht erreicht. Es ist daher anzunehmen, dass die sich aus der Wasserbilanz ergebende potentiell verlagerte Wassermenge ein Artefakt in Folge der bereits besprochenen fehlenden Erhebung des Wasseranteiles in der obersten Bodenschicht ist.

Im Monat Mai war die klimatische Wasserbilanz stark negativ ($NS<E_{ta}$). Eine Verlagerung von Bodenwasser zum Zeitpunkt des höchsten Wasserverbrauches durch die Getreidekultur im Mai, ist bei negativer Wasserbilanz nicht wahrscheinlich. Im Juni war die klimatische Wasserbilanz leicht positiv. Aufgrund des durch das Pflanzenwachstum hohen Wasserverbrauches und des geringen Wasseranteiles im Boden, ist im Juni eine Verlagerung von Bodenwasser nicht anzunehmen.

Eine Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum in tiefere Bodenschichten konnte daher für das Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 ausgeschlossen werden.

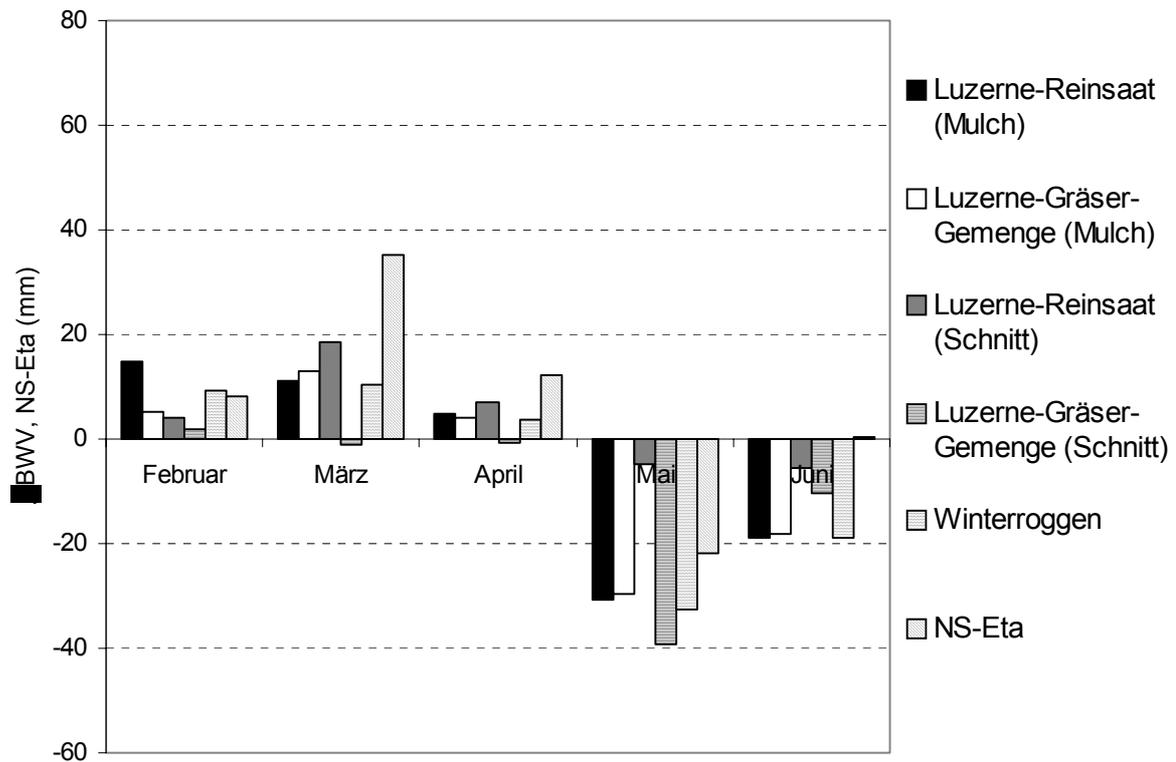


Abbildung 27: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETA); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002

Wasserbewegung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

Im Jahr 2003 zeigten die Potentialgradienten aller Messparzellen in der Bodenschicht zwischen 80 und 120cm eine Wasserbewegung von unten nach oben an (Tabelle 14). Aufgrund des Potentialgefälles war daher für den Messzeitraum eine Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum auszuschließen.

Tabelle 14: Potentialgradienten zwischen 80 und 120cm unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

Variante	1	2	2	3	4	4	18
Parzelle	29b	28b	49a	28a	32a	50b	31b
2003.03.12	1,4	-2,9	-2,4	-2,1	-1,0	-1,9	-2,8
2003.03.19	-1,5	-2,4	-2,3	-1,7	-1,1	-0,7	-3,2
2003.03.25	-1,9	-2,8	-2,9	-3,1	-1,2	-0,9	-3,3
2003.04.05	-2,5	-2,7	-2,7	-3,5	-2,4	-0,8	-3,5
2003.04.12	-3,0	-2,5	-1,7	-2,0	-1,5	-2,2	-2,3
2003.04.24	-4,5	-3,5	-3,3	-1,5	-3,0	-2,3	-3,3
2003.04.29	-7,0	-3,7	-4,1	-4,0	-4,3	-2,8	-3,7
2003.05.07	-7,6	-2,6	-6,5	-5,7	-9,2	-3,8	-4,2
2003.05.15	-5,3	-2,0	-7,3	-6,8	-12,2	-6,6	-2,9
2003.05.26	-3,8	-3,5	-8,7	-5,4	-10,9	-5,1	-2,3
2003.06.01	-3,2	-3,9	-9,8	-5,8	-9,9	-4,9	-2,2
2003.06.06	-4,1	-0,4	-11,5	-3,7	-10,2	-3,8	-3,8
2003.06.09	-4,3	-2,4	-11,1	-3,3	-9,4	-3,8	-2,4

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Die laut Wasserbilanz potentiell verlagerte Wassermenge betrug im Februar zwischen 8 und 18mm, im März zwischen 5 und 7mm, im April 1mm, im Mai zwischen 4 und 6mm und im Juni zwischen 22 und 46mm (Tabelle 15).

Tabelle 15: Maximale laut Wasserbilanz verlagerte Bodenwassermenge (S_{max} bei $S>0$) bzw. Wasserdefizit ($S<0$) auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

	Februar	März	April	Mai	Juni
	mm	mm	mm	mm	mm
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	-8	5	-7	-5	30
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	-5	7	1	6	46
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	8	-10	-18	4	28
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	18	-1	-15	5	37
Winterroggen	6	-16	-1	-1	22
MW	4	-3	-8	2	33

Bedingt durch die geringen Niederschläge während der Messperiode im Jahr 2003, war die klimatische Wasserbilanz dieses Zeitraums meist negativ (Abbildung 28). Dementsprechend ergab auch die Bilanz des Bodenwasservorrats eine stetige Abnahme des Wasseranteils der tendenziell der klimatischen Wasserbilanz entsprach.

Die stark positive klimatische Wasserbilanz im Juni 2003 war auf ein Starkregenereignis zurückzuführen, bei dem innerhalb weniger Stunden 33mm Niederschlag fielen.

Prinzipiell wies die Wasserbilanz im Jahr 2003 im Durchschnitt der Parzellen auf eine geringe Wasserbewegung hin. Eine Verlagerung von Bodenwasser aus dem effektiven Wurzelraum in tiefere Bodenschichten konnte daher für das Jahr 2003 ausgeschlossen werden.

Im Unterschied zu den vorangegangenen Untersuchungsjahren wurde auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003 der volumetrische Wasseranteil in einer Bodentiefe von 10cm gemessen. In der Folge konnte die Wasserdynamik im Bodenprofil mit größerer Genauigkeit erfasst werden. Die sich aus der Wasserbilanz ergebenden geringen Sickerwassermengen bzw. leichten Wasseraufwärtsbewegungen stimmten daher für das Jahr 2003 mit den übrigen Messergebnissen besser überein.

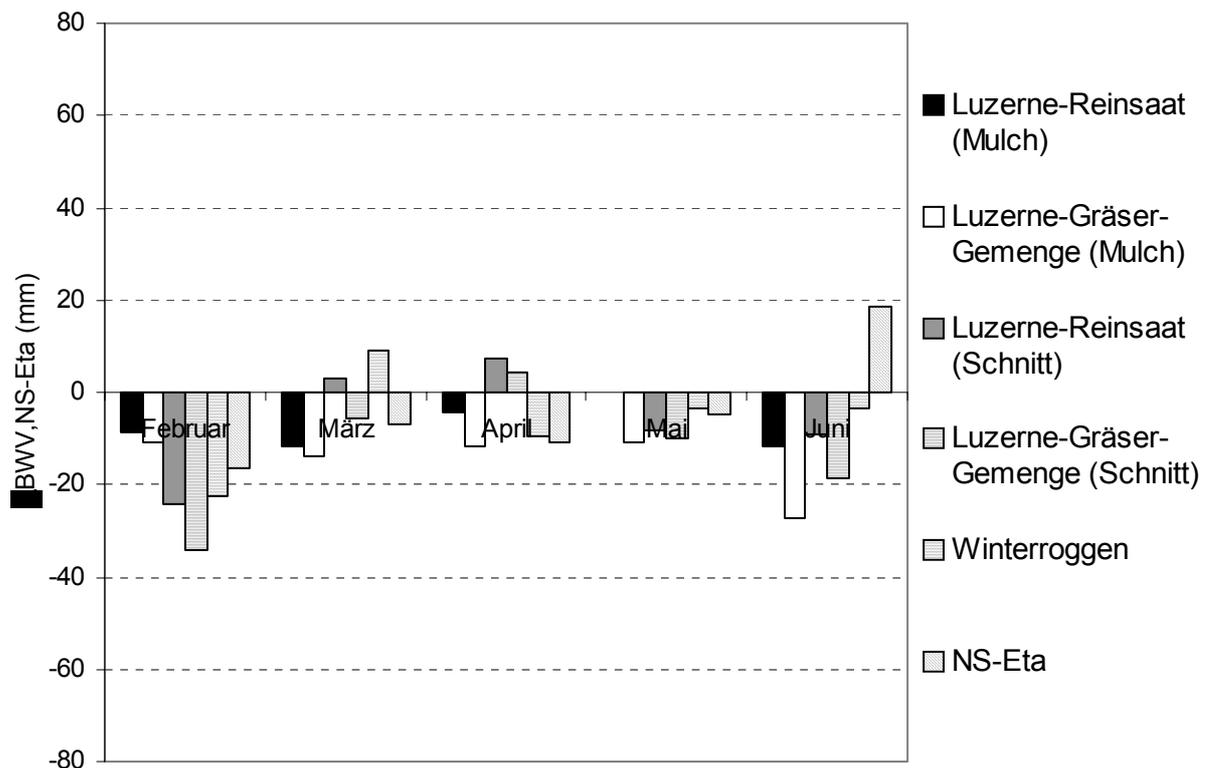


Abbildung 28: Differenz zwischen Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (ETa); Änderung des Bodenwasservorrats (Δ BWV) bei monatlicher Bilanzierung auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

Nitratkonzentration in der Bodenlösung

Auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002 konnte unter Winterroggen mittels der Saugkerzen keine Bodenlösung gewonnen werden. Der potentielle N-Gehalt in der Bodenlösung wurde daher auf der Basis der N_{\min} -Gehalte in der Bodenschicht 90-120cm berechnet (Tabelle 16). Die NO_3 -N-Konzentration unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen betrug im März 2002 zwischen 11 und 42mg l⁻¹ und im Mai 19 bis 35mg l⁻¹. Aufgrund der hohen Varianz der N_{\min} -Gehalte in der untersten Bodenschicht war der Unterschied zwischen den verschiedenen Leguminosen-Vorfrucht-Varianten nicht signifikant ($P < 0,05$).

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003 betrug die anhand der N_{\min} -Gehalte berechnete NO_3 -N-Konzentration nach den Leguminosen im März bei den Mulch-Varianten rund 70mg l^{-1} und bei den Schnitt Varianten $46\text{-}48\text{mg l}^{-1}$. Die NO_3 -N-Konzentration bei den Referenz-Vorfrüchten Gräser-Gemenge und Winterroggen lag bei rund 30mg l^{-1} . Im Mai lagen die NO_3 -N-Konzentrationen bei allen Leguminosen-Varianten zwischen 25 und 31mg l^{-1} . Die NO_3 -N-Konzentration bei den Referenz-Vorfrucht-Varianten lag bei 15 und 19mg l^{-1} . Zwischen den Varianten bestanden keine signifikanten Unterschiede ($P < 0,05$).

Tabelle 16: Geschätzte NO_3 -N-Konzentration in der Bodenlösung unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen basierend auf den N_{\min} -Gehalten im Boden in 90-120cm Bodentiefe

	VA 1 2002				VA 2 2003			
	März		Mai		März		Mai	
Variante	mg l^{-1}	Stbw						
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	15	16	23	18	73	7	25	3
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	27	17	35	18	46	18	27	6
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	42	16	19	18	70	11	30	6
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	11	15	30	19	48	20	31	12
Gräser-Gemenge (Schnitt)	24	19	33	21	33	9	19	14
Winterroggen	10	19	9	18	26	4	15	12

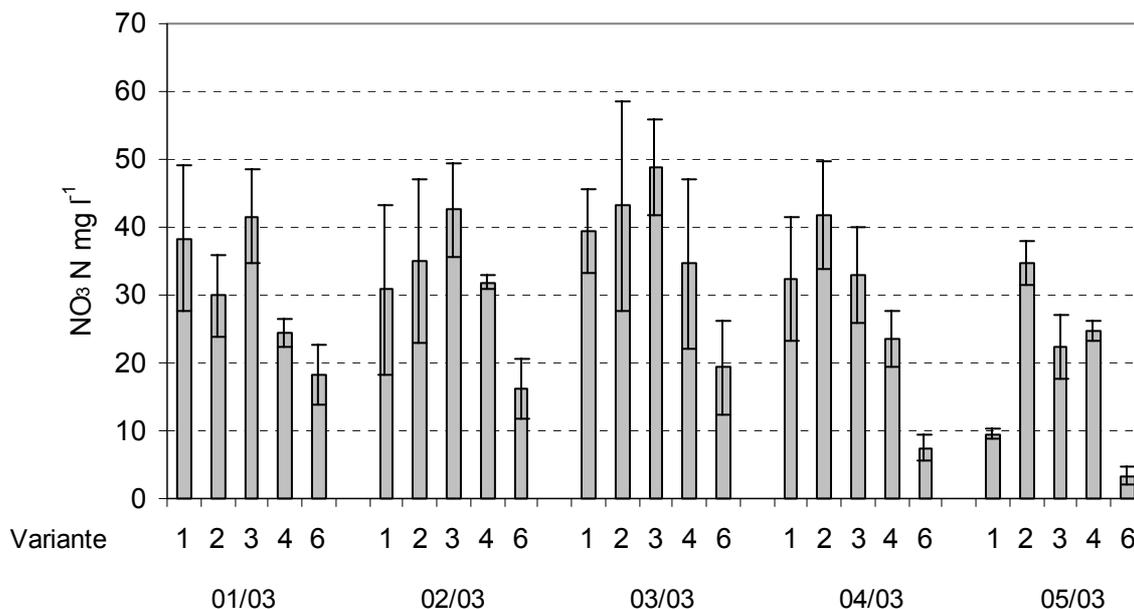
Auf der Versuchsanlage 2 konnten im Jahr 2003 durch Anlegen von hohen Unterdrücken an die Saugkerzen Bodenwasserproben gewonnen werden. Die NO_3 -N-Konzentration in der Bodenlösung bewegte sich nach den Leguminosen-Varianten bei $25\text{-}50\text{mg l}^{-1}$ von Jänner bis April auf einem hohen Niveau (Abbildung 29). Von Februar bis März wurde unter der Vorfrucht-Variante Luzerne-Reinsaat (Schnitt) die höchste N-Konzentration gemessen. Im März 2003 war die NO_3 -N-Konzentration bei dieser Variante mit rund 50mg l^{-1} die höchste der gesamten Messperiode. Bei den Mulch-Varianten Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge und der Schnitt-Variante Luzerne-Gräser-Gemenge lagen die N-Konzentrationen um 10 bis 15mg l^{-1} unter denen der Schnitt-Variante Luzerne-Reinsaat. Ab April kam es zu einer Abnahme der NO_3 -N-Konzentration bei allen Varianten. Die NO_3 -N-Konzentration lag im Mai bei durchschnittlich 20mg l^{-1} , wobei der Konzentrationsrückgang auf die Stickstoffaufnahme durch den Pflanzenbestand zurückzuführen ist. Die NO_3 -N-Konzentration in der Bodenlösung nach der Referenz-Vorfrucht Winterroggen lag im Mittel bei 20mg l^{-1} und war damit in allen Monaten meist deutlich geringer als bei den Luzerne-Varianten. Aufgrund der hohen Varianzen innerhalb der Variante konnte der Unterschied nicht statistisch abgesichert werden. Die NO_3 -N-Konzentration in der mittels der Saugkerzen gewonnenen Bodenlösung war im Mittel um ca. 35% niedriger (Ausnahme: Luzerne-Gräser-Gemenge Mulch $\pm 0\%$) als die anhand des N_{\min} -Gehaltes in der Bodentiefe 90-120cm ermittelten NO_3 -N-Konzentrationen. Der Unterschied kommt bei den auf den N_{\min} -Gehalten basierenden N-Konzentrationen durch den in den Feinporen zusätzlich erfassten Stickstoffanteil zustande (siehe Kapitel 3.3.1.2).

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass auch unter der zweiten Nachfrucht

- Mulchen von Futterleguminosen gegenüber Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration in der Bodenlösung führte (Arbeitshypothese 1)

und weiters, dass

- die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in der Bodenlösung nach Leguminosen-Gräser-Gemengen im Vergleich zu Leguminosen-Reinbeständen nicht geringer waren (Arbeitshypothese 2).



Legende: 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

Abbildung 29: $\text{NO}_3\text{-N}$ in der Bodenlösung in 120cm Bodentiefe unter der 2. Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchshälfte 2 im Jahr 2003

Nitratverlagerung

Auf der Versuchsanlage im 1 Jahr 2002 fand laut Potentialgradient in den meisten der untersuchten Parzellen keine Verlagerung von Wasser aus dem effektiven Wurzelraum statt.

Bei den Messparzelle der Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) (Parzelle 42a) wurde im Monat April eine Verlagerung von Bodenwasser festgestellt. Nimmt man die sich aus der Wasserbilanz ergebende Wassermenge von 7mm als maximal verlagerte Bodenwassermenge an, so ergibt sich bei einer Konzentration von $15\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ eine maximal verlagerte N-Menge von $1\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$.

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003 konnte aufgrund der geringen Niederschläge und der nach oben weisenden Richtung des Bodenwasserstroms eine Verlagerung von $\text{NO}_3\text{-N}$ ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass

- Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner Erhöhung der aus dem effektiven Wurzelraum verlagerten N-Menge führte (Arbeitshypothese 1).

des weiteren

- war die verlagerte N-Menge nach Luzerne-Gräser-Gemengen nicht niedriger als nach reinen Luzerne-Beständen (Arbeitshypothese 2).

3.3.3 Modellierung des Wasserhaushaltes und des Stofftransports

Der Hauptzweck der Simulation ist die Abschätzung der Versickerung in tiefere Schichten um Rückschlüsse auf die Stoffverlagerung zu ermöglichen. Die Simulationsperiode geht von einem gemessenen Wasseranteil am Ende des Winters aus (Februar 2003), da gerade in den ersten Monaten eines Jahres für den Standort mit Versickerungsraten zu rechnen ist. Einerseits ist die sogenannte "Winterfeuchte" noch zur Gänze vorhanden und andererseits ein Wasserentzug durch Pflanzenwurzeln noch nicht merkbar.

1. Datenbasis

Die Modellierung des Wasserhaushaltes wurde exemplarisch für die Parzelle 28b in der Versuchshälfte 2 für die Periode Februar bis März 2003 durchgeführt. Ein vereinfachtes 4-schicht Bodenprofil diente als Basis für die Simulation. Die Wahl fiel auf diese Parzelle, da die vierte also unterste Bodenschicht, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Versickerung in tiefere Bodenschichten hat, einem sandigem Schluff entspricht und im Vergleich zu anderen Parzellen einen höheren Durchlässigkeitswert aufweist. Diese Bedingungen stellen somit den ungünstigsten Fall mit der höchsten Sickerrate dar.

Als Grundlage für die Modellierung dienten die Wasseranteilmessungen mittels FDR-Sonden und die Kornverteilung des Feinkornanteils der benachbarten Parzelle 28a. Aufgrund der ungenauen Datenbasis für die Bodenkennwerte wurde eine Optimierung der van Genuchtenparameter auf Basis der wöchentlichen Wasseranteilmessungen durchgeführt. In Tabelle 17 sind die Profilbeschreibung von Parzelle 28b und die zugehörigen van Genuchtenparameter die für die Simulation verwendet wurden zusammengefasst.

Die van Genuchtenparameter wurden einerseits durch die Zusatzsoftware Rosetta Lite v.1.0, die in Hydrus-1D integriert ist und andererseits durch einen inversen Lösungsweg ermittelt.

Die Tiefe des für die Simulation vereinfachten Profils betrug 120 cm.

Tabelle 17: Beschreibung der Bodenkennwerte und Parameter für die Parzelle 28b. Legende: θ_r ...Restwasseranteil, θ_s ...Sättigungswasseranteil, α ...Parameter der pF-Kurve, N...Faktor der Porenverteilung, K_s ...Sättigungsleitfähigkeit, λ ...Faktor für die Porenverbindung

Horizont	Ap	Ah	AC	C
Horizonthöhe (cm)	20	20	35	45
Feinkornverteilung				
Ton (%)	26,0	26,7	21,2	11,8
Schluff (%)	57,8	70	64,3	69,2
Sand (%)	16,2	3,3	14,5	19,0
van Genuchtenparameter				
θ_r (cm ³ cm ⁻³)	0,0791	0,0845	0,0734	0,0562
θ_s (cm ³ cm ⁻³)	0,4455	0,4659	0,4409	0,4404
α (cm ⁻¹)	0,0061	0,0069	0,0051	0,0042
N (-)	1,5756	1,5654	1,47	1,5
K_s (cm d ⁻¹)	20	17	12	30,28
λ	0,5	0,5	0,5	0,5

2. Randbedingungen

Die Randbedingungen für die Simulation wurden für die Monate Februar und März aufgrund der unterschiedlichen Klimaverhältnisse getrennt angesetzt.

Im Monat Februar wurde als obere Randbedingung eine konstante Fluxrate von Null angesetzt. Dies wird dadurch begründet, dass in diesem Zeitraum der obere Bodenbereich bis in eine Tiefe von rund 30 cm gefroren war und somit keinerlei Wasserbewegung stattfinden konnte. Da für die Simulation eine Profiltiefe von 120 cm angenommen wurde diente die Wasserspannung in dieser Tiefe als untere Randbedingung. Bei der Simulation des Monats Februar wurde eine konstante Wasserspannung angenommen da aus den Feldmessungen nur marginale Veränderungen ersichtlich sind.

Anfang März setzte aufgrund der positiven Luft- und Bodentemperatur die Schmelze der Schneedecke und der gefrorenen Bodenschichten ein. Die obere Randbedingung wurde daher als atmosphärische Randbedingung festgelegt. Niederschlag und Evaporation wurden somit in der Simulation berücksichtigt. Der erhöhte Wasseranfall bedingt durch die Tauvorgänge fand einerseits in einer Beaufschlagung der Niederschläge als auch in der Anpassung des Wasseranteils in der Anfangsbedingung Berücksichtigung.

Als untere Randbedingung diente wiederum die Wasserspannung in der Tiefe von 120 cm. Im Falle der Simulation für den Monat März wurde sie als variabel angenommen.

3. Anfangsbedingung

Als Anfangsbedingung für die Simulation beider Monate wurde der mittels FDR-Sonden gemessene Wasseranteil jeweils zu Simulationsstart herangezogen. Der Wasseranteil der Anfangsbedingung wurde auf die jeweilig im Februar bzw. im März herrschenden Klima- und Bodenverhältnisse bezogen. Für den März bedeutete das im Speziellen, dass der erhöhte Wasseranteil, bedingt durch das

Auftauen der obersten Bodenschichten und der Schneedecke, durch einen erhöht angenommenen Wasseranteil im oberen Profilbereich, simuliert werden musste.

4. Wasserbilanzergebnisse der Modellierung und Versickerungsrate

Die Modellierung des Wasserhaushaltes hatte zwei Zielvorgaben. Zum Einen dienten sie zur Ermittlung des Profilwasserhaushaltes, um Wasseranteilsänderungen, die mit einem wöchentlichen Monitoring nicht erfasst werden können, zu ermitteln. Zum Anderen wurden auf diese Weise potentielle Sickerwässer erfasst.

In Abbildung 30 sind die mittels FDR-Sonden gemessenen Wasseranteile in den Tiefen 40, 80 und 120cm für die Periode Anfang Februar bis Ende März 2003 dargestellt. Daraus sind keine wesentlichen Wasseranteilsänderungen in allen 3 Tiefen erkennbar. Der Wasseranteilsanstieg in der Tiefe 40 cm Anfang März lässt sich durch die einsetzende Schneeschmelze erklären da die Lufttemperatur zu diesem Zeitpunkt auf bis zu 10°C angestiegen.

In Abbildung 31 und Abbildung 32 sind die Ergebnisse der Simulation jeweils getrennt für die Monate Februar und März dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Simulationsergebnisse gut mit den Messergebnissen korrelieren. Da es in dieser Periode keinen nennenswerten Niederschlagsmengen gab, ergab sich zwischen den wöchentlichen Messergebnissen der Sonden keine erkennbare Dynamik der Wasseranteilkurven. In niederschlagsreicheren Perioden kann die Simulation dazu dienen um diese, bei nur wöchentlichen Messungen nicht zu erfassende Dynamik zu ermitteln.

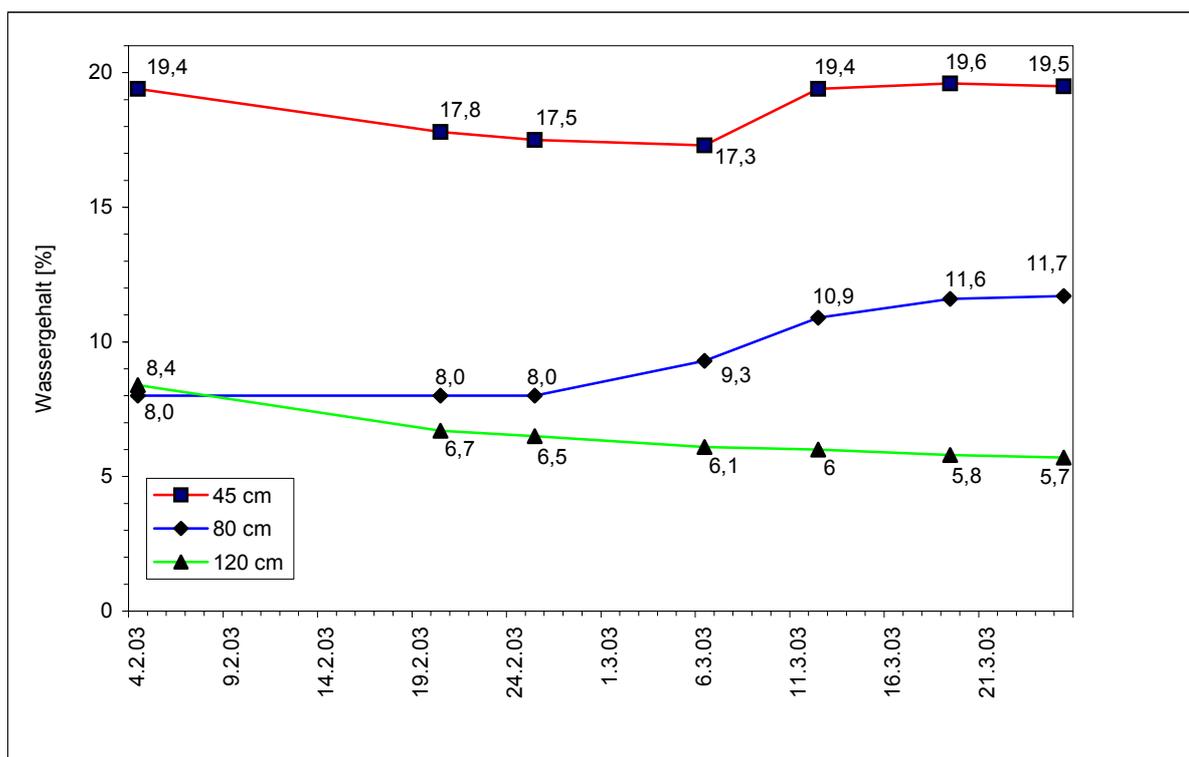


Abbildung 30: Gemessene Wasseranteilsverteilung des Profils 28b im Zeitraum Februar und März

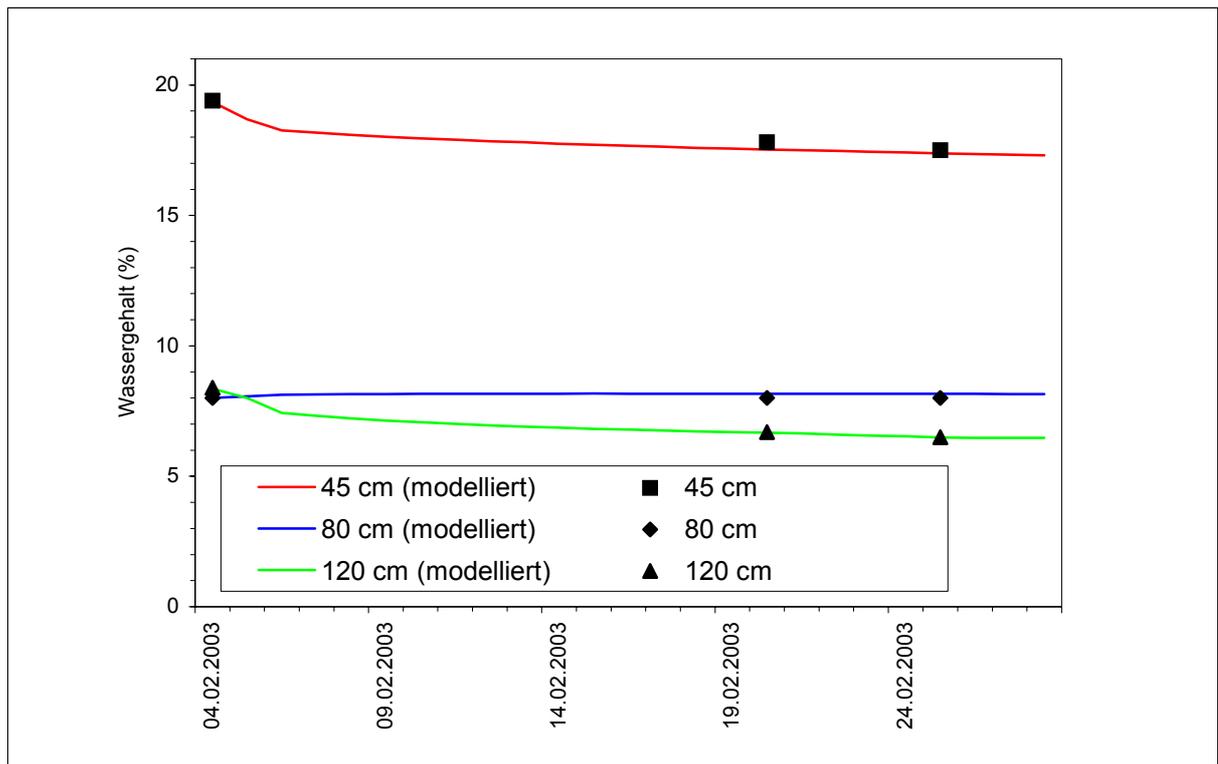


Abbildung 31: Vergleich der Wasseranteilsverteilung im Monat Februar mittels Hydrus-1 D Simulation und wöchentlicher Messung mittels FDR-Sonden in der Parzelle 28b

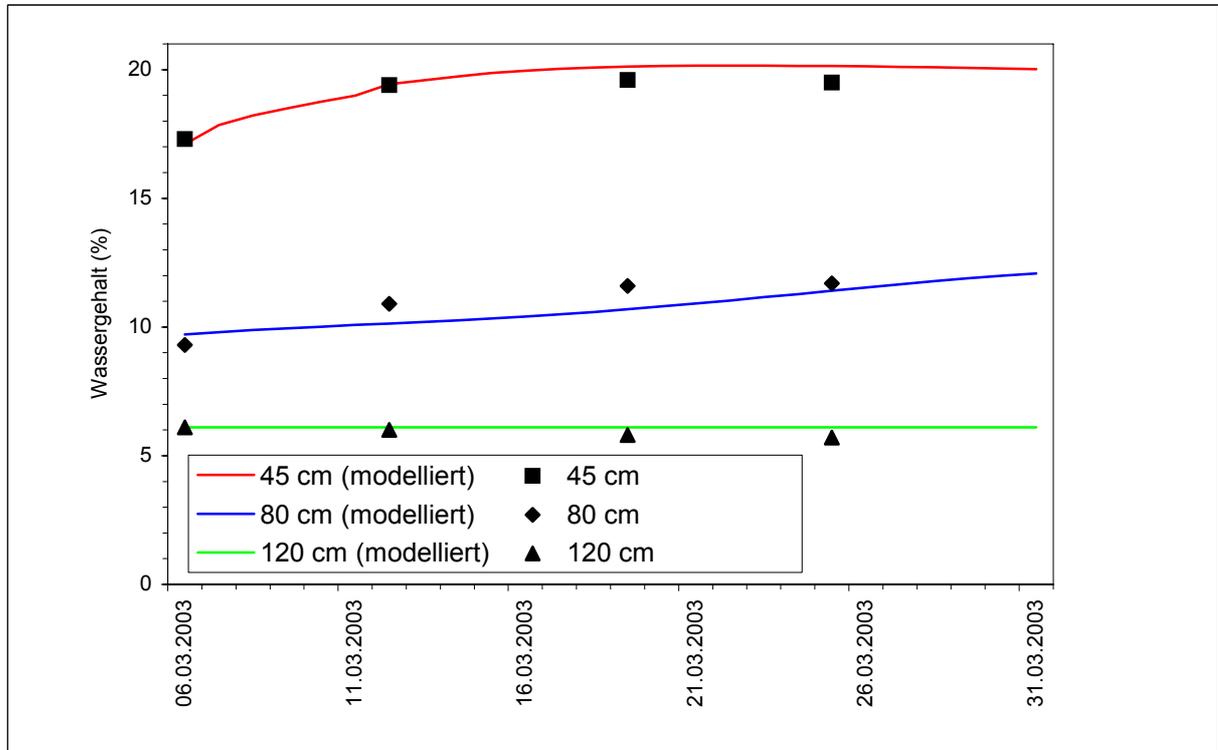


Abbildung 32: Vergleich der Wasseranteilsverteilung im Monat März mittels Hydrus-1 D Simulation und wöchentlicher Messung mittels FDR-Sonden in Parzelle 28b

Die zweite Aufgabe der Modellierung bestand darin mögliche Aussickerungen in tiefere Schichten zu ermitteln. Dazu wurde in 120 cm Profiltiefe die Versickerungsmengen über den Zeitraum von 28 bzw. 31 Tagen errechnet. Die in Tabelle 18 aufgelisteten Sickerwassermengen lassen keine nennenswerte Versickerung erkennen. Für die Stoffverlagerung sind aber auch geringe Versickerungsraten nicht zu vernachlässigen.

Tabelle 18: Sickerwassermengen für die Monate Februar und März in einer Tiefe von 120cm

	Februar	März
Sickerwassermengen (mm/Monat)	0,4	0,2E-3

5. Vergleich der Modellrechnung mit den Ergebnissen der Klimabilanz

Ein Vergleich der aus der Wasserbilanz abgeschätzten verlagerten Bodenwassermengen mit den Ergebnissen der Modellierung ergab eine gute Übereinstimmung für den Monat Februar, wo sich durch beide Methoden keine, bzw. eine vernachlässigbar geringe verlagerte Bodenwassermenge ergab.

Für den Monat März wurde anhand der Wasserbilanz eine verlagerte Bodenwassermenge von 10,8mm abgeschätzt. Die Simulation ergab eine nur geringe Sickerung von unter 1mm. Das Ergebnis der Simulation weist darauf hin, dass die anhand der Klima- und Bodenwasserbilanz ermittelten potentiell verlagerten Wassermengen, eine Folge der nicht ausreichend erfassten Wasserdynamik in der oberen Bodenschicht sind.

In der hier relevanten Bodentiefe von 80-120cm ergaben im Jahr 2003 die durch die Messung der Wasserspannung ermittelten Potentialgradienten für alle Monate einen nach oben gerichteten Bodenwasserstrom. Laut Modell bestand jedoch eine leichte Wasserbewegung von oben nach unten. In der Richtung der Gradienten bestanden daher Unterschiede zwischen gemessenen und simulierten Ergebnissen.

Da keine direkt ermittelten pF-Kurven von der Versuchsfläche zur Verfügung standen, wurden die Gradienten der Wasserbewegung in der Simulation auf Basis von von pF-Kurven, die über die Kornverteilungen des Bodens am Standort ermittelt wurden, berechnet. Bei der Einbeziehung von pF-Kurven die mit einer direkten Methode für den Standort bestimmt werden (Druckplattenmethode), ist eine bessere Übereinstimmung des Modells mit den Messungen zu erwarten. Es wurde daher deutlich, dass die Datendichte, der die Bodeneigenschaften betreffenden Ausgangsparameter, für eine intensivere Simulation nicht ausreichend war.

Insgesamt führte jedoch die Simulation zu einer besseren Interpretierbarkeit der Messergebnisse und einer Verbesserung des Prozessverständnisses.

Anhand der hier vorliegenden Ergebnisse können folgende Feststellungen gemacht werden:

- Die Sickerungsraten sind während des Vergleichszeitraumes im Jahr 2003 auf der Parzelle 28b laut Modell vernachlässigbar gering.
- Die Ergebnisse der Simulation stimmen im Monat Februar tendenziell mit denen der Wasserbilanz überein, im Monat März wurde die laut Wasserbilanz errechnete Sickerwassermenge nicht durch die Simulation bestätigt. Es ist daher anzunehmen, dass die laut Wasserbilanz ermittelten Sickerungsraten überschätzt wurden.
- In der Richtung der Potentialgradienten kommen die Messungen mittels Tensiometer und die Modellierungen zu unterschiedlichen Ergebnissen

- Für eine intensivere und verbesserte Modellierung der Wasserbewegungen auf der Versuchsfläche ist eine genauere Erhebung der Eingangsdaten notwendig. Dadurch wären genauere Aussage möglich und die Übereinstimmung mit den gemessenen Ergebnissen besser abgesichert.

Tabelle 19: Potentiell verlagerte Bodenwassermenge laut Wasserbilanz und Modell auf der Parzelle 28b im Jahr 2003

Sickerwassermengen (mm/Monat)	Februar	März
Wasserbilanz	-2	11
Modell	0,4	0,2E-3
Gemessener Potentialgradient	-	aufsteigender Bodenwasserstrom

3.4 Nachfruchteffekte von Futterleguminosen auf Korn- und N-Ertrag und Proteingehalt von Getreide

3.4.1 Nachfruchteffekte bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

3.4.1.1 Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse während der Wachstumsperiode

Die Untersuchung des Verlaufes der N-Aufnahme während der Wachstumsperiode auf der **Versuchsanlage 1 im Jahr 2001** ergab zu allen drei Probenahmeterminen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Leguminosen-Vorfrucht-Varianten (Tukey-Test; $P < 0,05$) (Abbildung 33).

Zum Zeitpunkt der Bestockung betrug die N-Aufnahme in den Winterweizen bei allen Varianten ca. 20 kg ha^{-1} . Zur Blüte hatte lag die N-Aufnahme bei den Leguminosen-Varianten bei $78\text{-}98 \text{ kg N ha}^{-1}$ und bei den Referenz-Vorfrüchten zwischen 65 kg ha^{-1} (Gräser-Gemenge) und 82 kg ha^{-1} (Winterroggen).

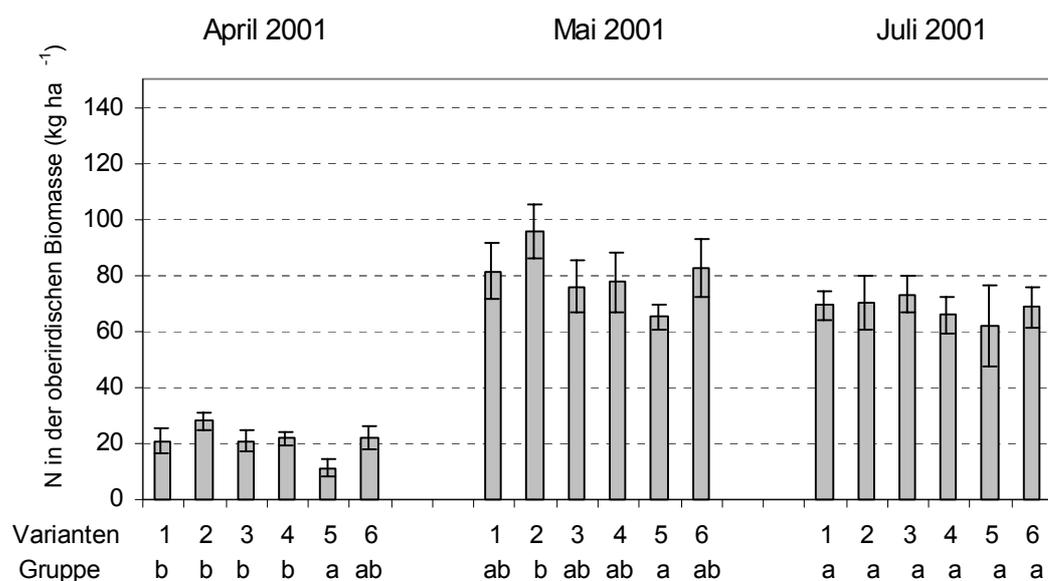
Im Jahr 2001 konnte somit keine erhöhte N-Aufnahme nach mulchgenutzten Leguminosen-Beständen festgestellt werden. Weiters bestand keine Differenzierung in der N-Aufnahme von Winterweizen zwischen Vorfrucht Luzerne-Reinsaat und Vorfrucht Luzerne-Gräser Gemenge.

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002 waren zu Beginn der Vegetationsperiode zwischen den Varianten keine Unterschiede in der N-Aufnahme festzustellen (Tukey-Test; $P < 0,05$) (Abbildung 34). Zum zweiten Untersuchungstermin im Mai 2002 bestanden zwischen den Leguminosen-Varianten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Der N-Gehalt der Mulch-Varianten betrug zwischen 82 und 90 kg ha^{-1} und bei den Schnittvarianten $102\text{-}110 \text{ kg ha}^{-1}$. Die N-Aufnahme nach den Referenz-Varianten war mit $50\text{-}60 \text{ kg}$ deutlich geringer als bei den Leguminosen-Varianten. Zur Ernte im Juli war der N-Gehalt des Weizens nach Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) und den Schnittnutzungs-Varianten annähernd gleich hoch wie im Mai. Der Weizen nach Luzerne-Reinsaat (Mulchnutzung) wies im Juli einen um 40 kg ha^{-1} höheren N-Gehalt als im Mai auf.

Im Jahr 2002 war daher die N-Aufnahme durch den Winterweizen nach mulchgenutzten Luzerne-Beständen signifikant erhöht. Die höherer N-Aufnahme fand jedoch nur nach gemulchten Luzerne-Reinbeständen statt.

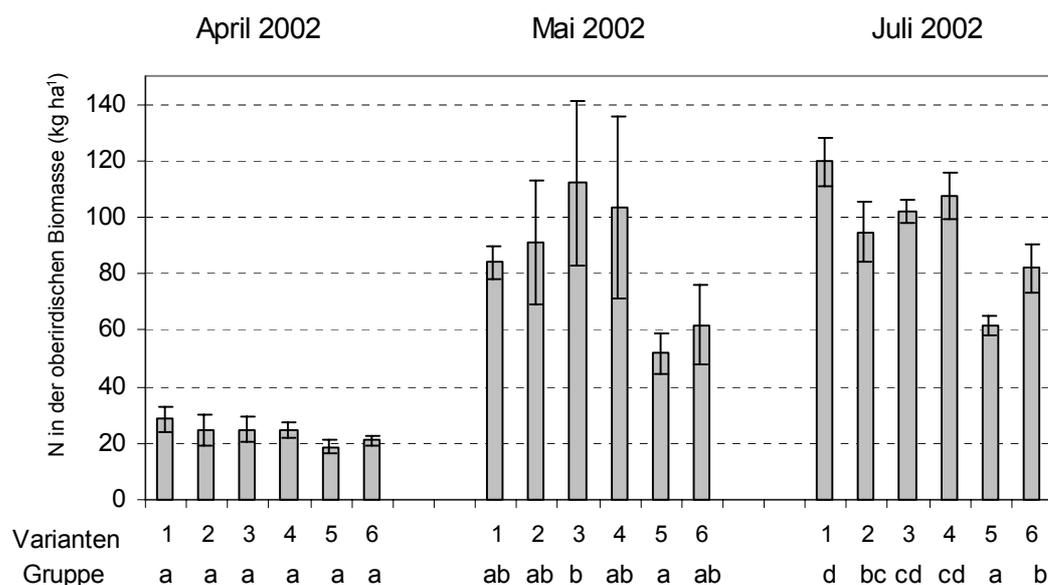
In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei der N-Aufnahme durch die erste Nachfrucht Winterweizen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung der N-Aufnahme durch die erste Nachfrucht (Arbeitshypothese 1)
- Der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern bewirkte gegenüber dem Anbau von reinen Luzerne-Beständen eine signifikant geringere N-Aufnahme durch die erste Nachfrucht (Arbeitshypothese 2).
- Der Effekt trat jedoch nur bei den mulchgenutzten Varianten im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 auf



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 33: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 34: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002

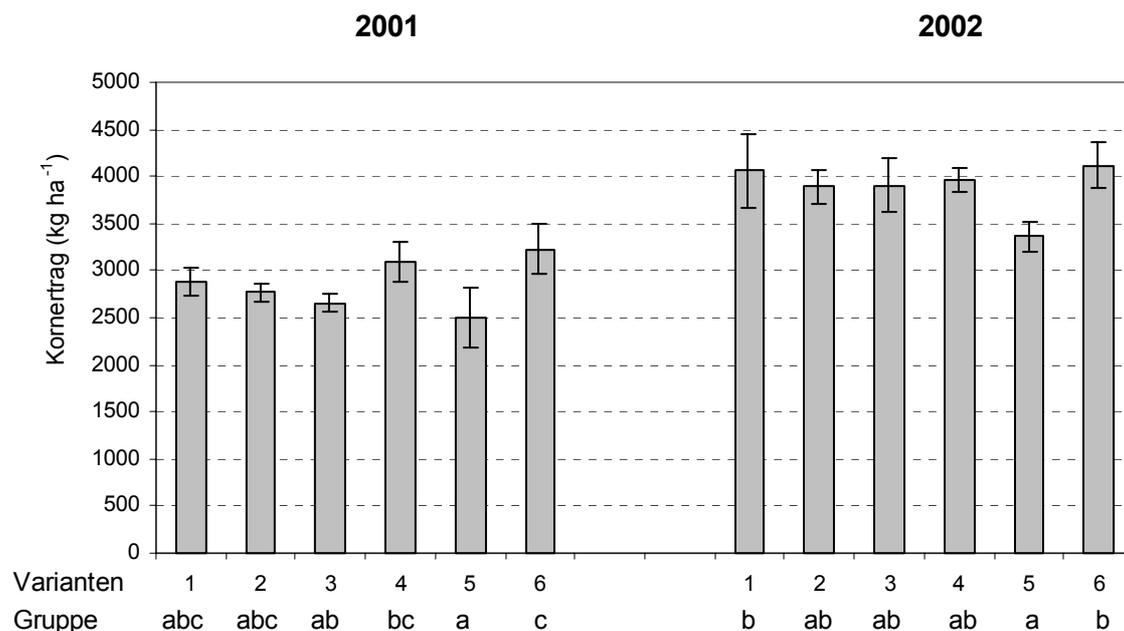
3.4.1.2 Kornertrag

Auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001 lagen die Kornerträge bei Winterweizen mit Erträgen von 2500 bis 3300 kg unter dem durchschnittlichen Ertragsniveau der Region. Vergleicht man die Erträge der Varianten von 2001 untereinander, so erzielten die Parzellen mit Winterroggen als Vorfrucht höchsten Erträge (Abbildung 35). Die Vorfrucht-Varianten Luzerne-Reinsaat (Mulch), Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) und Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) erzielten mittlere Erträge (2700-3100kg). Die geringsten Getreideerträge stammten von den Parzellen mit Gräser-Gemenge und Luzerne-Reinsaat Schnitt als Vorfrucht.

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002 wurden Weizenerträge von 3400 bis 4100 kg ha⁻¹ erreicht, wobei nach Luzerne-Reinsaat (Mulch) und Winterroggen die höchsten Erträge erzielt wurden (4100 bzw. 4200kg). Die übrigen Luzerne-Varianten erbrachten etwas geringere Erträge (3800-3900kg). Im Schnitt lagen die Weizenerträge im Jahr 2002 25% über denen von 2001.

In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei den Kornerträgen der ersten Nachfrucht Winterweizen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung der Kornerträge (Arbeitshypothese 1)
- Der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern führte gegenüber dem Anbau von reinen Luzerne-Beständen zu keinen geringeren Kornerträgen (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 35: Kornerträge der ersten Nachfrucht Winterweizen

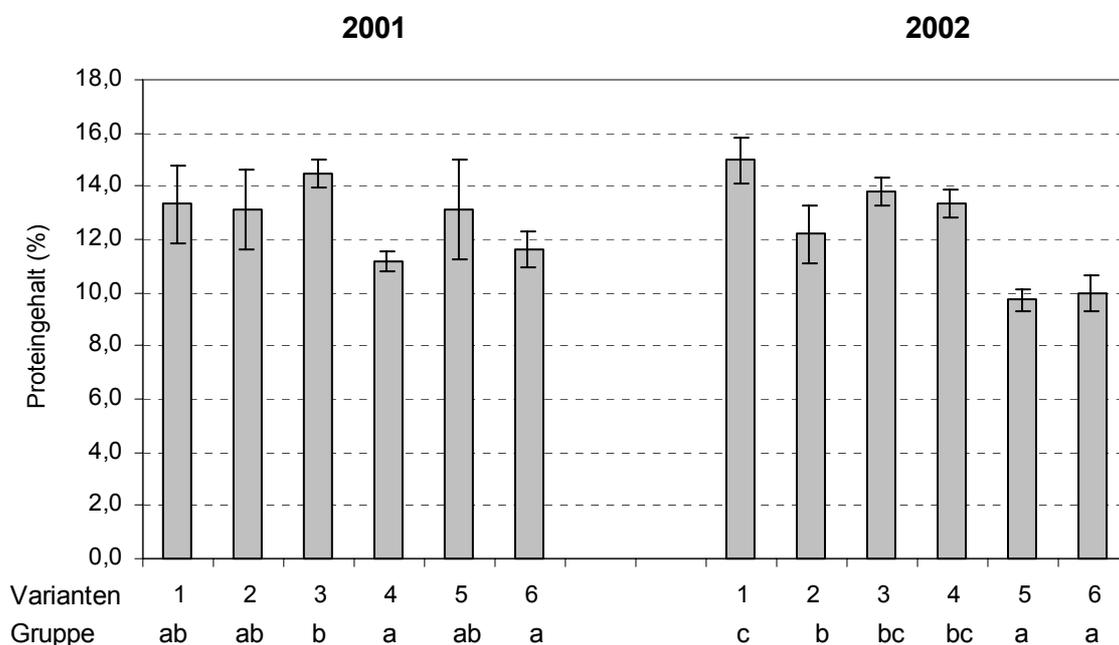
3.4.1.3 Rohproteingehalt

Auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2001 erreichte das Nutzungssystem Luzerne-Reinsaat (Schnitt) den höchsten Rohproteingehalt (14,5%), gefolgt von Luzerne-Reinsaat (Mulch) (13,3%), Luzerne-Gras-Gemenge (Mulch) (13,1%) und der Referenz-Vorfrucht Gräser-Gemenge (13,1%). Nach der Referenz-Vorfrucht Winterroggen erreichte der Winterweizen einen durchschnittlichen Rohproteingehalt von 11,6%. Bei der Variante Luzerne-Gras Schnitt wurde mit 11,2% der niedrigste Rohproteingehalt gemessen (Abbildung 36). Das Nutzungssystem Luzerne Reinsaat (Schnitt) erreichte dabei gegenüber den Varianten Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) und der Referenz-Vorfrucht Winterroggen einen signifikant höheren Proteingehalt (Tukey-Test; $P < 0,05$).

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2002 wurden bei allen Leguminosen-Varianten Rohproteingehalte von über 12% gemessen. Die Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) erbrachte dabei den höchsten Rohproteingehalt im Korn (15,0%). Ebenfalls hohe Rohproteingehalte erreichten die schnittgenutzten Luzerne-Varianten mit 13,5-14% (Abbildung 36). Der Winterweizen nach der mulchgenutzten Luzerne-Gräser-Gemenge Variante wies einen Rohproteingehalt von 12,1% auf. Nach den Referenz-Vorfrucht Varianten waren die Rohproteingehalte mit ca. 10% signifikant geringer als nach den Leguminosen-Varianten. Des weiteren war der Rohproteingehalt der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) signifikant niedriger als der, der Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch).

In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei den Rohproteingehalten der ersten Nachfrucht Winterweizen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung des Rohproteingehaltes (Arbeitshypothese 1)
- Bei Mulchnutzung führte der Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zum Anbau von reinen Leguminosen-Beständen zu geringeren Rohproteingehalten im Korn (Arbeitshypothese 2).
- Der Effekt konnte nur im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 beobachtet werden. Bei Schnittnutzung waren die Rohproteingehalte durch den Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern gegenüber denen nach Leguminosen-Reinbeständen in keinem der Untersuchungsjahre verringert (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 36: Rohproteingehalt im Korn der ersten Nachfrucht Winterweizen

3.4.2 Nachfruchteffekte bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen

3.4.2.1 Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse während der Wachstumsperiode

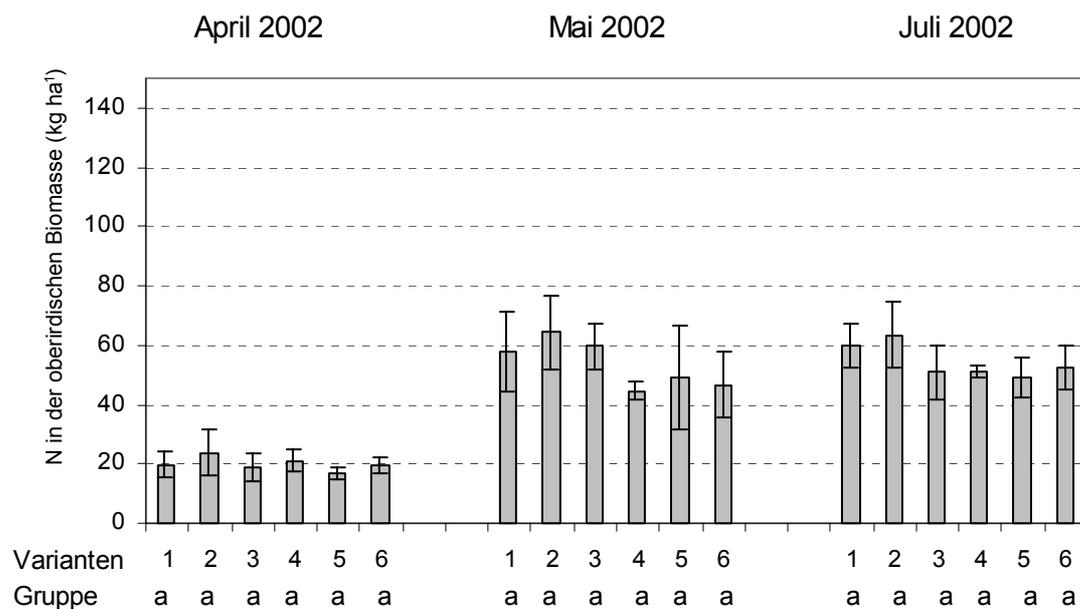
Auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002 wurden im gesamten Wachstumsverlauf keine signifikanten Unterschiede in der N-Aufnahme zwischen der Varianten festgestellt ($P < 0,05$) (Abbildung 37).

Zu Beginn der Wachstumsperiode betrug die N-Aufnahme durch die zweite Nachfrucht Winterroggen bei allen Varianten ca. 20 kg N ha^{-1} . Zum Beprobungstermin im Mai 2002 (Getreideblüte) wurden bei beiden Mulch-Varianten und der Variante Luzerne-Reinsaat (Schnitt) ca. 60 kg N ha^{-1} und bei den übrigen Varianten rund 40 bis 50 kg N ha^{-1} aufgenommen. Zur Ernte wurden im Winterroggen bei allen Varianten annähernd die gleichen N-Gehalte festgestellt, wobei die mulchgenutzten Varianten um ca. 10 kg N ha^{-1} mehr aufgenommen hatten.

Auch **auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003** zeigten sich zwischen den untersuchten Varianten keine signifikanten Unterschiede in der N-Aufnahme ($P < 0,05$) (Abbildung 38). Aufgrund des späteren Aussaatzeitpunktes im Jahr 2002 (Vermeidung von Virusbefall durch zu starke Entwicklung vor dem Winter) betrug der N-Gehalt im Winterroggen zu Beginn der Vegetationsperiode (Ende März) weniger als 10 kg N ha^{-1} . Zur Blüte im Mai lag der N-Gehalt des Winterroggens bei 80 bis 100 kg ha^{-1} und zur Ernte bei 60 bis 75 kg ha^{-1} . Zur Ernte wiesen die mulchgenutzten Varianten und die Variante Luzerne-Reinsaat (Schnitt) etwas höhere N-Gehalte als die übrigen Varianten auf. Aufgrund der besseren Bestandesentwicklung im Jahr 2003 war die N-Aufnahme durch die zweite Nachfrucht Winterroggen wesentlich höher als im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1.

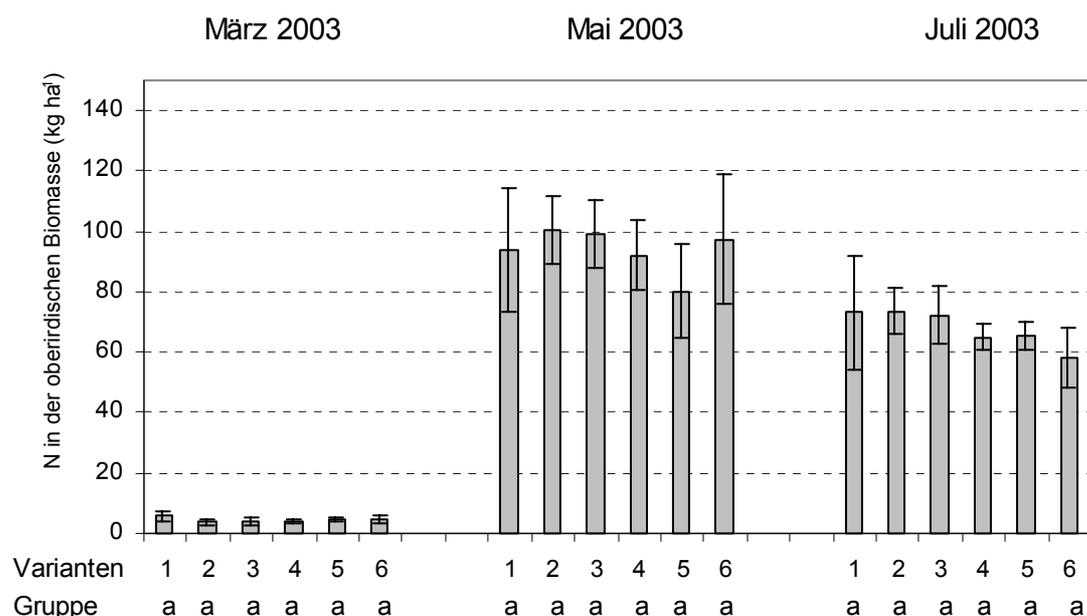
In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei der N-Aufnahme durch die zweite Nachfrucht Winterroggen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung der N-Aufnahme durch die zweite Nachfrucht (Arbeitshypothese 1).
- Der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern bewirkte gegenüber dem Anbau von reinen Luzerne-Beständen keine geringere N-Aufnahme durch die zweite Nachfrucht (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 37: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 38: Verlauf der Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse der zweiten Nachfrucht Winterroggen auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003

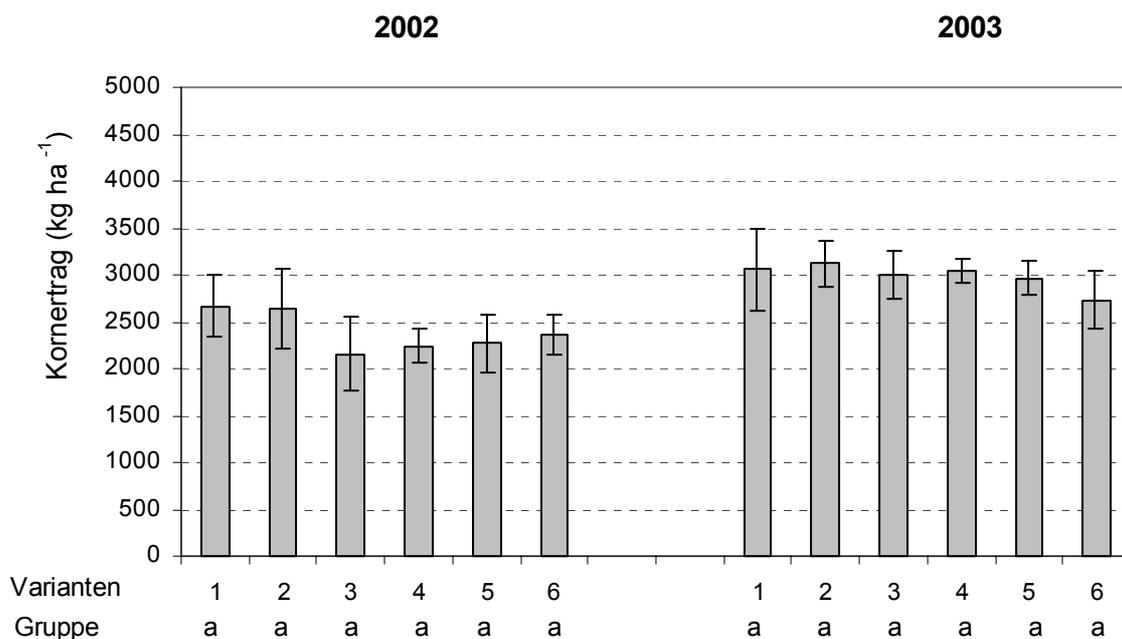
3.4.2.2 Kornertrag

Auf der Versuchsanlage 1 im Versuchsjahr 2002 wurden zwischen 2100 und 2600kg Winterroggen ha^{-1} geerntet. Zwischen den Leguminosen-Vorfrucht-Varianten bestanden dabei keine signifikanten Ertragsunterschiede ($P < 0,05$) (Abbildung 39). Tendenziell erreichten die Mulch-Varianten Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge mit jeweils 2600kg ha^{-1} die höchsten Kornerträge. Der geringe Ertrag im Erntejahr 2002 war hauptsächlich auf hohen Krankheitsdruck zurückzuführen. Es kam aufgrund der überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Winterhalbjahr 2001/2002 zu einem starken Befall des Winterroggens mit Verzweigungsvirus, was zu einer Schwächung des Bestandes führte. Während der Wachstumsphase trat ab Mitte Mai zusätzlich ein Befall mit Mehltau auf.

Auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2003 lag das Ertragsniveau auf der Versuchsanlage 2 zwischen 2700 und 3100kg ha^{-1} . Dabei konnte zwischen keiner der untersuchten Varianten ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($P < 0,05$). Die Ertragsunterschiede waren im Jahr 2003 auch tendenziell sehr gering.

In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei den Kornerträgen der zweiten Nachfrucht Winterroggen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung der Kornerträge (Arbeitshypothese 1).
- Der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern führte gegenüber dem Anbau von reinen Luzerne-Beständen zu keinen geringeren Kornerträgen (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 39: Kornerträge der zweiten Nachfrucht Winterroggen

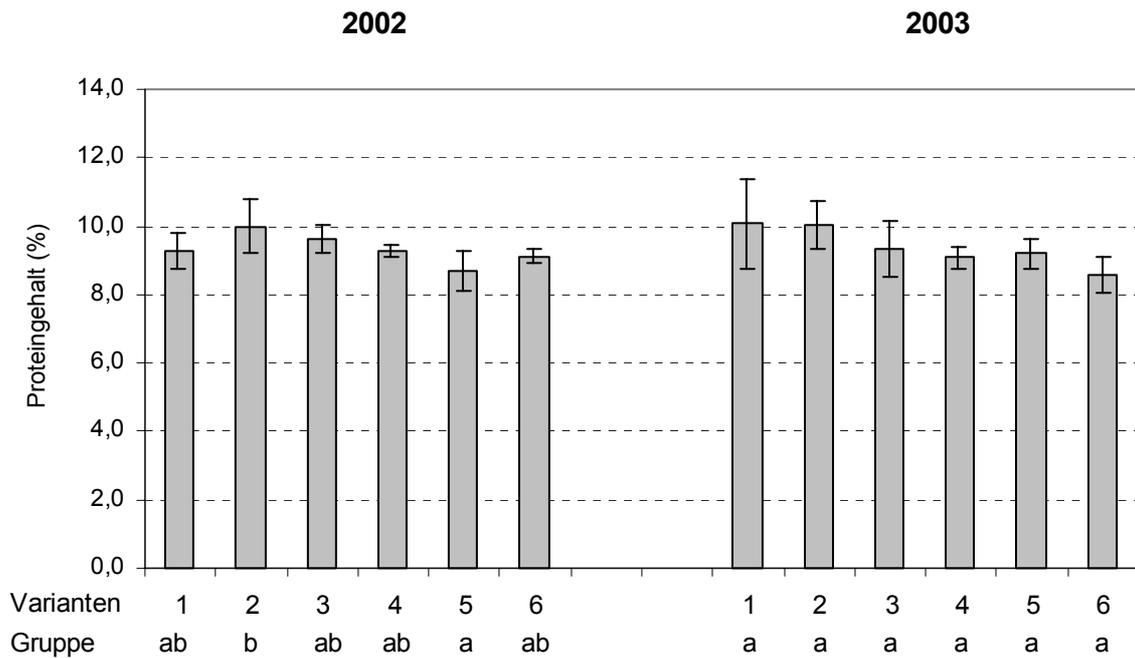
3.4.2.3 Rohproteingehalt

Auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2002 konnten in Bezug auf die Rohproteingehalte bei Winterroggen zwischen den Leguminosen-Vorfrucht-Varianten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($P < 0,05$) (Abbildung 40). Ein signifikanter Unterschied konnte nur zwischen der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) und der Referenz-Vorfrucht Gräser-Gemenge festgestellt werden. Die Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) wies mit 10,0% den höchsten Rohproteingehalt auf. Die übrigen Leguminosen-Varianten und die Referenz-Vorfrucht Winterroggen erreichten Rohproteingehalte im mittleren Bereich (9,1-9,6%). Bei der Referenz-Vorfrucht-Variante Gräser-Gemenge waren die Proteingehalte im Korn am bei 8,7% am niedrigsten.

Auf der Versuchshälfte 2 im Jahr 2003 waren zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede feststellbar ($P < 0,05$). Wie im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 wurden Rohproteingehalte zwischen 9 und 10% gemessen, wobei nur die beiden Mulch-Varianten einen Rohproteingehalt von 10% erreichten.

In Bezug auf die Untersuchungshypothesen war daher bei den Rohproteingehalten der zweiten Nachfrucht Winterroggen folgendes festzustellen:

- Mulchnutzung führte im Vergleich zu Schnittnutzung von Futterleguminosen zu keiner signifikanten Erhöhung des Rohproteingehaltes (Arbeitshypothese 1) und
- der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zum Anbau von Luzerne-Reinsaat zu keiner Verringerung der Rohproteingehalte (Arbeitshypothese 2).



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 5 Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 40: Rohproteingehalt im Korn der zweiten Nachfrucht Winterroggen

4 Diskussion

4.1 Mineralstickstoffgehalt im Boden

Im viehlosen Ökologischen Landbau ist die Sicherstellung einer ausreichenden Stickstoffversorgung der Nachfrüchte durch den Anbau von Futterleguminosen von zentraler Bedeutung. Im Rahmen dieses Projektes wurden daher die derzeit gebräuchlichsten Nutzungssysteme von Futterleguminosen hinsichtlich ihres Einflusses auf den Bodenstickstoffhaushalt, ihres Nitratauswaschungspotentials und ihrer Auswirkungen auf den Ertrag und die Qualität der Nachfrüchte untersucht.

Ziel des Projektes war dabei die Optimierung des Produktionssystems von Futterleguminosen durch die Verbesserung der Nutzung des durch Futterleguminosen gebundenen Stickstoffs durch die erste und zweite Getreidenachfrucht. Dazu wurden die Nutzungssysteme Mulch- und Schnittnutzung in verschiedenen Artenzusammensetzungen (Reinsaat versus Leguminosen-Gräser-Gemenge) untersucht. Ziel war die Minimierung des Risikos einer Nitratauswaschung bei gleichzeitiger Optimierung von Ertrag und die Qualität der nachfolgenden Getreide-Hauptfrüchte.

In Bezug auf den N_{\min} -Gehalt im Boden unter den Nachfrüchten wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

Hypothese 1: Mulchnutzung von Futterleguminosen führt im Vergleich zu Schnittnutzung unabhängig von der Artenzusammensetzung zu höheren Boden-Nitratgehalten.

Die Hypothese kann anhand des N_{\min} -Nachfruchteffektes ($N_{\min}(\text{Leguminose}) - N_{\min}(\text{Referenz-Vorfrucht})$) überprüft werden.

In Bezug auf den N_{\min} -Nachfruchteffekt war bei Mulch- versus Schnittnutzung folgendes festzustellen:

Erste Nachfrucht Winterwinterweizen (Tabelle 20)

- Versuchsanlage 1, 2000/01: keine Unterschiede zwischen den Mulch und Schnitt-Varianten
- Versuchsanlage 2, 2001/02: Tendenziell positiver Nachfruchteffekt im N_{\min} -Gehalt zu Beginn der Bestockung bei den Mulch-Varianten

Zweite Nachfrucht Winterroggen (Tabelle 21)

- Versuchsanlage 1, 2001/02: keine Unterschiede zwischen den Mulch und Schnitt-Varianten
- Versuchsanlage 2, 2002/03: keine Unterschiede zwischen den Mulch und Schnitt-Varianten

Hypothese 2: Der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern führt zu einem geringeren Stickstoff-Angebot im Boden als der Anbau von reinen Futterleguminosen-Beständen.

In Bezug auf den N_{\min} -Nachfruchteffekt ($N_{\min}(\text{Leguminose}) - N_{\min}(\text{Referenz-Vorfrucht})$) war bei Luzerne-Reinsaat versus Luzerne-Gräser-Gemenge folgendes festzustellen:

Erste Nachfrucht Winterwinterweizen (Tabelle 20)

- Versuchsanlage 1, 2000/01: keine signifikanten Unterschiede zwischen Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge
- Versuchsanlage 2, 2001/02: Tendenziell höherer N_{\min} -Nachfruchteffekt zu Beginn der Bestockung bei Luzerne-Reinsaat (Mulch) gegenüber Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)

Zweite Nachfrucht Winterroggen (Tabelle 21)

- Versuchsanlage 1, 2001/02: - keine Unterschiede zwischen Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge bei geringen N_{\min} -gehalten ($40-80\text{ kg N ha}^{-1}$)
- Die N_{\min} -Gehalte entsprachen tendenziell denen unter der ersten Nachfrucht
- Versuchsanlage 2, 2002/03: - keine Unterschiede zwischen Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge
- Die N_{\min} -Gehalte entsprachen tendenziell denen unter der ersten Nachfrucht

Zusammenfassend kann daher für die erste und zweite Nachfrucht festgestellt werden, dass

- Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung zu keiner signifikanten Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden führte ($P < 0,05$).
- Weiters führte der Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zum Anbau von Leguminosen in Reinsaat zu keiner signifikante Verringerung des N_{\min} -Gehaltes ($P < 0,05$).
- Im Vergleich der beiden Untersuchungsjahre und Versuchsanlagen bestanden große Unterschiede im N_{\min} -Gehalt

Tabelle 20: Differenz zwischen dem N_{\min} -Gehalt nach den Leguminosen-Vorfrüchten und dem N_{\min} -Gehalt nach den Referenz-Vorfrüchten ($N_{\min}(\text{Leguminose}) - N_{\min}(\text{Referenz-Vorfrucht})$) unter der ersten Nachfrucht Winterweizen*

	Versuchsanlage 1			Versuchsanlage 2		
	Okt 00	Mär 01	Mai 01	Okt 01	Mär 02	Mai 02
VAR	kg N ha ⁻¹					
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	1	3	0	77	68	13
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	9	22	3	46	31	5
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	0	0	0	44	11	6
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	0	18	7	64	9	0

*Die Varianten unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test $P < 0,05$)

Tabelle 21: Differenz zwischen dem N_{\min} -Gehalt nach den Leguminosen-Vorfrüchten und dem N_{\min} -Gehalt nach den Referenz-Vorfrüchten (N_{\min} Leguminose - N_{\min} Referenz-Vorfrucht) unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen

	Versuchsanlage 1			Versuchsanlage 2		
	Okt 01	Mär 02	Mai 02	Okt 02	Mär 03	Mai 03
VAR	kg N ha⁻¹					
Luzerne-Reinsaat (Mulch)	0	0	0	40	32	39
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	19	21	10	0	37	14
Luzerne-Reinsaat (Schnitt)	0	6	0	21	24	17
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	6	4	5	29	19	27

*Die Varianten unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test $P < 0,05$)

Die N_{\min} -Gehalte unter den Nachfrüchten sind wesentlich von der N-Menge, die über die Leguminosen-Vorfrüchte in den Boden eingebracht wurde, bestimmt. Die TM-Erträge und N-Gehalte der Leguminosen-Vorfrüchte wurden in einer der hier vorliegenden Studie vorangegangenen Untersuchung der N-Fixierleistung von Futterleguminosen erhoben (Pietsch, 2004).

Bei dem Vergleich der N-Einträge aus den Leguminosen-Vorfrüchten konnte folgendes festgestellt werden (Tabelle 22 und Tabelle 23):

Mulch versus Schnittnutzung:

Versuchsanlage 1, 2000⁵:

- um durchschnittlich 250kg ha⁻¹ mehr N-Eintrag durch die pflanzliche Biomasse bei Mulchnutzung als bei Schnittnutzung

Versuchsanlage 2, 2001:

- um durchschnittlich 310kg ha⁻¹ mehr N-Eintrag bei Mulchnutzung als bei Schnittnutzung
- im Vergleich zum Jahr 2000 (Versuchsanlage 1) um ca. 20% (60kg N ha⁻¹) größerer Unterschied zwischen Mulch- und Schnittnutzung im N-Eintrag durch die gesamte Biomasse (Mulch + Stoppel + Wurzelbiomasse)
- um 35% (ca. 115kg) mehr N-Eintrag aus dem Mulch-Material als im Jahr 2000 auf der Versuchsanlage 1
- im Vergleich zum Jahr 2000 (Versuchsanlage 1) um ca. 40% geringere N-Einträge bei den Schnitt-Varianten

Luzerne-Reinsaat versus Luzerne-Gräser-Gemenge

Versuchsanlage 1, 2000⁵:

- gleicher N-Eintrag bei Reinsaat und Gemenge bei Schnittnutzung

⁵ Variante Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) wurde im Jahr 2000 nicht untersucht

Versuchsanlage 2, 2001:

- kein Unterschied im N-Eintrag aus den gesamten Leguminosen-Residuen zwischen Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge bei Mulchnutzung
- bei Schnittnutzung höherer N-Eintrag bei Luzerne-Gräser-Gemenge als bei Luzerne-Reinsaat (+45%)
- höherer N-Eintrag aus dem Mulch-Material bei Luzerne-Reinsaat als bei Luzerne-Gräser-Gemenge (+45kg ha⁻¹)

Tabelle 22: Ober- und unterirdische Biomasse- und N-Eintrag der Leguminosen- und Referenz-Vorfrüchte auf der Versuchsanlage 1 im Jahr 2000 (Quelle: Pietsch, 2004)

VAR	Stoppel + Wurzel			Mulch/Schnittgut			Σ TM und N-Ertrag Residuen		
	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %
1	70	153	2,1	66	224	3,3	136	377	2,8
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	69	123	1,8	60	216	3,4	69	123	1,8
4	78	127	1,6	72	233	2,9	78	127	1,6
5	44	30	0,7	61	152	2,5	44	30	0,7
6	47	27	0,5	21	34	1,6	47	27	0,5

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen

NA nicht untersucht

Tabelle 23: Ober- und unterirdische Biomasse- und N-Eintrag der Leguminosen- und Referenz-Vorfrüchte auf der Versuchsanlage 2 im Jahr 2001 (Quelle: Pietsch, 2004)

VAR	Stoppel + Wurzel			Mulch/Schnittgut			Σ TM und N-Ertrag Residuen		
	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %	TM dt ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	N in TM %
1	20	32	1,7	123	362	3,2	143	394	2,8
2	32	68	2	145	317	2,6	177	385	2,2
3	36	54	1,5	97	249	3,0	36	54	1,5
4	42	100	2,2	101	318	2,8	42	100	2,2
5	33	35	1,1	68	170	2,5	33	35	1,1
6	30	16	0,5	13	19	1,5	30	16	0,5

Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt), 6 Winterroggen.

Im Zeitraum 2000/01 auf der Versuchsanlage 1 waren die N_{min}-Gehalte bei Mulch im Vergleich zu Schnittnutzung nicht erhöht, obwohl bei Mulchnutzung um 250kg mehr N in den Boden eingebracht worden war als bei Schnittnutzung. In der Untersuchungsperiode 2001/02 wurden bei einem Mehrertrag an N von 310kg ha⁻¹ durch Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung meist tendenziell höhere N_{min}-Gehalte gemessen.

Neben dem im Jahr 2001 (Versuchsanlage 2) gegenüber dem Jahr 2000 (Versuchsanlage 2) insgesamt höheren N-Eintrag bei den Mulch-Varianten, bestanden bei der anteilmäßigen Zusammensetzung der Leguminosen-Residuen Unterschiede zwischen den beiden Jahren. Im Jahr 2000 auf der Versuchsanlage 1 war der Anteil an Stoppeln und Wurzeln an der gesamten in den Boden eingebrachten pflanzlichen Biomasse höher als im Jahr 2001 (Tabelle 22 und Tabelle 23). Aufgrund des weiteren C/N-Verhältnisses dieser Pflanzenbestandteile wird beim mikrobiellen Umbau der Residuen zu Humus, mehr Stickstoff durch die Mikroorganismen immobilisiert. Die geringe Mineralisierung von Mulch-N bei den Mulch-Varianten im Jahr 2000 war daher zum Teil auf den höheren Anteil an schwer mineralisierbaren Pflanzenbestandteilen zurückzuführen.

Der generell niedrigere N_{\min} -Nachfruchteffekt in den Jahren 2000/01 und 2001/02 auf der Versuchsanlage 1 weist auf im Vergleich zum Zeitraum 2001/02 auf der Versuchsanlage 2 schlechtere Bedingungen für N-Mineralisation, beziehungsweise auf höhere N-Verluste in diesem Zeitraum hin. Für die N-Mineralisation spielen die Bodeneigenschaften und der Wasseranteil des Bodens eine entscheidende Rolle (Ladd et al., 1986, Wang et al., 2001).

Zwischen den beiden Versuchsanlagen bestanden bezüglich des Humusgehalts und der Bodenart keine deutlichen Unterschiede, anhand derer ein großer Unterschied in der N-Mineralisation zu begründen gewesen wäre. Die Wasseranteile im Boden waren im Jahr 2000 nach dem Umbruch der Luzerne-Bestände nach einem feuchten Sommer und Herbst höher als im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 2 (Tabelle 24). Da die Mineralisation von N aus der organischen Substanz durch feuchtere Bodenbedingungen begünstigt wird, wären hinsichtlich der Wasseranteile für den Herbst 2000 höhere N_{\min} -Gehalte zu erwarten gewesen.

Aufgrund der höheren Niederschläge und dem daraus folgenden höheren Wasseranteil der Bodens sind Denitrifikation und gasförmige N-Verluste aus dem Mulch-Material als Gründe für die geringen N_{\min} -Gehalte nach dem Umbruch der Leguminosen-Bestände im Herbst 2000 denkbar.

Denitrifikation findet normalerweise bei hoher Wassersättigung (>80% des gesamten Porenvolumens), aufgrund der dadurch eingeschränkten Durchlüftung durch mikrobielle Aktivität, statt (Sauerstoffmangel der Mikroorganismen). Bei einem hohen Gehalt an leicht verfügbarem Kohlenstoff und einer dadurch hohen mikrobiellen Aktivität, findet Denitrifikation auch bei geringerer Wassersättigung (60-70% des Porenvolumens) statt (Scheffer-Schachtschabel, 1998). Bedingt durch die großen Mengen an organischem Kohlenstoff, die über das Mulch-Material in den Boden eingebracht wurden und die hohen Niederschläge im Sommer und Herbst 2000, sind Perioden mit bedeutenden Denitrifikationsraten als Stickstoffverlustpfad als sehr wahrscheinlich anzunehmen. Es ist bekannt, dass Denitrifikation vor allem während der Vegetationsruhe zu N-Verlusten in Form von N_2 führen kann (Helmert et al., 2003).

Feuchte Bedingungen verbunden mit hohen Temperaturen begünstigen weiters das Entstehen von gasförmigen N-Verlusten aus dem auf der Bodenoberfläche aufliegenden Mulch-Material. In der Literatur sind bis zu 40% gasförmige N-Verluste (NH_3 und NO) aus dem Mulch-Material beschrieben (Larsson et al., 1998). Helmert et al. (2003) stellten in einer Untersuchung von gemulchten Futterleguminosen-Beständen gasförmige N-Verluste im Ausmaß von ca. 1 kg ha^{-1} (<1%) aus dem Mulch-Material fest. In einer Studien an der TU-München wurden ebenfalls gasförmige N-Verluste in einem Ausmaß von weniger als 1% (10 kg N ha^{-1}) des Mulch-N gemessen (Weber et al., 2001). Neben N-Verlusten in Form von NH_3 , werden N-Verluste als N_2O im Bereich von 1% des Mulch-N beschrieben (Larsson et al., 1998 und Flessa, et al., 2002). Derzeit liegen keine Studien über das Ausmaß gasförmiger N-Verluste aus dem Mulch-Material unter den klimatischen Bedingungen des Pannonikums vor. Es kann daher nicht gesichert festgestellt werden, in wieweit gasförmige N-Verluste unter den am Versuchsstandort herrschenden Bedingungen eine Rolle spielen.

Im Sommer des Jahres 2001 waren die Niederschläge geringer als im Sommer 2000. Daher waren die Bodenwasseranteile niedriger als im Jahr davor (Tabelle 24). Aufgrund der trockeneren Bodenbedingungen ist für 2001 Denitrifikation als möglicher Verlustpfad für N nicht wahrscheinlich. Gasförmige N-Verluste aus dem Mulch-Material sind vor allem für den niederschlagsreichen Juli nicht auszuschließen.

Die Erhöhung des N-Umsatzes und daraus folgende höhere N_{\min} -Gehalte im Boden durch Mulchen von Futterleguminosen-Beständen sind durch verschiedene Studien belegt (Wichmann, 2000; Kaiser, 2002; Heuwinkel, 2002). Wie auch in dieser Untersuchung bestätigt wurde, werden in der Literatur hohe N-Mineralisierungsraten über das Ende der Vegetationsperiode hinaus beschrieben. Die Art der Bodenbearbeitung (Herbst- oder Frühjahrsumbruch) hatte dabei häufig keinen Einfluss auf die N-Freisetzung aus der pflanzlichen Biomasse (Helmert et al., 2003; Ruhe et al., 2003; Kaske, 2000). Bei Kaske (2000) und Loges (1998) wird eine Reduktion der N_{\min} -Gehalte durch Schnittnutzung bestätigt. Ruhe et al. (2003) registrierten bei gemulchten Klee gras im Vergleich zu schnittgenutzten Beständen eine deutliche Verringerung der N_{\min} -Gehalte durch Schnittnutzung nur in Verbindung mit einem Frühjahrsumbruch. In einer Untersuchung von Drey mann et al. (2003) konnte bezüglich des Nutzungssystems der Leguminosen kein eindeutiger Effekt auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens festgestellt werden, während Frühjahrsumbruch eine deutliche Verringerung (-30%) des N_{\min} -Gehaltes vor dem Herbst zur Folge hatte. Aus den hier angeführten Studien geht hervor, dass im Vergleich zu Mulchnutzung durch Schnittnutzung nicht in jedem Fall eine deutliche Verringerung des N_{\min} -Gehaltes erreicht werden kann. Wie auch in der hier in der hier vorliegenden Untersuchung bestätigt wurde, können darüber hinaus auch innerhalb eines Untersuchungsgebietes beträchtliche Schwankungen im N_{\min} -Gehalt zwischen den Jahren auftreten (Drey mann et al., 2003).

Die hier zitierten Studien stammen aus Gebieten mit mittleren bis hohen Jahresniederschlägen, bzw. anderen Bodenarten, als dem im Untersuchungsgebiet. Aufgrund des hohen Einflusses von Standort und Witterung sind diese Ergebnisse daher nur bedingt mit denen der hier vorliegenden Studie vergleichbar. Zur Freisetzung von N_{\min} aus Futterleguminosen-Residuen bei verschiedenen Nutzungssystemen im pannonischen Klimaraum liegen bislang keine weiteren Untersuchungen vor. Um generelle Aussagen zu den Auswirkungen verschiedener Nutzungssysteme von Futterleguminosen auf den N_{\min} -Gehalt im Boden machen zu können, wären weitere Untersuchungen nötig. Des weiteren wären Versuche zur N_{\min} -Dynamik in Mulch/Schnitt-Systemen in Bezug auf die Beeinflussung des N_{\min} -Gehaltes durch verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen wünschenswert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Vergleich zu Schnittnutzung der N_{\min} -Gehalt im Boden durch Mulchnutzung von Futterleguminosen nicht in jedem Fall erhöht wird. Der Standort und die Jahreswitterung haben beträchtlichen Einfluss auf die Freisetzung des N aus den Leguminosen-Residuen, was zu großen Unterschieden bei den N_{\min} -Gehalten im Boden führen kann.

Tabelle 24: Durchschnittlicher Bodenwasservorrat (mm) nach dem Umbruch der Leguminosen-Vorfrüchte unter der ersten Nachfrucht Winterweizen

	Versuchsanlage 1 2000/01				Versuchsanlage 2 2001/02			
	0-60cm	60-100cm	100-120cm	0-120cm	0-60cm	60-100cm	100-120cm	0-120cm
Aug	86	32	20	138	47	27	7	81
Sept								
Okt					84	23	8	115
Nov	136	39	21	196				
Dez								
Jän								
Feb					98	53	24	175
Mär	143	84	20	247	109	58	25	193
Apr	141	88	21	250	100	66	27	193
Mai	114	84	23	220	70	60	29	159

In der **Arbeitshypothese 2** wurde angenommen, dass der Anbau von Luzerne im Gemenge mit Gräsern den N_{\min} -Gehalt im Boden gegenüber dem Anbau von Luzerne in Reinsaat verringert.

Anhand der Untersuchungsergebnisse können folgende Zusammenhänge abgeleitet werden:

- Der Trockenmasseertrag bei Leguminosen-Gräser-Gemenge war meist höher als nach reinen Leguminosen-Beständen. Auf Grund der niedrigeren N-Gehalte in den Pflanzen-Residuen der Gemenge-Varianten war der N-Eintrag meist gleich hoch wie bei Luzerne-Reinsaat (Tabelle 22 und Tabelle 23).
- Auf der Versuchsanlage 1 waren die N_{\min} -Gehalte nach den Leguminosen-Gräser-Gemenge Varianten gegenüber den Leguminosen-Reinsaat Varianten meist tendenziell erhöht
- Auf der Versuchsanlage 2 waren bei den mulchgenutzten Varianten die N_{\min} -Gehalte nach Luzerne-Gräser-Gemengen gegenüber Luzerne-Reinbeständen in der Tendenz reduziert.

Bei gleichem N-Eintrag durch die Leguminosen-Vorfrüchte wären aufgrund der geringeren Mineralisation von N aus den Pflanzen-Residuen geringere N_{\min} -Gehalte bei den Leguminosen-Gräser-Gemenge Varianten zu erwarten gewesen. Das deshalb, da der niedrigere N-Gehalt in den Residuen der Leguminosen-Gräser-Gemenge Varianten einem weiteren C/N-Verhältnis entspricht, was eine geringere N-Mineralisation der Residuen zu Folge hat. Der erwartete Effekt trat jedoch nur auf der Versuchsanlage 2 bei den Mulchvarianten unter der ersten Nachfrucht Winterweizen ein. Leguminosen-Gräser-Mischbestände hinterließen in der Untersuchung von Kaske (2000) ebenfalls höhere N-Konzentrationen in den Ernterückständen als Leguminosenreinbestände mit durchschnittlich 2,7 %.

Das Ausbleiben einer Differenzierung zwischen den N_{\min} -Gehalten auf der Versuchsanlage 1 bei der ersten Nachfrucht ist aus folgenden Gründen möglich:

- a. höhere N-Fixierungsleistung bei Luzerne-Gräser-Gemenge
- b. gasförmige N-Verluste aus dem Mulch im Jahr 2000 auf VA 1 aufgrund der feuchteren Bedingungen.

Eine Möglichkeit zur Erklärung der geringen Unterschiede bei den N_{\min} -Gehalten zwischen Reinsaat und Gemenge ist die höhere N-Fixierungsleistung bei Leguminosen-Gräser-Gemengen (Loges, 1998). Der Grasanteil im Leguminosen-Gemenge nimmt größere Mengen an N auf. Hohe N_{\min} -Gehalte im Boden wirken sich hemmend auf die N-Fixierungsleistung der Leguminosen aus, da die Aufnahme von N aus dem Boden gegenüber der energieaufwändigen Bindung von Luftstickstoff bevorzugt wird (Heuwinkel et al., 2002). Ein geringer Grasanteil im Leguminosen-Gemenge fördert daher die N-Fixierungsleistung der Leguminosen, wodurch mögliche Unterschiede im N_{\min} -Gehalt ausgeglichen werden.

In dieser Untersuchung lag der Gräseranteil im Leguminosen-Bestand im Untersuchungsjahr 2000 bei durchschnittlich 23% und im Jahr 2001 bei durchschnittlich 7% (Tabelle 25). Der Gräser-Anteil verminderte sich dabei im Jahr 2001 nach dem ersten Schnitt auf nur mehr 2% des Gemenges. Unter pannonischen Klimabedingungen kann es trockenheitsbedingt zu starken Schwankungen hinsichtlich des Gräseranteils im Leguminosen-Gemenge kommen. Bei Trockenheit können die Gräser von der in Bezug auf die Wasseraufnahme konkurrenzstärkeren Luzerne zurückgedrängt werden. Trotz des geringen Gräser-Anteils im Gemenge auf der Versuchsanlage 2 konnte unter der ersten Nachfrucht eine tendenzielle Verringerung der N_{\min} -Gehalte gegenüber Leguminosen-Reinbeständen festgestellt werden. Es ist daher anzunehmen, dass bezüglich des Ausbleibens einer Verringerung des N_{\min} -Gehaltes nach Leguminosen-Gräser-Gemengen die höhere N-Fixierungsleistung bei Leguminosen-Gräser-Gemengen eine untergeordnete Rolle spielte.

Da bei Mulchnutzung ein höherer Eintrag von pflanzlicher Biomasse erfolgt als bei Schnittnutzung, sind hier hinsichtlich der Artenzusammensetzung deutlichere Auswirkungen beim Verbleib des N aus den Leguminosen-Residuen zu erwarten. Ebenso ist zu erwarten, dass sich die entsprechenden Effekte im N-Haushalt während der auf den Umbruch folgenden intensiven Umsetzungsphase unter der ersten Nachfrucht deutlicher zeigen als unter der zweiten. Die Ergebnisse bei der ersten Nachfrucht im Jahr 2001/02 auf der zweiten Versuchsanlage entsprechen diesen Annahmen. Es wird daher angenommen, dass der Effekt durch den Gräseranteil im Gemenge im Jahr 2000 in erster Linie aufgrund der anzunehmenden gasförmigen N-Verluste aus dem Mulch-Material ausblieb. Gasförmige N-Verluste aus dem Mulch-Material als mögliche Ursache für die fehlende Differenzierung der N_{\min} -Gehalte nach den Futterleguminosen-Varianten wurden bereits bei der Diskussion der Nutzungssysteme Mulch- und Schnittnutzung erörtert.

Zusammenfassend kann in Bezug auf eine mögliche Verringerung der N_{\min} -Gehalte durch den Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern anstatt als Reinsaat festgehalten werden, dass nur bei Mulchnutzung aufgrund des höheren Biomasseeintrages eine tendenzielle Differenzierung im N_{\min} -Gehalt entsprechend der Hypothese erfolgte. Bei eingeschränkter Mineralisation oder N-Verlusten aus dem Mulch-Material sind keine Effekte durch die Variation der Artenzusammensetzung zu erwarten.

	2000 Versuchsanlage 1			2001 Versuchsanlage 2		
	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs
Mulchnutzung	NA	NA	NA	25	2	1
Schnittnutzung	39	12	18	16	2	2

Tabelle 25: Prozentueller Gräser-Anteil bei den Luzerne-Gräser-Gemenge Varianten

NA Variante nicht untersucht

Die hier vorliegenden Ergebnisse zum Stickstoffhaushalt zeigten, dass neben der Bestandesentwicklung der Leguminosen-Vorfrüchte, die Umweltbedingungen (Witterung, Temperatur, Bearbeitung) vor und nach dem Umbruch der Leguminosen von entscheidender Bedeutung für den Verbleib und die Verfügbarkeit des durch die Futterleguminosen in den Boden eingebrachten Stickstoffs sind. Die daraus resultierenden Unterschiede bei den N_{\min} -Gehalten können dabei beträchtlich sein und sind anhand von Untersuchungen der Menge und des N-Gehalts der in den Boden eingebrachten Leguminosen-Biomasse und durch N_{\min} -Untersuchungen nicht ausreichend erklärbar.

Der Leguminosen-Stickstoff wird zum überwiegenden Teil zuerst in den Humus eingebaut und anschließend durch Remineralisierung wieder freigesetzt (Mayer et al., 2003, Haynes, 1997, Green und Blackmer, 1995, Jensen, 1997). Um die N-Dynamik zwischen den verschiedenen N-Pools bei wechselnden Umweltbedingungen klären zu können, sind Prozessstudien anhand von ^{15}N markierten Leguminosen-Residuen nötig.

In derartige Untersuchungen sind auch mögliche N-Verlustpfade wie Denitrifikation und Freisetzung von gasförmigem N aus dem Mulch mit einzubeziehen.

Hogh-Jensen und Schjoerring (2001) zeigten in einer Untersuchung zur Rhizodeposition von Futterleguminosen, dass die Menge des atmosphärisch gebundenen N im Boden und in den Wurzeln die Stickstoffmenge in den oberirdischen Pflanzenteilen übersteigt. Diese Stickstofffraktion ist daher von großer Bedeutung für die N-Bilanz und die Mineralisation von Stickstoff. Die zugrundeliegenden Prozesse der Rhizodeposition und des Umsatzes der Rhizodeposite sind jedoch bisher nur wenig untersucht (Mayer et al., 2003). Der N-Eintrag in den Boden über Rhizodeposition wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht erfasst, da für Futterleguminosen die entsprechende Methodik nicht ausgereift ist. Es ist zu vermuten, dass diese N-Mengen weitgehend unabhängig von Nutzungssystem und Bestandeszusammensetzung in leicht umsetzbarer Form im Boden vorliegen. Sie können daher Variantenunterschiede überdecken und so einer Differenzierung der untersuchten Systeme entgegenwirken. Um die N-Umsatzprozesse klären zu können, wären sie aber zu berücksichtigen.

4.2 Bodenwasserhaushalt und Stickstoffverlagerung

Den Untersuchungen zu den Auswirkungen des Futterleguminosen-Anbaus auf die Stickstoffverlagerung wurden folgende Hypothesen zugrunde gelegt.

Hypothese 1: Mulchnutzung von Futterleguminosen führt im Vergleich zu Schnittnutzung

- zu höheren Boden-Nitratgehalten
- einem größeren Pool an labilen organischen N-Verbindungen
- und daher zu einem erhöhten Nitrat-Auswaschungspotential.

In dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung

- zu keinen signifikant erhöhten Boden-Nitratgehalten führte ($P < 0,05$)
- der Pool an labilen organischen N-Verbindungen nicht erhöht wurde ($P < 0,05$)
- und in der Folge das Nitrat-Auswaschungspotential bei Mulchnutzung nicht erhöht war ($P < 0,05$).

Die Ergebnisse der Untersuchung des Boden- N_{\min} -Gehaltes wurden bereits in Kapitel 4.1 diskutiert. Eine signifikante Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden bei Mulch- im Vergleich zu Schnittnutzung konnte nicht festgestellt werden.

Auch hinsichtlich der labilen organischen N-Verbindungen wurden zwischen Mulch- und Schnittnutzung keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Über die Rolle der labilen organischen N-Verbindungen für das Auswaschungspotential von landwirtschaftlich genutzten Böden ist generell noch wenig bekannt (Murphy et al, 1999). Untersuchungen zu den labilen organischen N-Verbindungen bei verschiedenen Nutzungssystemen von Futterleguminosen liegen bislang nicht vor. In einer Studie von Jensen et al. (1997) wurde festgestellt, dass sich der Gehalt an labilen organischen N-Verbindungen nach der Einarbeitung von 4-8 t ha⁻¹ Rapsstroh zu keinem Zeitpunkt signifikant erhöhte. Mulongoy und Grasser (1993) zeigten, dass im Anschluss an den Umbruch

verschiedener Kulturen (Futterraps, Roggen, Mais) der Pool an labilen organischen N-Verbindungen bis zu 100 Tage nach dem Umbruch erhöht war. Die höchste Konzentration an labilen organischen N-Verbindungen wurde dabei 50 Tage nach dem Umbruch gemessen. Die Erfassung der labilen organischen N-Pools in der hier vorliegenden Untersuchung erfolgte, jeweils zu Beginn der Vegetationsperiode, etwa 150 Tage nach dem Umbruch der Futterleguminosen. Zwischen den Leguminosen-Varianten und den Versuchsjahren ergaben sich zu diesem für das Auswaschungsrisiko and diesem Standort relevanten Termin keine signifikanten Unterschiede. Variantenunterschiede zu einem früheren Termin, kürzere Zeit nach dem Umbruch, sind denkbar. Sie wurden jedoch nicht untersucht und wären im Hinblick auf das Nitrat-Auswaschungsrisiko auch weniger aussagekräftig, da Sickerung am Standort erst nach der winterlichen Wiederbefeuchtung des Bodenprofils zu erwarten ist.

In einer Untersuchung zum Stickstoffhaushalt bei Ökologischer Bewirtschaftung stellten Friedel und Gabel (2001) nach neunjähriger Ökologischer Bewirtschaftung noch keine signifikante Erhöhung des Gehaltes des Bodens an mikrobieller Biomasse zu Beginn der Vegetationsperiode fest. Die mikrobiellen Biomassegehalte zu diesem Zeitpunkt können als ein Maß für die mikrobielle Population im Gleichgewicht, ohne unmittelbar vorangegangene, störende Einflüsse betrachtet werden. Sie reflektieren damit längerfristige Bewirtschaftungseinflüsse (Insam et al., 1989). Dies kann in ähnlicher Weise auch für die weiteren Messgrößen (N-Mineralisationspotential, K_2SO_4 -extrahierbarer N) des labilen organischen N angenommen werden. Die fehlende Erhöhung des labilen organischen N-Pools zu diesem Zeitpunkt nach einer einmaligen Zufuhr von Residuen überjähriger Futterleguminosen kann dadurch erklärt werden.

In verschiedenen Untersuchungen werden, abhängig von der Kulturart und der Düngung, N-Verluste in Form von labilen organischen N-Verbindungen zwischen 2 und 20% beschrieben (Dyke et al., 1983; Boghal et al., 2000). Bislang ist nicht klar ob die labilen N-Verbindungen vor der Auswaschung ins Grundwasser mineralisiert werden oder hauptsächlich an der Bodenmatrix sorbiert bleiben. Weiters ist nicht klar, ob im Grundwasser eine Mineralisierung der labilen organischen N-Verbindungen statt findet (Murphy et al., 1999). Es wird aber angenommen, dass der Anteil der labilen N-Verbindungen an den N-Auswaschungsverlusten höher ist als bisher vermutet (Glending et al., 1997). Die Untersuchung des NO_3 -N in der Bodentiefe von 90-120cm und in der Bodenlösung in 120cm Bodentiefe ergab bei beiden Nachfrüchten keine signifikanten Unterschiede zwischen Mulch- und Schnittnutzung bzw. zwischen den untersuchten Gemenge-Varianten (Tabelle 9, Tabelle 16 und Abbildung 29). Labiler organischer N hat somit jedenfalls nicht in Form seines zu Nitrat mineralisierten Anteils in der Bodenlösung zu einer Differenzierung des N-Auswaschungsrisikos zwischen den Produktionssystemen beigetragen.

Die fehlende Differenzierung in der Nitrat-Konzentration in der Bodenschicht 90-120cm und in der verlagerten N-Menge bei Mulch- und Schnittnutzung entspricht den Ergebnissen der N_{min} -Untersuchungen, die ebenfalls keine Variantenunterschiede zeigten.

Eine verringerte N-Verlagerung durch Schnittnutzung wurde bereits von Heß (1989) beschrieben. Dreyman et al. (2003) stellten fest, dass im Vergleich zu Mulchnutzung die N-Fracht im Sickerwasser bei Schnittnutzung und kombinierter Mulch/Schnittnutzung signifikant verringert werden konnte. In der Studie von Ruhe et al. (2003) konnte eine signifikante Verringerung der N-Verlagerung bei Schnittnutzung im Vergleich zu Mulchnutzung festgestellt werden. In der hier vorliegenden Literatur wurde eine Reduktion der N-Verlagerung meist parallel zu durch Schnittnutzung verringerten N_{min} -Gehalten festgestellt. Da in der hier vorliegenden Studie die N_{min} -Gehalte zwischen den Varianten keine Unterschiede zeigten, waren auch hinsichtlich der verlagerten N-Menge keine Unterschiede zu erwarten. Die Ursachen für die fehlende Differenzierung in den N_{min} -Gehalten wurden bereits in Kapitel 4.1 diskutiert.

Hypothese 2: Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern führt aufgrund eines weiteren C/N-Verhältnisses der Pflanzenresiduen zu

- niedrigeren Stickstoff-Mineralisationsraten der Ernte- und Wurzelrückstände sowie des Mulch-Materials
- daher zu einer geringeren N-Verfügbarkeit im Boden
- und in der Folge zu einer Verringerung des Nitrat-Auswaschungspotentials.

In dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass der Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern

- zu keinen niedrigeren Mineralisationsraten führte ($P < 0,05$).
- die N-Verfügbarkeit im Boden nicht geringer war als bei reinen Leguminosen-Beständen ($P < 0,05$).
- und daher durch Leguminosen-Gräser-Gemenge keine Verringerung des Nitrat-Auswaschungspotentials erfolgte ($P < 0,05$).

Wie auch bei Mulch/Schnitt waren die Nitrat-Konzentrationen in der Bodenschicht 90-120cm nach Leguminosen-Reinsaat gleich hoch wie nach Leguminosen-Gräser-Gemenge. Aufgrund der fehlenden Differenzierung der N_{\min} -Gehalte bei den Varianten waren Unterschiede in der N-Konzentration in der Bodenlösung nicht zu erwarten. Zu den Auswirkungen von verschiedenen Gemenge-Varianten von Futterleguminosen auf die N-Verlagerung liegen nur wenige Studien vor. In diesen wird eine Verringerung der N_{\min} -Gehalte und in Folge dessen der N-Verlagerung durch den Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Nicht-Leguminosen beschrieben (Schmidtke, 1989; Heß et al., 1992).

Einschätzung des N-Auswaschungspotentials und der Nitratverlagerung

Der österreichische Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser liegt bei 45 mg l^{-1} ($= 10 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$). Bei den Leguminosen-Varianten wurde dieser Wert, in der Bodenlösung in 120cm Bodentiefe, bei beiden Nachfrüchten in allen Untersuchungsjahren überschritten (Tabelle 9, Tabelle 16 und Abbildung 29). Bei den Referenz-Vorfrüchten Gräser-Gemenge und Winterroggen fand ebenfalls in allen Jahren eine Überschreitung statt. In den Berechnungen wurde von einer anhand der N_{\min} -Gehalte in der Bodenschicht 90-120cm abgeschätzten, maximal möglichen N-Konzentration in der Bodenlösung ausgegangen. Die N-Konzentrationen in der im Jahr 2003 mittels Saugkerzen gewonnenen Bodenlösung lagen um durchschnittlich 30% unter den auf dem N_{\min} -Gehalt basierenden N-Konzentrationen. Auch in der mittels Saugkerzen gewonnenen Bodenlösung war die N-Konzentration bei allen Leguminosen- und den Referenz-Vorfrucht-Varianten meist höher als der Grenzwert. Es lag daher bei allen untersuchten Varianten ein erhöhtes N-Auswaschungspotential vor.

In Studien von Ruhe et al. (2003) und Dreyman et al. (2003) wurden bei Mulchnutzung von Futterleguminosen jährliche N-Frachten von rund 30 kg N ha^{-1} und bei Schnittnutzung von rund 20 kg ha^{-1} festgestellt. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Sickerwasseraufkommen von rund 190 mm konnte der N-Austrag durch Schnittnutzung unter den EU-Grenzwert ($50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$) verringert werden. Stopes et al. (1996) stellten nach Rotklee in Gründüngungsnutzung auf einer biologisch bewirtschafteten Fläche in England eine Nitrat-Auswaschung von 26 (Frühjahrsbruch) bis 102 (Herbstbruch) kg N ha^{-1} fest. Die Ergebnisse aus den genannten Untersuchungen stammen aus Gebieten mit höheren Jahresniederschlägen und überwiegend sandigen Böden, mit daher wesentlich höheren Sickerungsraten als sie am Standort der hier vorliegenden Studie vorkommen.

In der hier vorliegenden Untersuchung lagen die Jahresniederschläge meist unter dem langjährigen Mittel (2000 90%; 2001 85%; 2003 60% des langjährigen Mittels). Im feuchteren Jahr 2002 (130% des langjährigen Niederschlagsmittels) setzte die Phase mit überdurchschnittlichen Niederschlägen erst nach dem Winter in der zweiten Märzhälfte ein. Bedingt durch die geringen Niederschläge fand in keinem der Untersuchungsjahre eine Wiederauffüllung des Bodenprofils bis auf Feldkapazität statt. In der Folge konnte im Messzeitraum keine Verlagerung von Bodenwasser und daher auch keine Verlagerung von Nitrat aus dem untersuchten Bodenprofil (120cm Bodentiefe) festgestellt werden.

Geringe Wasserbewegungen und daher niedrige Verlagerungsgeschwindigkeiten bei tiefgründigen Lössböden und geringen mittleren Jahresniederschlägen sind auch aus anderen Studien belegt (Sauer et al., 2002; Gerjes, 1989). Die geringen Verlagerungsgeschwindigkeiten von Bodenwasser sind dabei nur unter der Annahme von reinem Matrixfluss gültig. Über Makroporen (z.B.: Bodenrisse, Regenwurmgänge) ist eine schnelle Verlagerung möglich (preferential flow). Knoblauch (1996) und Knoblauch und Roth (1995) stellten fest, dass preferential flow in tiefgründigen Lössböden nur eine untergeordnete Rolle spielt. Da es am Untersuchungsstandort gewöhnlich zu keiner Bildung von tiefen Bodenrissen kommt und anözische Regenwürmer, vertikale Röhrensysteme anlegen, fehlen (Freyer et al., 2000) ist das Auftreten von preferential flow unwahrscheinlich.

Für die Abschätzung des tatsächlichen Auswaschungspotentials in Böden mit geringer Wasserbewegung ist die Tiefe des effektiven Wurzelraums (jene Bodentiefe bis zu der Pflanzen in der Lage sind Wasser- und Nährstoffe aufzunehmen) von entscheidender Bedeutung. Da im Vorfeld dieses Versuches keine Bestimmung des effektiven Wurzelraums über die hydraulische Wasserscheide erfolgte (Scheffer/Schachtschabel, 1998), wurde die effektive Durchwurzelungstiefe bei 120cm festgelegt (Renger und Strebel, 1980). Sauer et al. (2002) bestimmten bei Wintergetreide auf tiefgründigen Lößstandorten effektive Durchwurzelungstiefen von rund 220cm. In einer früheren Studie von Strebel und Duynisveld (1989) wird auf die besondere Bedeutung der Wasser- und Stickstoffaufnahme der Pflanze aus dem Unterboden während niederschlagsarmer Phasen hingewiesen. Es ist daher anzunehmen, dass Getreide-Nachfrüchte in der Lage sind, über längere Zeiträume hinweg auch Nitrat unterhalb von 120cm Bodentiefe aufzunehmen. In der Studie von Sauer et al. (2002) wurde anhand von Tiefenbohrungen festgestellt, dass hohe N-Konzentrationen in der Bodenlösung in einer Tiefe von 120cm nicht als Indikator für den tatsächlichen N-Austrag ins Grundwasser herangezogen werden können.

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung kann daher die tatsächlich irreversibel verlagerte N-Menge nicht bestimmt werden. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass bei einer Verlagerung von Stickstoff in die unter dem Löss anstehenden Sand- und Schotterhorizonte auch eine N-Verlagerung in das Grundwasser eintritt. Am Untersuchungsstandort in Raasdorf liegt die Schotteroberkante auf keiner der Versuchsanlagen über 2m. Für die Bestimmung der tatsächlich verlagerten N-Frachten wäre daher die Ausdehnung der Bodenuntersuchungen in wesentlich tiefere Bodenschichten notwendig.

In der hier vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass auf tiefgründigen Lössstandorten nach trockenen Jahren auch in einem darauf folgenden feuchteren Jahr 2002 noch keine Verlagerung von N ins Grundwasser eintritt. Aufgrund der geringen Wasser- und Stoffbewegung in Lössböden wären daher Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, der auch längere Perioden mit überdurchschnittlichen Niederschlägen einschließt, notwendig. Das Marchfeld weist hinsichtlich der Standorteigenschaften eine hohe Heterogenität auf. Neben tiefgründigen Standorten mit einer Lössauflage von großer Mächtigkeit kommen Gebiete mit bis knapp unter die Bodenoberfläche anstehendem Schotter vor. Auf diesen flachgründigen Standorten ist auch in durchschnittlich feuchten Jahren mit einer Verlagerung von N zu rechnen. In Untersuchungen zum Nitrat auswaschungspotential von Futterleguminosen sind daher in Hinkunft auch derartige Standorte mit einzubeziehen.

In verschiedenen Studien wird der ökologischen Wirtschaftsweise aufgrund der geringeren Düngeintensität im Vergleich zu konventionellen Bewirtschaftungsformen ein geringeres N-Verlustpotential zugeschrieben (Berg et al., 1999; Geier et al., 1998; Niemann, 1998; Eltun, 1995). Die Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchung und die anderer Autoren zeigen, dass ein hohes N-Auswaschungspotential bei Leguminosenanbau auch unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus möglich ist (Ruhe et al., 2003; Heß, 1989; Schmidtke und Rauber, 1990). Da im viehlosen Ökologischen Landbau dem Futterleguminosenanbau eine zentrale Rolle zukommt, ist die Anwendung grundwasserschonender Anbaumaßnahmen von großer Bedeutung. Durch das Nutzungssystem und die Artenzusammensetzung konnte in der hier vorliegenden Studie keine Verringerung des Nitrat-Verlagerungspotentials bewirkt werden.

In der Literatur wird eine Verringerung des N-Austrages durch Verlegung des Umbruchszeitpunktes ins Frühjahr beschrieben (Dreyman et al., 2003, Ruhe et al., 2003, Heß, 1989; Hogh-Jensen & Schjoerring, 1996; Rasse et al., 1999). Es wäre daher ein später Umbruchszeitpunkt der Leguminosen-Bestände zur Verringerung der Nitrat-Verlagerung denkbar. Aufgrund der dadurch zu erwartenden starken Belastung des Bodenwasserhaushaltes aufgrund des hohen Wasserverbrauches durch die Luzerne ist ein später Bestandesumbruch kritisch zu sehen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der N-Verlagerung ist der Anbau von nichtlegumen Zwischenfrüchten mit hohem Stickstoffentzug wie Senf, Winterraps, Ölrettich, oder Landsberger Gemenge (Heß, 1989; Freyer, 2002; Schmidtke und Rauber, 1990; Reents & Möller, 2001).

Die Verbindung eines frühen Umbruchs der Leguminosen-Bestände (Mitte bis Anfang Juli) mit einer Zwischenfrucht über der Sommer wäre eine Möglichkeit, um die Verlagerung von N zu verringern. Der Zwischenfruchtanbau im pannonischen Raum ist aufgrund der geringen Niederschläge oft nur mit Hilfe von künstlicher Bewässerung möglich. Eine Untersuchung zum Stickstoff- und Wasserhaushalt bei Zwischenfruchtanbau im Trockenraum Ostösterreichs wird derzeit am Institut für Ökologischen Landbau durchgeführt.

Aufgrund der sich auf mehrere Jahre erstreckenden Nachfruchteffekte der Leguminosen-Residuen sind die oben genannten Anbauverfahren auf die gesamte Fruchtfolge auszudehnen (Drinkwater et al., 1998, Heß et al., 1992).

Auswirkungen der Vorfrucht Luzerne auf das pflanzenverfügbare Bodenwasser

In den Jahren 2002 und 2003 (Versuchsanlage 2) waren die N-Bilanzsalden bei den Leguminosen-Varianten gegenüber denen der Referenz-Vorfrucht-Varianten erhöht (Tabelle 20 und Tabelle 21). Bei den Erträgen der Getreidenachfrüchte der Leguminosen-Varianten konnte jedoch gegenüber den Erträgen der Referenz-Vorfrucht-Varianten keine Steigerung festgestellt werden (Abbildung 35 und Abbildung 39). Zum Teil waren die Erträge nach den Leguminosen-Varianten sogar leicht geringer als bei der Referenz-Vorfrucht-Variante Winterroggen. Dieser Effekt konnte gegenüber der Referenz-Vorfrucht Gräser-Gemenge nicht beobachtet werden, und trat auf beiden Versuchsanlagen nur bei der ersten Nachfrucht Winterweizen auf. Neben der Versorgung der Kulturen mit N ist das pflanzenverfügbare Wasser im Boden der zweite wesentliche Einflussfaktor bei der Ertragsbildung. Es liegt daher nahe, dass zwischen den Leguminosen-Varianten und der Referenz-Vorfrucht-Variante Winterroggen Unterschiede hinsichtlich ihres Einflusses auf den Wasserhaushalt bestehen. Der Wasserverbrauch der Luzerne-Bestände ist aufgrund ihres tiefreichenden Wurzelsystems und dem meist wesentlich später erfolgendem Umbruch höher als der von Getreidebeständen. Es ist daher anzunehmen, dass unter den niederschlagsarmen Bedingungen am Versuchsstandort ein hoher Wasserverbrauch der Vorfrucht einen ertragslimitierenden Faktor darstellen kann. In verschiedenen Studien wird auf verminderte Nachfruchterträge durch den Wasserverbrauch der Vorfrucht hingewiesen (Badaruddin & Meyer, 1989; Hesterman et al., 1990; Holford und Crocker, 1997; Bruulsema & Christie, 1987).

Aufgrund der geringen Anzahl der Bodenwasserhaushaltsmessstellen war eine statistische Auswertung der Wasserhaushaltsdaten hinsichtlich eines Einflusses durch die Vorfrucht nicht möglich. Der Vergleich der pF-Werte und Wasseranteile⁶ unter der ersten Nachfrucht Winterweizen auf den beiden Versuchsanlagen ergab auf der Versuchsanlage 1 keine Tendenz hinsichtlich eines geringeren Wasseranteiles nach den Leguminosen-Varianten (Tabelle 26). Auf der Versuchsanlage 2 waren die Wasseranteile aller Leguminosen-Varianten niedriger als bei der Referenz-Vorfrucht Winterroggen (Abbildung 22). Es zeigt sich, dass bei der ersten Nachfrucht Winterweizen vor allem im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 nach den Leguminosen-Varianten weniger Wasser zur Verfügung stand als nach der Referenz-Vorfrucht Winterroggen. Die unterschiedlich starke Ausprägung des Effektes auf den Versuchsanlagen 1 und 2 kann zum Teil auf standortliche Unterschiede zurückzuführen sein. Des weiteren waren die Niederschläge im Sommer und Herbst des Jahres 2001 (Luzerne auf der Versuchsanlage 2) wesentlich geringer als im Jahr 2000 (Luzerne auf der Versuchsanlage 1) was einen stärkeren Effekt auf der Versuchsanlage 2 erklären würde. Unter der zweiten Nachfrucht Winterroggen waren hinsichtlich der pF-Werte auf der Versuchsanlage 1 keine Unterschiede feststellbar (Tabelle 27). Im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 waren die pF-Werte von März bis Mai in den Tiefen 80 und 120cm bei den Luzerne-Varianten höher als bei der Variante Referenz-Vorfrucht Winterroggen.

Es kann daher festgestellt werden, dass der Anbau von Luzerne vor allem in trockenen Jahren zu einer geringeren Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser bei der ersten und auch bei der zweiten Nachfrucht (hier nur in den unteren Bodenschichten) führte. Eine ertragssteigernde Wirkung eines frühen Luzerne-Umbruchtermins ist wahrscheinlich und wäre daher zu untersuchen.

Tabelle 26: pF-Werte im Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1 (VA1) und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2) bei der ersten Nachfrucht Winterweizen

Variante	VA 1 2001						VA 2 2002					
	Leg			WR			Leg			WR		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
März	2,5	2,8	2,7	2,1	2,9	2,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
April	2,6	2,8	2,7	>2,9	2,0	2,8	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Mai	>2,9	>2,9	2,7	>2,9	2,8	2,8	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Leguminosen-Varianten (Leg): Mittelwert von 5 Messstellen; Referenz-Vorfrucht Winterroggen (WR): Daten einer Messstelle NA Daten nicht auswertbar (vergl. Kapitel 3.3.1.1)

Tabelle 27: pF-Werte im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1 (VA1) und im Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2 (VA 2) bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen

Variante	VA 1 2002						VA 2 2003					
	Leg			WR			Leg			WR		
Bodentiefe (cm)	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
März	2,6	2,8	2,7	2,9	2,7	2,7	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3
April	2,6	2,7	2,7	2,0	2,8	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,4
Mai	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,7	2,9	2,7	2,6

Leguminosen-Varianten (Leg): Mittelwert von 5 Messstellen; Referenz-Vorfrucht Winterroggen (WR): Daten einer Messstelle

⁶ Aufgrund des Ausfalls der Tensiometer liegen für das Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 keine pF-Werte vor. Siehe auch Abbildung 22. Der volumetrische Wasseranteil wurde daher für einen relativen Vergleich zwischen den Varianten herangezogen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Auswaschungspotential im Untersuchungszeitraum unabhängig vom Nutzungssystem und der Artenzusammensetzung der Leguminosen gleich hoch war. Der Anbau von Futterleguminosen und führte auch zu keiner signifikanten Erhöhung der N-Konzentrationen in der Bodenlösung gegenüber den nichtleguminösen Referenz-Vorfrüchten.

Die hier vorliegenden Untersuchungen zum Wasser- und Stickstoffhaushalt sind auf Böden mit relativ kurz andauernder ökologischer Bewirtschaftung zu beziehen. Nach Niggli und Besson (1996) beginnen viele Differenzierungsprozesse der Bodeneigenschaften im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Böden erst nach einem Zeitraum von etwa 14 Jahren. Auch in anderen Studien wird auf die Erfordernis der Betrachtung von Bodenprozessen über lange Zeiträume im Rahmen von Dauerfeldversuche hingewiesen (Köpke, 1995). Die langsam verlaufenden Änderungsprozesse sind zum Großteil auf die viele Jahre dauernde Erhöhung der mikrobiellen Biomasse und der damit verbundenen Humusgehalte verbunden (Lindenthal, 1993). Die höheren Gehalte an mikrobieller Biomasse führen erst langfristig zu einer effizienteren Speicherung des leicht verfügbaren Stickstoffs (Friedel et al., 1997). Anders als in konventionell bewirtschafteten Böden ist daher trotz höherer Humusgehalte und höherer biologischer Aktivität meist keine erhöhte N-Freisetzung festzustellen (Mäder et al., 1993, Friedel & Gabel, 2001). Die diesem Umstand zu Grunde liegenden Regulationsmechanismen sind daher über lange Zeiträume zu untersuchen. Die bodenbiologischen „Umstellungsphase“ geht daher weit über den gesetzlich vorgeschriebenen Zeitraum hinaus. Die Anwendung Grundwasser- und ressourcenschonender Anbauverfahren ist daher besonders in den ersten Jahren nach der Umstellung auf die ökologische Wirtschaftsweise von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche Vermeidung von N-Verlusten.

4.3 Nachfruchteffekte von Futterleguminosen

Den Untersuchungen zu den Auswirkungen des Futterleguminosen-Anbaus auf die erste und zweite Nachfrucht wurden folgende Hypothesen zugrunde gelegt.

Hypothese 1: Mulchnutzung von Futterleguminosen führt im Vergleich zu Schnittnutzung zu

- höheren Boden-Nitratgehalten
- einer höheren N-Aufnahme durch die Nachfrucht
- und damit zu höheren Biomasseerträgen und Proteingehalten der Nachfrüchte.

In dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung

- zu keinen signifikant erhöhten Boden-Nitratgehalten führte ($P < 0,05$)
- und zu keiner höheren N-Aufnahme durch die Nachfrüchte ($P < 0,05$).
- Die Biomasseerträge und Proteingehalte der Nachfrüchte waren bei Mulchnutzung gegenüber Schnittnutzung nicht erhöht ($P < 0,05$).

Wie in Kapitel 4.1 diskutiert, konnte hinsichtlich des N_{\min} -Gehaltes im Boden durch Mulchnutzung von Futterleguminosen gegenüber Schnittnutzung unter der ersten und zweiten Nachfrucht keine signifikante Erhöhung festgestellt werden.

Des weiteren war auch die N-Aufnahme durch die Nachfrüchte bei Mulchnutzung nicht signifikant erhöht (Abbildung 33, Abbildung 34, Abbildung 37, Abbildung 38). Da auch bei den N_{\min} -Gehalten im Boden zwischen Mulch- und Schnittnutzung keine Unterschiede bestanden, war eine Differenzierung in der N-Aufnahme der Leguminosen-Varianten nicht zu erwarten.

Kornertrag der 1. Nachfrucht Winterweizen

Die Kornerträge der ersten Nachfrucht Winterweizen unterschieden sich nicht zwischen Mulch- und Schnittnutzung (Abbildung 35).

Im **Jahr 2001 auf der Versuchsanlage 1** lagen die Kornerträge der ersten Nachfrucht Winterweizen deutlich unter dem durchschnittlichen Ertragsniveau in Österreich (Tabelle 28). In diesem Jahr waren die N_{\min} -Gehalte bei keiner der Leguminosen-Varianten deutlich höher als die der Referenz-Vorfrüchte. Weiters waren die Niederschläge in den Monaten April bis Juni geringer als im Jahresmittel. Besonders im für die Ertragsbildung wichtigen Monat Mai betrug der Niederschlag nur ein Drittel der üblichen Menge. Eine Ertragslimitierung durch Wassermangel ist anzunehmen.

Auch im **Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2** bestand zwischen Mulch und Schnitt kein signifikanter Unterschied im N_{\min} -Gehalt. Das Ertragsniveau entsprach mit durchschnittlich 4000kg ha^{-1} dem österreichischen Mittel, lag jedoch um ca. 20% unter dem mittleren Ertrag von ökologisch erzeugtem Winterweizen in der Region Marchfeld. Im Jahr 2002 (Versuchsanlage 2) waren die N_{\min} -Gehalte zu Beginn der Vegetationsperiode sehr hoch ($80\text{-}130\text{kg ha}^{-1}$). Eine hohe N-Versorgung im Frühjahr kann zu übermäßig starker Bestockung des Getreides führen. Die langsame Mineralisierung des über die Leguminosen in den Boden eingebrachten Stickstoffs führt meist ab der Blüte des Getreides zu einer N-Unterversorgung des Bestandes. Die unzureichende N-Versorgung während der Kornausbildung und Kornausreife hat dann Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge (Engelke, 1997; Locher, 2002). Auch in der hier vorliegenden Untersuchung waren die N-Mineralisierung (Abbildung 18) und die N_{\min} -Gehalte (Abbildung 8) zum Zeitpunkt der Getreideblüte vor allem in den oberen 60cm des Boden gering. Das Ausbleiben positiver Ertragseffekte durch Mulchnutzung ist daher zum Teil auf eine unausgewogene N-Versorgung zurückzuführen. Ein weiterer Grund für die Ertragseinbußen lag auch in diesem Jahr in der nicht ausreichenden Wasserversorgung des Weizens. Der Vergleich der Wasseranteile im Boden unter der ersten Nachfrucht ergibt für das Jahr 2002 (Versuchsanlage 2) einen um durchschnittlich 25% niedrigeren Bodenwasseranteil als unter der ersten Nachfrucht im Jahr 2001 (Versuchsanlage 1) (Tabelle 24). Trotz der ausreichenden Niederschläge während der Vegetationsperiode konnte daher auch im Jahr 2002 aufgrund der geringen Wasserverfügbarkeit im Boden das Ertragspotential nicht zur Gänze ausgeschöpft werden.

Kornertrag der 2. Nachfrucht Winterroggen

Die Kornerträge der zweiten Nachfrucht Winterroggen unterschieden sich ebenfalls nicht zwischen Mulch- und Schnittnutzung (Abbildung 39).

Im **Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 1** waren die Winterroggenerträge unterdurchschnittlich (Tabelle 28). Die schwache Ertragsausbildung war dabei auf niedrige N_{\min} -Gehalte und niedrige Wasserverfügbarkeit bei allen Leguminosen-Varianten zurückzuführen. Darüber hinaus war im Jahr 2002 bei Winterroggen ein hoher Krankheitsdruck zu verzeichnen. Im Jahr 2002 trat nach einer sehr starken vorwinterlichen Entwicklung des Winterroggens ein beträchtlicher Befall mit Verzweigungsvirus auf. Begünstigt durch die hohen Niederschläge im Frühjahr und Sommer des Jahres 2002 kam es darüber hinaus zu einem Befall mit Mehltau.

Im **Jahr 2003 auf der Versuchsanlage 2** lagen die Erträge bei allen Varianten leicht unter dem regionalen Mittel. In diesem Jahr waren N_{\min} -Gehalte im Boden zu Beginn der Vegetationsperiode sehr hoch ($120\text{-}165\text{kg ha}^{-1}$). Eine Ertragslimitierung durch N- und Wassermangel des Roggens nach einer überdurchschnittlichen Bestandesentwicklung im Frühjahr ist auch in diesem Jahr zu vermuten. Darüber hinaus waren die Niederschläge in der Phase der Bestockung bis zum Ährenschieben und weiters im Juni während der Kornausbildung gering, was zusätzlich einer Ertragsdifferenzierung entgegenwirkte.

Eine positive Ertragsbeeinflussung von Getreidekulturen durch Mulchnutzung von Leguminosen wurde bisher von verschiedenen Untersuchungen bestätigt (Mahler and Hemamda; 1993, Chalk, 1993; Badaruddin and Meyer, 1990). In einer Untersuchung der Auswirkungen von Mulch- und Schnittnutzung von Loges et al. (1999) konnte bei Winterweizen eine Ertragserhöhung bei Mulchnutzung von Klee gras (*Trifolium pratense*) festgestellt werden. Die Ertragserhöhung wird in dieser Studie auf das engere C/N-Verhältnis und eine dadurch höhere Mineralisation von N aus dem Mulch zurückgeführt. Dreyman et al. (2003) stellten bei einem Vergleich verschiedener Klee gras-Produktionssysteme eine signifikante Erhöhung des Ertragsniveaus um durchschnittlich 250 kg ha⁻¹ bei Mulchnutzung und abwechselnder Mulch- und Schnittnutzung im Vergleich zu reiner Schnittnutzung fest. Unter pannonischen Standortbedingungen und in trockenen Jahren bzw. bei einem geringen Bodenwasservorrat ist mit jedoch, wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, mit keinem entsprechenden Effekt zu rechnen.

Die oben angeführten Untersuchungen stammen zumeist aus Gebieten in denen die Wasserversorgung der Nachfrüchte gewöhnlich keinen ertragslimitierenden Faktor darstellt. Bei höheren Bodenwasseranteilen ist mit höheren Mineralisationsraten auch während der Vegetationsperiode und einer damit besseren N-Versorgung des Weizens in der Phase der Kornausbildung und Kornreife zu rechnen. Es ist daher anzunehmen, dass durch Mulchnutzung in niederschlagsreichen Jahren, verbunden mit einem ausreichendem Bodenwasserangebot, auch im pannonischen Raum eine Ertragserhöhung durch Mulchnutzung von Futterleguminosen erzielt werden kann. Eine Luzerne-Gründüngung, angebaut unter pannonischen Klimabedingungen als Untersaat in Gerste, erhöhte den Ertrag von nachfolgendem Sommerweizen um 21% (Dachler und Köchl, 1994). Dachler und Köchl (2003) stellten am selben Standort in nur mit P und K gedüngten Varianten durch einjährige Luzerne in Gründüngungsnutzung im Vergleich zu Getreide (Winterroggen) als Vorfrucht bei nachfolgendem Winterweizen einen Nachfruchteffekt von 30 dt ha⁻¹ Ertragszuwachs fest. Mulchnutzung der Luzerne wurde jedoch in diesen beiden Untersuchungen nicht mit einer Abfuhr des Luzerneaufwuchses verglichen, sodass nicht ableitbar ist, inwieweit dieser in günstigen Jahren festgestellte positive Effekt auf das Mulchen des Aufwuchses zurückzuführen ist und welcher Einfluss der P- und K-Düngung zukommt, die in der Regel im ökologischen Landbau extensiv betrieben wird.

Tabelle 28: Erträge (kg ha⁻¹) der ersten und zweiten Nachfrucht auf den Versuchsanlage 1 (VA1) und 2 (VA 2) und heimische Durchschnittserträge (Ökologische Erzeugung)

	VA 1*	VA 2*	Österreich**	Marchfeld***
Winterweizen	2800	4000	4000	4500
Winterroggen	2400	3000	2900	3300

*Mittelwert aller Varianten **Quelle: LBG, 1999 ***Quelle: Schneider (2001)

Rohproteingehalt der ersten und zweiten Nachfrucht

Im Marchfeld liegen die Rohproteingehalte (RP) bei Winterweizen aufgrund der günstigen Boden- und Klimaverhältnisse über den durchschnittlichen Rohproteingehalten bei Getreide anderer österreichischer Regionen. Die Proteingehalte lagen bei der ersten Nachfrucht Winterweizen meist über dem österreichischen Mittel und bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen im mittleren Bereich der in Österreich üblichen RP-Gehalte (Tabelle 29). Der Einfluss der Wasser- und N-Versorgung in den einzelnen Jahren wurde bereits für die Erträge diskutiert (s.o.). Für die Ausbildung hoher Proteingehalte sind ebenso wie bei der Ertragsbildung die Wasser- und N-Versorgung der Kultur entscheidend. Die hohen Proteingehalte sind zum Teil auf das geringe Ertragsniveau zurückzuführen, da sich in der Phase der Kornausreife bei geringen Ähren- und Kornzahlen der in dieser Phase aufgenommene Stickstoff auf ein geringeres Kornvolumen verteilt.

In dieser Untersuchung konnte durch Mulchnutzung weder bei der ersten noch bei der zweiten Nachfrucht eine Erhöhung des Proteingehaltes erzielt werden (Abbildung 36 und Abbildung 40). Die ertragslimitierende Funktion des Wassermangels im Untersuchungszeitraum und die N-Unterversorgung aufgrund der geringen N-Mineralisation während der Vegetationsperiode spielen für die fehlende Differenzierung der Proteingehalte eine wichtige Rolle. Prinzipiell wurde jedoch bei Mulch- und Schnittnutzung der für die Vermarktung des Winterweizens als Qualitätsweizen nötigen Rohproteingehalt erreicht. Die bereits erwähnte Untersuchung von Dachler und Köchl (2003) ergab unter pannonischen Klimabedingungen in nur mit P und K gedüngten Varianten durch einjährige Luzerne in Gründüngungsnutzung im Vergleich zu Getreide (Winterroggen) als Vorfrucht bei nachfolgendem Winterweizen eine Erhöhung der Proteingehalte von 8,8 % auf 11,7 %. Inwieweit dieser positive Effekt auf das Mulchen des Aufwuchses zurückzuführen ist, lässt sich aus den Ergebnissen jedoch nicht ableiten.

Positive Auswirkungen einer Kombination von Mulchnutzung und Luzerne-Reinsaat auf den Proteingehalt werden unter Hypothese 2 (s.u.) diskutiert.

Ladd et al., (1986) stellten eine Erhöhung der N-Aufnahme der Weizenähren bei Mulchnutzung von Luzerne (*Medicago scutellata*) gegenüber Schnittnutzung fest. In der Untersuchung von Dreymann et al. (2003) konnte im Vergleich zu reiner Schnittnutzung bei Mulch- und kombinierter Mulch/Schnittnutzung eine Erhöhung des Korn-N-Entzuges festgestellt werden. In der Studie von Loges et al. (1999) war bei einer Untersuchung von drei verschiedenen Futterleguminosenarten (Rotklee, Weißklee, Luzerne) keine Erhöhung des Rohproteingehaltes durch Mulchnutzung feststellbar. Weiters wurde bei keiner der Varianten Backweizenqualität erreicht. Das Ertragsniveau in der Studie von Dreymann et al. (2003) lag bei den Mulchvarianten bei rund 5200kg ha⁻¹ und in der Studie von Loges et al. (1999) ca. 6000kg ha⁻¹. Das Fehlen einer Erhöhung des Proteingehaltes bei dem höheren Ertragsniveau in der Studie von Loges ist ein Hinweis auf einen Verdünnungseffekt des Proteins im Korn bei hohen Erträgen. Beide Studien stammen aus einem Gebiet mit hohen Niederschlägen. Wie bereits zu den Erträgen diskutiert wurde, ist daher zu vermuten, dass eine Erhöhung des Proteingehaltes nur bei ausreichender Wasserversorgung der Kulturen zu erreichen ist.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass eine Erhöhung des Proteingehaltes durch Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung unter trockenen Bedingungen nicht zu erwarten ist.

Tabelle 29: Rohproteingehalte (%) der ersten und zweiten Nachfrucht auf den Versuchsanlagen 1 (VA1) und 2 (VA 2) und heimische Durchschnittserträge (Ökologische Erzeugung)

	VA 1*	VA 2*	Österreich**	Marchfeld
Winterweizen	11,2 - 14,5	12,2 - 15,0	12,9	-
Winterroggen	9,3 - 10,0	9,1 - 10,1	8,5 - 11,5	-

*Mittelwert aller Varianten **Quelle: Österr. beschreibende Sortenliste, 2002

Hypothese 2: Der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern führt im Vergleich zum Anbau von Leguminosen-Reinbeständen für die Nachfrüchte

- zu einem geringeren Stickstoff-Angebot im Boden und daher zu einer geringeren N-Verfügbarkeit.
- Die N-Aufnahme durch die Nachfrüchte ist daher geringer, und
- die Biomasseerträge und Proteingehalte der Nachfrüchte sind niedriger als bei einem Anbau von Futterleguminosen in Reinsaat.

In dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass der Anbau von Futterleguminosen im Gemenge mit Gräsern im Vergleich zu Leguminosen Reinsaat zu

- keinen geringeren Boden-Nitratgehalten führte ($P < 0,05$)
- und die N-Aufnahme durch die Nachfrüchte nicht geringer war ($P < 0,05$).
- Die Biomasseerträge der Nachfrüchte waren nach Leguminosen-Gräser-Gemenge nicht geringer als nach Leguminosen-Reinsaat ($P < 0,05$).

Bei Mulchnutzung konnte bei der ersten Nachfrucht eine Verringerung des Proteingehaltes durch Leguminosen-Gräser-Gemenge gegenüber Leguminosen-Reinsaat festgestellt werden ($P < 0,05$).

Kornertrag der ersten und zweiten Nachfrucht

Bei dem Vergleich der Auswirkung der Artenzusammensetzung der Futterleguminosen-Bestände konnten bei den N_{\min} -gehalten bei der ersten und zweiten Nachfrucht zwischen den Leguminosen-Varianten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Hinsichtlich der N-Aufnahme bestand im Jahr 2002 bei der ersten Nachfrucht Winterweizen bei Mulchnutzung eine Verringerung bei der Variante Luzerne-Gräser-Gemenge gegen über der Variante Luzerne-Reinsaat. Bei den Erträgen der ersten und zweiten Nachfrucht waren jedoch in keinem der Versuchsjahre Unterschiede zwischen den Leguminosen-Varianten feststellbar. Der Einfluss der einzelnen Untersuchungsjahre wurde bereits weiter oben zur Arbeitshypothese 1 (Mulch/Schnitt) diskutiert. In der Literatur beobachtete Ertragseffekte der Artenzusammensetzung werden im Zusammenhang mit den Proteingehalten (s.u.) diskutiert.

Rohproteingehalt der ersten und zweiten Nachfrucht

Ein Einfluss der Artenzusammensetzung der Futterleguminosen auf den Proteingehalt konnte in dieser Untersuchung nur bei der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 festgestellt werden. Auf diesem Standort waren im Jahr 2002 die N_{\min} -Gehalte nach gemulchtem Luzerne-Gräser-Gemenge tendenziell niedriger als nach gemulchten Luzerne-Reinsaat-Beständen (Abbildung 8). Weiters konnte in diesem Jahr bei Winterweizen eine signifikant verringerte N-Aufnahme bei Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch) im Vergleich zu Luzerne-Reinsaat (Mulch) festgestellt werden (Abbildung 34). Die Verringerung der N-Aufnahme bei der gemulchten Gräser-Gemenge-Variante gegenüber Reinsaat war dabei erst zum Zeitpunkt der Ernte feststellbar. Zum Ährenschieben war dieser Unterschied noch nicht vorhanden. Die erhöhte N-Aufnahme hatte daher zwischen der Blüte und der Reife des Weizens stattgefunden. In diesem Zeitraum war die Netto-N-Mineralisation bei der Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) im Vergleich zu allen anderen Leguminosen-Varianten tendenziell erhöht (Abbildung 18). Der im Vergleich zur der gemulchten Gräser-Gemenge-Variante erhöhte Proteingehalt ist daher als eine Folge des höheren N-Mineralisationsvermögens der Luzerne-Reinsaat (Mulch) Variante in der Periode ab der Getreideblüte zu sehen. In der für die Ausbildung höherer Proteingehalte wichtigen Phase der Kornreife führte daher die höhere N-Mineralisation bei der gemulchten Luzerne-Reinsaat Variante (möglicherweise induziert durch hohe Niederschläge Anfang Juni 2002) zu höheren N-Aufnahmen und daher höheren Proteingehalten.

Bei der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2001 (Versuchsanlage 1) und bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen in den Untersuchungsjahren 2002 und 2003 (Versuchsanlage 1 u. 2) bestanden keine Unterschiede im Rohproteingehalt. Die im Unterkapitel Mulch/Schnitt diskutierten Einflüsse von Bodenwasservorrat und N-Versorgung gelten auch für den Vergleich Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge.

Zu den Auswirkungen auf die Nachfrüchte von Leguminosen-Reinsaat und Leguminosen-Gräser-Gemenge liegen bislang wenige Ergebnisse vor. In der Untersuchung von Loges et al. (1999) konnte im ersten von zwei Versuchen durch Variation des Leguminosen-Gräser-Verhältnisses (100% 67% und 33% Leguminosen) bei keiner der untersuchten Leguminosenarten (Rotklee, Weißklee, Luzerne) eine Erhöhung des Ertrages oder des Proteingehaltes festgestellt werden. In einem zweiten Versuch führte der Anbau von Rotklee in Reinsaat bei Mulchnutzung zu einer signifikanten Erhöhung des Kornertrages und des Proteingehaltes. Das Auftreten des Effektes bei der zweiten Untersuchung war dabei auf einen höheren N-Eintrag durch die Klee-Reinsaat im Vergleich zu den Gemenge-Varianten zurückzuführen. Kaske (2000) stellte höhere Weizenerträge sowie höhere Proteingehalte nach Leguminosenreinsaaten als nach Mischbeständen fest. Dies begründete er mit höheren N-Konzentrationen in den Rückständen der Leguminosenreinsaaten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der den Anbau von Leguminosen-Gräser-Gemengen bei Mulchnutzung bei der ersten Nachfrucht zu einer im Vergleich zu Leguminosen-Reinbeständen geringeren N-Verfügbarkeit und daher zu niedrigeren Proteingehalten führen kann. Der Effekt tritt jedoch nur bei hoher Mineralisation von N aus den Leguminosen-Residuen auf.

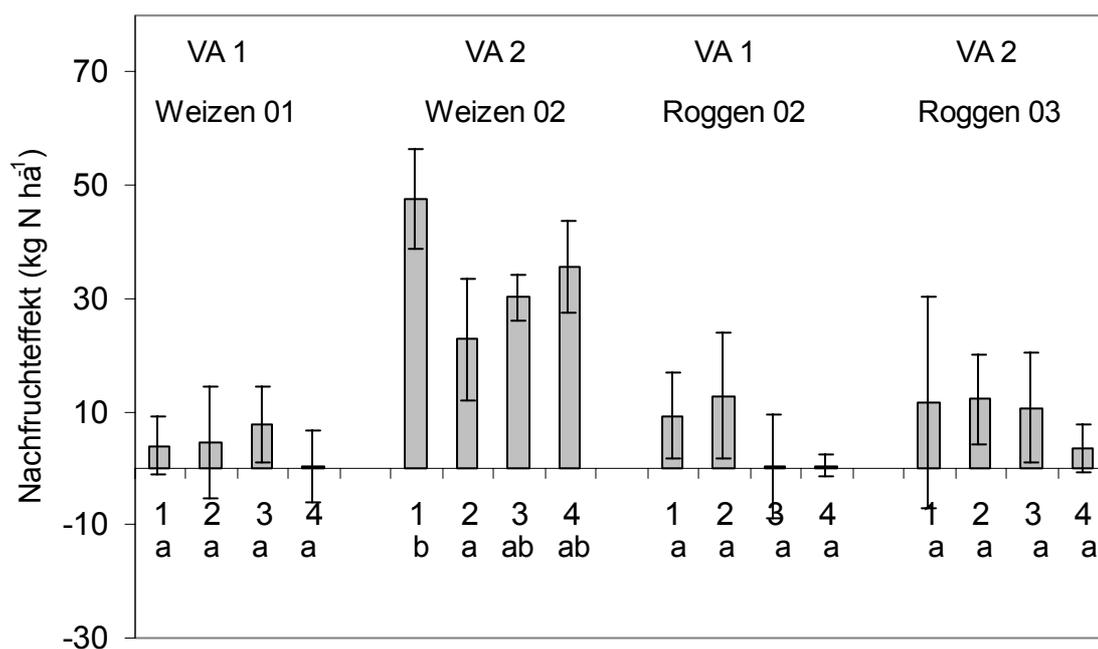
Gesamt-N-Nachfruchteffekt und N-Nutzungseffizienz der Futterleguminosen

Im **Gesamt-N-Nachfruchteffekt** wird zum Zeitpunkt der Ernte der N-Ertrag der Nachfrüchte (Korn, Wurzel und Stroh) bei Leguminosen-Vorfrüchten dem N-Ertrag der Nachfrüchte bei Nicht-Leguminosen-Vorfrüchten gegenübergestellt (Abbildung 41).

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte nur bei der ersten Nachfrucht Winterweizen auf der Versuchsanlage 2 (VA 2) im Jahr 2002 ein deutlicher positiver Nachfruchteffekt der Futterleguminosen festgestellt werden. Der höchste N-Nachfrucht-Effekt wurde dabei bei der Variante Luzerne-Reinsaat (Mulch) erreicht.

Das Nutzungssystem der Futterleguminosen hatte keinen signifikanten Effekt auf den N-Nachfruchteffekt. Nach Mulchnutzung wurde bei der ersten und zweiten Nachfrucht nicht mehr N aufgenommen als bei Schnittnutzung.

In Bezug auf die Artenzusammensetzung war festzustellen, dass bei der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 bei Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern der Gesamt-Nachfruchteffekt im Vergleich zu den Leguminosen-Reinsaat Varianten signifikant verringert war. Dieser Effekt trat, wie bereits beim N_{\min} -Gehalt im Boden und dem Rohproteingehalt festgestellt wurde, nur bei den mulchgenutzten Varianten auf.



Legende 1 Luzerne-Reinsaat (Mulch), 2 Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch), 3 Luzerne-Reinsaat (Schnitt), 4 Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)
Mittelwerte eines Zeitpunktes mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abbildung 41: Gesamter N-Nachfruchteffekt von Futterleguminosen im Vergleich zu nonlegumem Vorfrüchten bei Winterweizen und Winterroggen

Die **N-Nutzungseffizienz** ist wie folgt charakterisiert:

Vom N-Ertrag der Nachfrucht nach den Futterleguminosen-Varianten wird der N-Ertrag in der Nachfrucht nach den Referenz-Varianten abgezogen. Die resultierende N-Menge stellt die Menge an durch die Nachfrucht aufgenommenem Leguminosen-N dar. Die nach den Leguminosen-Varianten durch die Nachfrucht zusätzlich aufgenommene N-Menge wird dann in Bezug zur gesamten über die Leguminosen-Residuen in den Boden eingebrachten N-Menge gesetzt:

$$\frac{(\text{N-Ertrag Nachfrucht}_{(\text{Leg})} - \text{N-Ertrag Nachfrucht}_{(\text{Ref})})}{\text{N-Eintrag Vorfrucht}_{(\text{Leg})}}$$

Die Angabe erfolgt in Prozent der in den Boden eingebrachten Leguminosen-N-Menge.

In dieser Untersuchung betrug die N-Nutzungseffizienz bei der ersten Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2001 auf der Versuchshälfte 1 zwischen 0 und 12% und im Jahr 2002 auf der Versuchsanlage 2 zwischen 6 und 56%. Bei der zweiten Nachfrucht Winterroggen lag die N-Nutzungseffizienz zwischen 0 und 20% (Tabelle 30).

In verschiedenen Untersuchungen zum Verbleib des Leguminosen-Stickstoffs mittels ^{15}N -Methode betrug die Wiederfindungsrate des durch die Leguminosen in den Boden eingebrachten Stickstoffs in der ersten Nachfrucht zwischen 2 und 37% (Ladd et al., 1981; Ladd & Amato, 1986; Ladd et al., 1983; Harris & Hesterman, 1990; McNeill et al., 1998; Kumar et al., 2001). In der zweiten Nachfrucht wurden zwischen 1 und 8% des Leguminosen-Stickstoffs wiedergefunden (Ladd & Amato, 1986; Ladd et al., 1983, Kumar et al., 2001; Harris & Hesterman, 1990).

Die hohen Wiederfindungsraten bei der Variante Luzerne-Reinsaat (Schnitt) in den Jahren 2002 und 2003 auf der Versuchsanlage 2 sind in der Literatur nicht belegt. Es ist daher anzunehmen, dass die in den Boden eingebrachte N-Menge bei dieser Variante unterschätzt wurde. Der N-Eintrag lag bei dieser Variante mit 54 kg N ha^{-1} weit unter den Werten der Vergleichsvariante Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt) (100 kg N ha^{-1}) sowie unter den entsprechenden Werten auf der Versuchsanlage 1 ($123\text{-}127\text{ kg N ha}^{-1}$) (Tabelle 22 und Tabelle 23).

Im Anbetracht der hohen N-Mengen, die über die gemulchten Leguminosen-Residuen in den Boden eingebracht wurden, war die N-Nutzungseffizienz bei der ersten Nachfrucht bei Mulchnutzung in der hier vorliegenden Untersuchung sehr gering. Zum Vergleich: der Anteil von Mineralstickstoff am N-Gehalt der Folgefrucht beträgt meist zwischen 45-80% (Ladd & Amato, 1986, Haynes, 1999). Die Wiederfindungsrate des N aus den Leguminosen-Residuen hängt stark vom C/N-Verhältnis der Residuen ab (Ladd & Amato, 1986, Kumar et al., 2001). In der hier vorliegenden Studie konnte bei Mulch- im Vergleich zu Schnittnutzung keine höhere N-Wiederfindungsrate durch die größeren Menge an in den Boden eingebrachten Leguminosen-Residuen mit hohen N-Gehalten (ein hoher N-Gehalt entspricht einem engen C/N-Verhältnis) festgestellt werden (Tabelle 22 und Tabelle 23). Vergleicht man die Artenzusammensetzung, so zeigt sich dass die Leguminosen-Gräser-Gemenge-Varianten aufgrund ihres weiteren C/N-Verhältnisses auch geringere N-Wiederfindungsraten aufwiesen. In Anbetracht der geringen N-Wiederfindungsraten bei Mulchnutzung im Vergleich zu den schnittgenutzten Varianten ist zu vermuten, dass der N aus dem Mulch-Material zum einem großen Anteil in die organische Substanz im Boden eingebaut wird, bzw. gasförmig Verluste aus dem Mulch auftreten. Um die Umbauprozesse von Mulch im Boden und das N-Verlustpotential über die Atmosphäre unter den Bedingungen des pannonischen Raumes besser einschätzen zu können, wären daher entsprechende Untersuchungen notwendig.

Tabelle 30: N-Nutzungseffizienz: Wiederfindungsrate (%) des über die Leguminosen in den Boden eingebrachten Stickstoffs im N-Ertrag (N-Menge in Korn, Stroh und Wurzel) der ersten Nachfrucht Winterweizen und zweiten Nachfrucht Winterroggen

	Weizen	Weizen	Roggen	Roggen
	VA 1 2001	VA 2 2002	VA 1 2002	VA 2 2003
Luzerne Reinsaat (Mulch)	1	12	2	3
Luzerne-Gräser-Gemenge (Mulch)	NA	6	NA	3
Luzerne Reinsaat (Schnitt)	12	56	0	20
Luzerne-Gräser-Gemenge (Schnitt)	0	36	0	3

Zusammenfassend kann zu den Nachfruchteffekten von Futterleguminosen auf Getreide-Nachfrüchte gesagt werden, dass weder das Nutzungssystem noch die Gemenge-Zusammensetzung eine Erhöhung des Getreideertrages bewirkten. Der Anbau von Futterleguminosen führte sowohl bei Mulch- als auch bei Schnittnutzung unabhängig von der Gemenge-Zusammensetzung zu Proteingehalten über 12%. Die für die Vermarktung entscheidende Backweizenqualität für Winterweizen wurde daher unabhängig von Nutzungssystem und Artenzusammensetzung erreicht. Bei gemulchten Luzerne-Reinbeständen lagen die Proteingehalte mit 15% auf einem sehr hohen Niveau. Die Ertragsbildung und die Proteingehalte waren stark von der Stickstoff- und Wasserversorgung der Kulturen während der Vegetationsperiode geprägt. Eine weitere Ausdifferenzierung des Einflusses der Leguminosen-Vorfrüchte hinsichtlich des Nutzungssystems und der Gemenge-Zusammensetzung auf die Ertragsentwicklung kann daher für niederschlagsreiche Jahre nicht ausgeschlossen werden. Um diesen Zusammenhang zu klären, sind weitere Untersuchungen mit einem größeren Spektrum an Witterungsszenarien erforderlich. Wie bereits zur Stickstoffverlagerung diskutiert, ist auch im Zusammenhang mit den Nachfruchteffekten eine

Änderung der Ausprägungen der Nachfrucht-Effekte von Leguminosen bei länger andauernder ökologischer Bewirtschaftung der Flächen zu erwarten. Ein langfristiges Monitoring des Stickstoff- und Wasserhaushaltes bei ökologischer Wirtschaftsweise unter den spezifischen Bedingungen des pannonischen Trockenraumes ist daher als sinnvoll anzusehen.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Unter den Bedingungen der vorliegenden Untersuchung, d.h. überwiegend trockene Witterungsbedingungen, konnte hinsichtlich der Arbeitshypothesen folgendes festgestellt werden.

Arbeitshypothese I zum Vergleich der Produktionssysteme von Futterleguminosen

Mulchnutzung von Futterleguminosen führte im Vergleich zu Schnittnutzung unabhängig von der Artenzusammensetzung (Leguminose in Reinsaat oder Leguminosen-Gräser-Gemenge) zu

- keinen höheren Boden-Nitratgehalten und
- keiner höheren N-Aufnahme durch die Nachfrucht
- und damit zu keinen höheren Biomasseerträgen und Proteingehalten der Hauptfrucht.

Mulchnutzung von Futterleguminosen führte weiters zu

- keinen höheren Boden-Nitratgehalten
- keinem größeren Pool an Stickstoff in Form von labilen organischen N-Verbindungen
- und daher zu keinem erhöhten Nitrat-Auswaschungspotential.

Arbeitshypothese II zum Vergleich der Artenzusammensetzungen von Futterleguminosen

Nach Leguminosen-Gräser-Gemengen waren im Vergleich zu reinen Leguminosen-Beständen

- das Stickstoff-Angebot im Boden und die Stickstoff-Verfügbarkeit für die nachfolgende Hauptfrucht nicht geringer
- die N-Aufnahme der Hauptfrucht i.A. nicht geringer, und
- die Biomasseerträge und Proteingehalte der ersten und zweiten Hauptfrucht i.A. nicht niedriger.
- Tendenziell geringere Boden-Nitratgehalte nach Leguminosen-Gräser-Gemenge wurden nur in einem Jahr der Untersuchung (2001/02, Versuchsanlage 2) bei Mulchnutzung unter der ersten Nachfrucht Winterweizen festgestellt. In der Folge waren bei dieser Variante die N-Aufnahme durch die Nachfrucht und die Rohproteingehalte im Korn signifikant verringert ($P < 0,05$).

Des weiteren wurde festgestellt, dass der Anbau von Leguminosen im Gemenge mit Gräsern trotz eines weiteren C/N-Verhältnisses der auf der Fläche verbleibenden Biomasse im Vergleich zu reinen Leguminosen-Beständen

- nicht zu niedrigeren Stickstoff-Mineralisationsraten der Ernte- und Wurzelrückstände, sowie des Mulch-Materials führte
- die N-Verfügbarkeit im Boden nicht geringer war
- und daher keine Verringerung des Nitrat-Auswaschungspotentials erreicht werden konnte.

Die fehlende Ertragsdifferenzierung von Getreide nach den Futterleguminosen wird wie folgt begründet:

Geringer Biomasse-Ertrag der Luzerne-(Gräser)-Gemenge

Die unter den trockenen Bedingungen vergleichsweise eher geringen Erträge der Luzernebestände können als ein Grund angeführt werden, dass die verschiedenen Vorfruchtvarianten (Referenzfrucht, Luzerne und deren Nutzungsformen) zu keinen gesicherten Ertragsdifferenzierungen der Folgefrüchte beigetragen haben.

Geringe N-Nutzungseffizienz des Mulchstickstoffs

Als eine Ursache für die im Vergleich zu Schnittnutzung geringe N-Nutzungseffizienz des bei Mulchnutzung in den Boden eingebrachten Stickstoffs wird angenommen, dass gasförmige N-Verluste (Ammoniakentgasung, Denitrifikation) aus dem Mulch-Material entweder vor oder nach der Einarbeitung der Mulchdecke in den Boden auftraten. Die großen über das Mulch-Material in den Boden eingebrachten Mengen an organischem C und N begünstigen bei feuchter Witterung N-Verluste durch Denitrifikation. Des weiteren wird angenommen, dass ein großer Anteil der in den Boden eingebrachten N-Menge in die organische Substanz des Bodens eingebaut wird und somit der Nachfrucht nicht unmittelbar zur Verfügung steht.

Schlechtere Wasserversorgung des Getreides nach Luzerne

Der Anbau von Luzerne führte in trockenen Jahren und bei spätem Umbruch (September) zu geringeren Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden im Vergleich zu den Referenzfrüchten, was vor allem bei der ersten Nachfrucht den Ertrag limitierte.

Geringe N-Mineralisation während der Vegetationsperiode der Nachfrüchte

Aufgrund der Bodentrockenheit kam es während der Vegetationsperiode nur zu geringer N-Mineralisation aus den Luzernerückständen und der organischen Bodensubstanz. Nach einer guten N-Versorgung des Getreides durch hohe N_{\min} -Gehalte nach dem Winter trat daher in der für die Ertragsbildung entscheidenden Phase der Kornausbildung und Kornreife neben der Wasserknappheit eine N-Knappheit ein.

Empfehlungen für die Praxis

Unterschiedliche Witterungsbedingungen während dem Anbau von Luzerne-(Gräser)-Gemengen und den nachfolgenden Kulturen haben Auswirkungen auf wesentliche Eigenschaften des Bodenwasser- und Bodenstickstoffhaushalts (Tabelle 31). Diese beeinflussen wiederum die pflanzenbaulichen Wirkungen einer Mulch- oder Schnittnutzung von Luzerne-(Gräser)-Gemengen auf den Ertrag und die Qualität der nachfolgenden Kulturen.

Tabelle 31: Auswirkungen der Witterungsbedingungen während und nach der Luzernevorfrucht auf Bodenwasser- und –stickstoffhaushalt unter pannonischen Standortbedingungen

Eigenschaft	Trockene Witterung	Feuchte Witterung
Bodenfeuchte	-	+
Sickerungsrate	- bis o ^{&#}	o bis + ^{&#}
Wasserverfügbarkeit für Nachfrüchte	- bis o ^{&}	o bis + ^{&}
Trockenmasse- und N-Ertrag der Luzerne-Vorfrucht	-	+
Abbau der Luzerne-Biomasse, N-Freisetzung	- bis o ^{&}	o bis + ^{&}
N-Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz	- bis o ^{&}	o bis + ^{&}
N _{min} -Gehalte im Boden und N-Verfügbarkeit für die Nachfrüchte	- bis o ^{&}	o bis + ^{&}
Gasförmige N-Verluste aus der Luzerne-Biomasse	- bis o ^{&}	o bis + ^{&}
Nitratauswaschungsrisiko	- bis o ^{&#}	o bis + ^{&#}

-: niedrig; o: mittel; +: hoch; &: abhängig von den Witterungsbedingungen nach dem Luzerne-
umbruch; #: abhängig von Gründigkeit und Textur des Standorts.

Da nicht nur die Witterungsbedingungen während dem Luzerneanbau, sondern auch nach deren Umbruchtermin sowie der Wasserhaushalt während der Folgekultur von Bedeutung sind, sind die unterschiedlichsten Situationen bezüglich der Wasserversorgung und Stickstoffdynamik im Boden denkbar. Die folgenden Empfehlungen können daher eine detaillierte Analyse vor Ort im jeweiligen Anbausystem nicht ersetzen. Während die Nutzungsempfehlungen für trockene Witterungsbedingungen aus den hier vorliegenden Untersuchungen stammen, sind diejenigen für feuchte Witterungsbedingungen aus der Literatur und aus Analogieschlüssen abgeleitet.

Nutzungsempfehlungen für trockene Witterungsbedingungen:

Selbst bei geringen Niederschlägen während des Winterhalbjahres ist mit einer ausreichenden Mineralisierung von N aus den Luzernerresiduen und der organischen Bodensubstanz zu rechnen, um die N-Versorgung der Nachfrucht während der Bestockung zu gewährleisten. Im Zuge des weiteren Wachstumsverlaufes kommt es jedoch, vor allem bei gleichzeitig geringer Auffüllung des Bodenwasservorrates während der Wintermonate, zu einer N-Unterversorgung aufgrund der bei niedrigen Bodenwassergehalten geringen N-Mineralisation. Da die Wasserversorgung der Nachfrucht in trockenen Jahren einen stärker limitierenden Faktor als die N-Versorgung darstellt, ist ein frühzeitiger Umbruch der Luzerne-Vorfrüchte zur Schonung des Bodenwasservorrats als sinnvoll anzusehen. Der Umbruch kann dabei bereits im Juli nach der 2. Nutzung der Luzerne erfolgen, da die Luzerne zu diesem Zeitpunkt bereits 70-80% des Trockenmasseertrages erbracht hat. Die Belastung des Bodenwasservorrates vor allem in tieferen Bodenschichten kann dadurch verringert werden, was im darauffolgenden Jahr bei der Nachfrucht zu einer entsprechend besseren Wasserversorgung beiträgt.

Mulchnutzung kann bei trockenen Bedingungen gegenüber Schnittnutzung den Wasserverbrauch geringfügig mindern (Pietsch, 2004; erste Beobachtungen). Die Auswirkungen auf die Folgekultur (Kornertrag und Protein) sind jedoch entsprechend gering. Indem die Pflanzenbiomasse und damit der Stickstoff auf dem Schlag verbleibt, wird organische Substanz und ein Vorrat an mineralisierbarem, organischen N im Boden aufgebaut. Das Auswaschungsrisiko nimmt bei geringen Sickerungsraten und der durch die trockene Witterung vergleichsweise geringen Produktion an Pflanzenbiomasse ab. Gespeicherter Stickstoff wird demnach für später folgende Kulturen bevorratet.

Die Nutzung eines Schnittes zur Düngung der Nachfrüchte in Form von Kompost oder Biogasgülle, kann die N-Versorgungslücke nach dem Schossen der Getreidebestände füllen und damit die kurzfristige Nutzungseffizienz des Luzernestickstoffs erhöhen. Das Schnittgut kann direkt, nach Kompostieren mit Stroh oder nach Durchlaufen eines Biogasprozesses gezielt in Getreidenachfrüchte ausgebracht werden. Zur Düngung von Luzerne-Schnittgut liegen derzeit jedoch noch keine aussagekräftigen, für die spezifischen Bedingungen des Pannonikums geeigneten Forschungsergebnisse vor. Es können daher auch keine detaillierten Empfehlungen bezüglich der Ertragswirksamkeit des Verfahrens und dessen Wirtschaftlichkeit ausgesprochen werden.

Unter trockenen Bedingungen sind nach derzeitigen Kenntnissen in bezug auf die Ertragswirksamkeit als Vorfrucht von Getreide, die Luzerne-Gräser-Gemenge mit geringem Gräseranteil (ca. 20 %) als gleichwertig mit einem Luzernereinbestand zu bewerten. Aufgrund der unter feuchteren Bedingungen zu erwartenden positiven Auswirkungen des Gräseranteils (s.u.), wird das Luzerne-Gräser-Gemenge insgesamt als vorteilhaft betrachtet.

Nutzungsempfehlungen für feuchte Witterungsbedingungen:

In Jahren mit feuchter Witterung während der Luzernevorfrucht wird der Bodenwasservorrat weniger beansprucht. Eine Ertragslimitierung bei der Nachfrucht durch Wassermangel ist weniger wahrscheinlich. Der Stickstoffertrag der Luzernevorfrucht übersteigt deutlich den Bedarf der ersten Nachfrucht. Bei feuchten Bedingungen ist mit einer höheren N-Mineralisation aus der organischen Bodensubstanz bei Mulchnutzung im Vergleich zur Schnittnutzung zu rechnen. Zum Zeitpunkt der Bestockung ist auch bei Schnittnutzung mit einer ausreichenden N-Versorgung der Kulturen zu rechnen.

Das Hauptaugenmerk bei der Bewirtschaftung liegt daher in feuchten Jahren auf der Vermeidung von N-Verlusten. Der Umbruchzeitpunkt sollte möglichst spät, d.h. bei Winterweizen als Folgefrucht Mitte September, gewählt werden, um die N-Mineralisierung vor Winter zu vermindern. Alternativ kommt ein früher Luzerneumbruch mit Anbau einer nicht-legumen Zwischenfrucht in Frage. Auf flachgründigen Standorten ist ein Umbruch der Luzerne erst im oder nach Winter mit Anbau einer Sommerung, wie z. B. Körnermais, als Nachfrucht empfehlenswert.

Bei Mulchnutzung kann es, im Vergleich zu trockenen Jahren, zu erhöhten gasförmigen N-Verlusten v.a. in Form von Ammoniak aus dem auf dem Boden aufliegenden Mulch-Material kommen. Des Weiteren sind bei hohen Bodenwassergehalten nahe der Feldkapazität nach der Einarbeitung von großen Mengen organischer Substanz höhere N-Verluste durch Denitrifikation zu erwarten. Höhere Bodenfeuchte erhöht die Sickerung sowie die N-Mineralisation aus dem Mulch und der organischen Bodensubstanz. Dadurch erhöhen sich die Nitratgehalte im Boden sowie die Nitratwaschungsgefahr. Schnittnutzung ist daher in feuchten Jahren der Mulchnutzung von Luzerne vorzuziehen. Auch in niederschlagsreichen Jahren empfiehlt sich das Abführen des Schnittgutes von der Fläche und eine bedarfsorientierte Anwendung als Dünger zu den Folgefrüchten während der Vegetationsperiode.

Es ist zu erwarten, dass sich unter feuchteren Bedingungen ein Luzerne-Gräser-Gemenge mit einem Gräseranteil von ca. 20 % vorteilhaft auswirkt. Einerseits wird durch den geringen Gräseranteil die Luftstickstoff-Fixierungsleistung der Luzerne nicht beeinträchtigt, andererseits wird der geringere Stickstoffgehalt der Gräser die N-Freisetzung aus den eingearbeiteten Pflanzenrückständen verlangsamen. Dies reduziert das Risiko von N-Verlusten und kann die Synchronisierung von N-Angebot und N-Bedarf der Nachfrucht verbessern. Inwieweit ein höherer Gräseranteil im Luzerne-Gemenge sinnvoll ist, kann aufgrund fehlender Untersuchungen nicht beantwortet werden.

6 Ausblick

Die hier vorliegende Untersuchung zeigte auf, dass im Hinblick auf eine optimale Nutzung der Futterleguminosen als Stickstoffquelle für die Nachfrucht in einigen Punkten noch Klärungsbedarf besteht.

Prozessverständnis der N-Dynamik im Boden:

1. In welchem Ausmaß, in welcher Zusammensetzung und unter welchen Voraussetzungen treten bei Mulchnutzung gasförmige N-Verluste aus den auf der Bodenoberfläche aufliegenden Leguminosen-Residuen auf?
2. Welche Rolle spielt Denitrifikation als möglicher Verlustpfad für N nach dem Umbruch von Futterleguminosen-Beständen?
3. Welche Bedeutung hat Rhizodeposition von Futterleguminosen für den Stickstoffhaushalt des Bodens und die N-Verfügbarkeit der Nachfrüchte?
4. Wie wird Leguminosen-Stickstoff durch die Bodenmikroorganismen und die Nachfrucht verwertet und in welchem Ausmaß bzw. wie lange wird der Leguminosen-Stickstoff in der organischen Substanz im Boden gespeichert?
5. Wie verlaufen die in dieser Untersuchung beobachteten Prozesse in Jahren mit überdurchschnittlichen Niederschlägen?

Nutzungseffizienz des Leguminosen-Stickstoffs durch die Nachfrucht:

1. Wie kann durch Abfahren des Schnittgutes, nach entsprechender Verarbeitung (z.B. Biogasproduktion durch anaerobe Fermentation, Kompostierung), eine effizientere Nutzung des Schnittgutes in Form einer zeitlich flexiblen und daher bedarfsgerechten Düngung erreicht werden?
 - a. Welche Verfahren sind möglich?
 - b. Wie können die Nachfruchteffekte optimiert werden?
 - c. Wie ist die Wirtschaftlichkeit derartiger Verfahren?
 - d. Welchen Einfluss haben derartige Verfahren auf umweltrelevante N-Verluste?
2. Welchen Einfluss haben der Umbruchzeitpunkt von Luzernebeständen und der Anbau von Zwischenfrüchten auf den Stickstoff- und Wasserhaushalt des Bodens, sowie auf den Ertrag und die Qualität der Nachfrucht unter pannonischen Standortbedingungen?

Nitratauswaschungsrisiko:

1. Wie hoch ist das Nitratauswaschungsrisiko in Perioden mit länger andauernden überdurchschnittlichen Niederschlägen?
2. Wie hoch ist das Nitratauswaschungsrisiko auf flachgründigen Standorten?
3. Welchen Einfluss haben zunehmende Anteile an Gräsern auf den Stickstofftrag und das Nitratauswaschungsrisiko?

In Untersuchungen zur Nitratverlagerung ist die Erfassung der Wasserhaushalts- und Stickstoffdynamik auch auf tiefgründigen Standorten bis zur Schotteroberkante auszudehnen.

Zu untersuchen wäre auch, wie sich auf länger ökologisch bewirtschafteten Flächen eine fortgesetzte, wiederholte Nutzungsdifferenzierung nach mehreren Fruchtfolgedurchläufen auf den Bodenstickstoffhaushalt und die N-Versorgung der Nachfrüchte auswirkt.

7 Zusammenfassung

Im niederschlagsarmen Ackerbaugebiet Ostösterreichs dominiert auch im Ökologischen Landbau die viehlose Bewirtschaftungsform. Aufgrund des Verbotes von mineralischen Düngemitteln sowie der Zufuhrbeschränkung organischer Düngemittel muss der Stickstoffbedarf über den Einsatz von Futter- und Körnerleguminosen in der Fruchtfolge gedeckt werden. Die Nutzung von Futterleguminosen erfolgt überwiegend als Grünbrache (Mulchnutzung), wobei Luzerne als Reinsaat oder als Luzerne-Gräser-Gemenge angebaut wird. Über die Auswirkungen verschiedener Nutzungssysteme, Pflanzenarten und Artengemenge auf Bodenprozesse und die Nachfrüchte ist bisher wenig bekannt. Unter den spezifischen pannonischen Klimabedingungen (Niederschläge von 500-550 mm im Jahr und Dürreperioden von 3-6 Wochen) wurden folgende Themen untersucht: Auswirkungen von verschiedenen Nutzungssystemen (Schnitt und Mulch), sowie Luzerne-Reinsaat und Luzerne-Gräser-Gemenge auf die Stickstoff- und Wasserdynamik im Boden sowie auf Ertrag und Qualität von Getreide-Nachfrüchten. Ziel dieser Untersuchung war daher die Entwicklung von an den Standort angepassten Nutzungssystemen und Artengemengen von Futterleguminosen zur Optimierung von Ertrag und Qualität von Getreide-Nachfrüchten bei gleichzeitiger Minimierung des Nitrat-Auswaschungsrisikos.

Die Untersuchung wurde auf den seit 1997 nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschafteten Flächen des Institutes in Raasdorf bei Wien durchgeführt. Als Vorfrucht wurde Luzerne als Reinsaat und in Form eines Luzerne-Gräser-Gemenges (80% : 20% Flächenanteil in der Aussaatmischung) jeweils in zwei Nutzungssystemen (Mulch und Schnitt) angebaut. Als Referenz-Vorfrüchte dienten ein Gräser-Gemenge und Winterroggen. Nach Umbruch der verschiedenen Varianten wurde Winterweizen und im darauf folgenden Jahr Winterroggen angebaut. Untersucht wurden der Bodenwasserhaushalt, die Mineralstickstoffgehalte (N_{\min}) im Boden sowie der Ertrag und Proteingehalt der Getreide-Nachfrüchte. Zusätzlich waren in 120 cm Bodentiefe Saugkerzen installiert, mittels derer Bodenwasserproben zur Untersuchung auf Nitrat gewonnen wurden. Die Sickerungsrate wurde mittels Bodenwasserbilanz ermittelt. Der gleiche Versuch wurde in zwei aufeinander folgenden Jahren angelegt und durchgeführt.

Bei Mulchnutzung von Futterleguminosen war, im Vergleich zu Schnittnutzung, der N-Eintrag durch die Luzerne-Vorfrüchte wesentlich höher. Unter den überwiegend trockenen Witterungsbedingungen führte Mulchnutzung im Vergleich zu Schnittnutzung jedoch zu keinen höheren N_{\min} -Gehalten im Boden. Die N-Aufnahme durch die Nachfrucht war daher nicht oder nur geringfügig erhöht und es konnten in der Folge keine höheren Erträge und Rohproteingehalte bei der ersten und zweiten Hauptfrucht erzielt werden. Der Vergleich von Leguminosen-Gräser-Gemengen mit reinen Leguminosen-Beständen ergab, dass die Artenzusammensetzung bis auf einen Fall keine Auswirkungen auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens, sowie auf die N-Aufnahme, die Erträge und die Rohproteingehalte der Nachfrüchte hatte. Im Jahr 2001/02 (Versuchsanlage 2) waren jedoch bei besserer Wasserversorgung die N-Aufnahme und die Proteingehalte von Winterweizen bei Mulchnutzung, nicht aber bei Schnittnutzung, nach Luzerne-Gräser-Gemenge geringer als nach Luzerne-Reinsaat.

Obwohl bei Mulchnutzung, im Vergleich zu Schnittnutzung, der N-Eintrag durch die Luzerne-Vorfrüchte wesentlich höher war, waren die N-Erträge der ersten und zweiten Getreidenachfrucht nicht oder nur geringfügig erhöht. Die N-Nutzungseffizienz war bei Mulchnutzung folglich geringer als bei Schnittnutzung.

Die N_{\min} -Gehalte der Varianten nach Umbruch haben sich nicht unterschieden. Dementsprechend war bei der ausgeprägten Trockenheit auch das Nitrat-Auswaschungsrisiko in allen Varianten ähnlich gering.

Aus den Untersuchungen können Empfehlungen für die Praxis für den Anbau von Luzerne-(Gräser-) Beständen abgeleitet werden.

Unter trockenen Witterungsbedingungen kann Mulchnutzung trotz der geringen N-Nutzungseffizienz neben Schnittnutzung empfohlen werden, weil die N-Verluste bei Trockenheit gering sind und der Mulchstickstoff überwiegend im Boden verbleibt. Dort trägt er zum Aufbau organischer Bodensubstanz bei und kann zum Aufbau eines Vorrats an mineralisierbarem, organischen N im Boden beitragen. Bei entsprechender Witterung wird ein Teil des gespeicherten Stickstoffs zu einem späteren Zeitpunkt in der Fruchtfolge wirksam. Allerdings sollten die Luzernebestände zeitig, d.h. im Juli, umgebrochen werden, um den Bodenwasservorrat zu schonen und so die Wasserversorgung der Nachfrucht zu verbessern. Bei feuchter Witterung im Sommer können Zwischenfrüchte das Nitratauswaschungsrisiko senken.

Weiters ist eine Schnittnutzung der Luzerne-Bestände in Verbindung mit einer Nutzung des Schnittguts als Dünger zu den Nachfrüchten zu überprüfen, um die Nutzungseffizienz des Luzernestickstoffs kurzfristig zu erhöhen. Das Schnittgut kann direkt, nach Kompostieren mit Stroh oder nach Durchlaufen eines Biogasprozesses gezielt in Getreidenachfrüchte oder andere Kulturen ausgebracht werden. Die diesbezügliche Verfahrenstechnik und deren Wirtschaftlichkeit sind jedoch noch zu überprüfen.

Unter feuchten Witterungsbedingungen im Anbaujahr der Luzernebestände ist die Bodenwassersituation weniger angespannt. Die N-Mineralisierung aus den Leguminosenresiduen und aus der organischen Bodensubstanz sowie die Gefahr von N-Verlusten durch Entgasung und Auswaschung sind erhöht. Der Umbruch der Luzernebestände sollte deshalb möglichst spät erfolgen (Mitte September bei Nachfrucht Winterweizen). Der bei höherem Niederschlag höhere Biomassertrag erhöht das N-Verlustsrisiko. Schnittnutzung ist daher der Mulchnutzung vorzuziehen, um N-Verluste zu vermeiden. Ebenso wie in trockenen Jahren kann die N-Nutzungseffizienz durch eine Nutzung des Schnittguts als Dünger auf anderen Flächen erhöht werden. Vor allem unter feuchten Bedingungen sind Leguminosen-Gräser-Gemenge vorteilhaft, weil zu erwarten ist, dass der Stickstoff aus den Residuen langsamer freigesetzt wird als bei reinen Leguminosenbeständen. Dies reduziert das Risiko von N-Verlusten. Die Synchronisierung der N-Verfügbarkeit mit dem N-Bedarf nach ersten Nachfrucht kann damit verbessert sein.

Abstract

Since the application of inorganic nitrogen is not permitted in organic agriculture, the main source of nitrogen in arable organic farming systems is biological nitrogen fixation (BNF) via legume crops. Grain legumes and forage legume crops therefore play a prominent role in organic farming. Forage legumes are mainly cultivated in pure stands and in mixtures with non-legumes such as grass. The legume stands are utilised as animal fodder (cutting regime) or as green manure (mulching regime). There is little knowledge about the impacts of forage legume crops to following cereal crops in terms of soil effects and grain yield and quality under pannonic climate conditions in the eastern regions of Austria (precipitation of 550 mm a⁻¹ and short annual drought periods of 3-6 weeks). Therefore, the aim of this project was to improve utilisation strategies (cutting regime versus green manure; pure legume crops versus legume grass mixtures) of forage legume stands during conversion to organic farming. The investigations were conducted to optimise the use of legume N by the following crops, while minimising the risk of nitrate leaching and the environmental impact (groundwater protection). Further, yield and quality of following cereal crops should be increased.

This research project was conducted on the organically managed area of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences in Raasdorf near Vienna in the Marchfeld region. The research work started in autumn 2000 and was finished in autumn 2003. Alfalfa was used as legume crop in all tested legume variants, namely pure alfalfa stands and an alfalfa-grass mixture (80% alfalfa, 20%

grass - covered area at date of seeding). Winter rye and a pure grass stand served as reference crops. After ploughing under the legume stands, winter wheat and winter rye were cultivated in two successive years. Mineral nitrogen in soil, N-mineralisation potential and soil microbial biomass were assessed. Grain yields and protein contents were recorded. Nitrate leaching was monitored by a soil water balance and nitrate contents in the soil solution which were gained by suction cups from 120 cm soil depth. The same experiment was conducted twice beginning in two consecutive years.

The N input by legume crop residues was substantially greater for a mulching regime than for a cutting regime of fodder legumes. Under the prevalent dry weather conditions of this investigation, mulching compared to a cutting regime did not cause a higher content of inorganic nitrogen in soil. As a consequence to that, the N-uptake, grain yields and protein contents of the successive cereals were not raised. Cultivation of legumes in mixtures with grass caused the same amounts of soil mineral nitrogen like pure legume stands, except for one case. N-uptake, grain yields and protein contents of the successive grain crops were also not affected. In the year 2001/02 with a better water supply, alfalfa-grass, compared to pure alfalfa crops, in combination with mulching led to reduced N uptake and protein contents of winter wheat.

Although in the mulching regime the N-input into soil was much greater than in the cutting regime, this did not result in equally increased grain yields and protein contents of the first and second consecutive cereal. As a result, the N utilisation efficiency in the cutting regime was higher than in the mulching regime.

Inorganic N contents did not differ between variants after ploughing under the legume stands. Accordingly, the risk of nitrate leaching was similar for all variants under conditions of drought.

From the results recommendations for the practice for the management of alfalfa (grass) crops can be deduced.

Under dry weather conditions, the green manure regime of alfalfa crops can be recommended despite a lower N utilisation efficiency, because N losses are low and most of the mulch-N remains in the soil. There it contributes to soil organic matter and can lead to the build-up of a reserve of mineralisable organic N. Under adequate weather, a part of the stored nitrogen will become active later in the crop rotation. The alfalfa crop should be ploughed down early, i.e. in July, to save soil water and thus to improve the water supply of the succeeding crop. Under moist weather conditions in summer, catch crops can reduce the risk of nitrate leaching.

To enhance the short-term utilisation efficiency of alfalfa-N, cutting of alfalfa crops in combination with the use of the shoots as fertiliser given to succeeding crops can also be recommended. The shoot material can be applied specifically in succeeding cereals or other crops either directly, after composting with straw, or after anaerobic fermentation for gaining biogas. The respective process engineering and its economy, however, have to be tested.

Under moist weather conditions during growth of the alfalfa crops, the soil water situation is less fraught. N mineralisation from the crop residues and from the soil organic matter is enhanced, and the risk of N losses by volatilisation and leaching is increased. Alfalfa crops should be ploughed down as late as possible (mid of September for succeeding winter wheat). Increased biomass yield upon higher precipitation increases the risk of N losses. Cutting therefore is preferable to green manure use to reduce N losses. Like in dry years, the N utilisation efficiency can be enhanced by using alfalfa shoots as fertiliser to other crops. Mainly under moist conditions, legume-grass mixtures are advantageous because the release of N from the residues is presumably slower than after pure legume crops. Thus the risk of N losses is reduced. N release and N demand of the first succeeding crop can be more synchronous.

8 Literatur

- Adams M.A., Attiwil, P.M. (1989): In situ studies of nitrogen mineralization and uptake in forest soils, some comments on methodology. *Soil Biol. Biochem.* 21: 423-429.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, D.(1998): Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Pap.No.56. Rome.
- Badaruddin, M. and Meyer, D.W. (1989): Water use by legumes and its effect on soil water status. *Crop Sci.* 29: 1212-1216.
- Badaruddin, M. and Meyer, D.W. (1990): Green-manure legume effects on soil nitrogen, grain yield and nitrogen of wheat. *Crop Sci.* 30: 819-825.
- Becher, H.H. (1970): Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Zustand. Diss. Univ. Hannover.
- Berg, M., Haas, G., Köpke, U. (1999): Nitrataustrag im Systemvergleich: Produkt- und Flächenbezug. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 12: 237-238.
- Bhogal, A., Murphy, D.V., Fortune, S., Sheperd, M.A., Hatch, D.J., Jarvis, S.C., Gaunt, J.L., Goulding, K.W.T. (2000): Distribution of nitrogen pools in the soil profile of undisturbed reseeded grasslands. *Biol Fertil Soil* 30(4): 356-362.
- Bouwer, W., Gäth, S., Frede, H.G. (1995): Konzepte zur Quantifizierung der Nitratauswaschung auf Standorten mit großem Verlagerungsrisiko – ein kritischer Vergleich. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft.* 76: 1243-1246.
- Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., Jenkinson, D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 837-842.
- Bruulsema, T.W., B.R., Christie (1987): Nitrogen Contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover. *Agronomy Journal* 79: 96-100.
- Chalk, P.M., Smith, C.J., Hamilton, S.D., Hopmans, P. (1993): Characterization of the N benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolium*) to a cereal (*Hordeum vulgare*) by an in situ ¹⁵N isotope dilution technique. *Biol.Fertil.Soi* 15: 39-44.
- Dachler, M. and A. Köchl. (1994): Effects of different species as green manures on yield and net profits of the subsequent crops. *Die Bodenkultur* 45: 139-146.
- Dachler, M. and A. Köchl. (2003): Der Einfluss von Fruchtfolge, Vorfrucht, Stickstoffversorgung und Einarbeitung der Ernterückstände auf Ertrag und Rohproteingehalt von Winterweizen und nachfolgender Sommergerste. *Die Bodenkultur* 54: 23-34.
- Danso, S.K.A., Hardarson, G., and Zapata, F. (1988): Dinitrogen fixation estimates in alfalfa-ryegrass swards using different nitrogen-15 labeling methods. *Crop Science* 28, 106-110.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. (Herausgeber) (1999): *Bodenkundliche Untersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten zur Standortcharakterisierung; Teil II: Ableitungen zum Wasser- und Lufthaushalt von Böden.* ISBN 3-935967-55-0.

Dreyman, S., Loges, R., Taube, F. (2003): Einfluss der Klee grasnutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte unter Berücksichtigung einer variierten organischen Düngung. In: Freyer (Hrsg): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Eigenverlag des Institutes für Ökologischen Landbau der Universität für Bodenkultur: 89-92.

Drinkwater, L.E., Wagoner, P., Sarrantonio, M. (1998): Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* Vol. 396, Nov. 1998: 262-265.

Dyke, G.V., George, B.J., Johnston, A.E., Poulton, P.R., Todd, A.D. (1983): A Broadbalk wheat experiment 1968-1978: yields and plant nutrients in crops grown continuously and in rotation. Rothamsted Experimental Station report for 1982, part 2. Rothamsted Experimental Station. Herfordshire. UK.

Ehlers, W. (1997): Zum Transpirationskoeffizienten von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen. *Pflanzenbauwissenschaften* 1 (3): 97-108.

Eltun, R. (1995): Comparison of Nitrogen Leaching in Ecological and Conventional Cropping Systems. In: Kristensen, L., Stopes, C., Kolster, P., Granstedt, A. and Hodges, D. (Hrsg.): Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture. A B Academic Publishers, Oxfordshire, 103-114.

Engelke, B. (1997): Bedeutung der Bewirtschaftung von der Vorfrucht Klee gras sowie der N-Düngung auf die Ertragsleistung der Folgefrucht Winterweizen. Diplomarbeit, Universität Kiel.

Farthofer, R., Friedel, J.K., Pietsch, G., Freyer, B. (2003). Stickstoffaufnahme und Biomasseertrag von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Folgekultur und Nitratgehalt in der Bodenlösung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Projekt im Auftrag des BMLF Projektnr.: 1246; 1. Zwischenbericht.

Flessa, H., Potthoff, M., Lofffield, N. (2002): Greenhouse estimates of CO₂ and N₂O emissions following surface application of grass mulch: importance of indigenous microflora of mulch. *Soil Biol. Bioch.*, 34: 875-879.

Frame, J., Charlton, J.F.L. and Laidlaw, A.S. (1998): Temperate Forage Legumes. CAB International.

Freyer, B., Friedel, J.K., Vogl, C.R., Pietsch, G. (2000): Monitoring von Bodenkennwerten in der Umstellung auf Ökologischen Landbau im Trockengebiet Ostösterreichs. Abschlussbericht Forschungsprojekt Nr. 1170 BMLF.

Freyer, B. (2002): Fruchtfolge-konventionell, integriert, biologisch. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Friedel, J.K., Diernbach, E. Gabel, D. (1997): Öko-Äcker sind umsatzaktiver und können Stickstoff effizienter speichern. *Ökologie und Landbau*, 25. Jg., 3/1997: 14-15.

Friedel, J.K. & D. Gabel (2001): Nitrogen pools and turnover in arable soils under different durations of organic farming. I: Pool sizes of total soil nitrogen, microbial biomass nitrogen and potentially mineralizable nitrogen. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164: 415-419.

Geier, U., Frieben, B. Haas, G., Molkenhain, V. Köpke, U. (1998): Ökobilanz Hamburger Landwirtschaft: Umweltrelevanz verschiedener Produktionsweisen, Handlungsfelder Hamburger

Umweltpolitik. In: U. Köpke (Hrsg.) Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Gerjes, H. (1989): Nitrat unter Acker in mächtigen Lössdecken mit tiefem Grundwasserstand im Klimaraum Südniedersachsen: Tiefenverlagerung, Datierung, Einbindung in den Gashaushalt. Diss. Univ. Göttingen.

Glending, M.J., Poulton, P.R., Powlson, D.S., Jenkinson, D.S. (1997): Fate of ¹⁵N labelled fertilizer applied to spring barley grown on soils of contrasting nutrient status. *Plant Soil* 195: 83-98.

Green, G.J. and Blackmer, A.M. (1995): Residue decomposition effects on nitrogen availability to corn following corn or soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 1065-1070.

Harris, G.H. and O.B. Hesterman (1990): Quantifying the nitrogen contribution to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agron. J.* 82: 129-134.

Haynes, R.J. (1997): Fate and recovery of ¹⁵N derived from grass/clover residues when incorporated into a soil and cropped with spring of winter wheat for two succeeding seasons. *Biol.Fertil. Soils* 25, 130-135.

Haynes, R.J. (1999): Fate and recovery of ¹⁵N labelled fertilizer urea applied to winter wheat in spring in the Canterbury region in New Zealand. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 133: 125-130.

Helmert, G., Heuwinkel, H., Pommer, G., Gutser, R., und U. Schmidhalter. (2003). N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Brache im Ökologischen Landbau (OL) die Erträge der Fruchtfolge nicht erhöht. *DBG-Mitteilungen*. 102/2: 347-348.

Heß, J. (1989): Klee gras umbruch im organischen Landbau. Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen. Dissertation Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Heß, J, Piorr, A., Schmitke, K. (1992): Grundwasserschonende Landbewirtschaftung durch Ökologischen Landbau? Eine Bewertung des Leguminosenanbaus und des Wirtschaftsdüngereinsatzes im Anbausystem Ökologischer Landbau. Schriftenreihe des Institutes für Wasserforschung Dortmund und der Stadtwerke Dortmund, Heft 42.

Hesterman, O.B., Griffin, T.S., Williams, P.T., Harris, G.H. and D.R. Christenson. (1992): Forage legume – small intercrops: nitrogen production and Response to subsequent corn. *J. Prod. Agric.* 5: 340-348.

Heuwinkel, H., Kaiser, M., Schmidhalter, U., Gutser, R. (2002): Mulchen von Klee gras vermindert den N-Gewinn: Ausmaß und Ursachen. Vortrag bei der VDLUFA-Tagung Leipzig 2002.

Himmelbauer, M.L. (2003): Soil – Root Interactions. Dissertation an der Universität für Bodenkultur.

Hogh-Jensen, H. and Schjoerring, J.K. (1996): Residual nitrogen effect of clover-ryegrass sward on a subsequent cereal crop as studied by ¹⁵N methodology and mathematical modelling. Raupp, J. (ed.) *Symbiotic nitrogen fixation in crop rotations with manure fertilization*, 52-63.

Hogh-Jensen, H. and Schjoerring, J.K. (1997): Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability: N₂ fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. *Plant and Soil* 197: 187-199.

Hogh-Jensen, H. and Schjoerring, J.K. (2001): Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology & Biochemistry*. 33: 439-448.

Holford, I.C.R. and Crocker, G.J. (1997): A comparison of chickpeas and pasture legumes for sustaining yields and nitrogen status of subsequent wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48: 305-315.

Insam, H., Parkinson, D., Domsch, K.H. (1989): Influence of soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 21: 211-221.

Jensen, L.S., Mueller, T., Magid, J., Nielsen, N.E. (1997): Temporal variation of C and N mineralisation, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1043-1055.

Junge, A. (1993): Stickstoffbedarf wichtiger Kulturpflanzen unter Berücksichtigung pflanzenphysiologischer Aspekte. Bericht an das Ministerium für ländlichen Raum, Baden-Württemberg. Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim.

Kage, H. (1990): Zur Entstehung hoher Restnitratmengen im durchwurzelten Bodenraum während der Vegetationszeit von Ackerbohnen. *Mitteilung Ges. Pflanzenbauwissenschaften*. 3: 183-186.

Kaiser, M. (2002): Einfluss der Nutzungsweise von Klee gras auf den N_{\min} -Gehalt im Boden. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München.

Kaske, A., (2000): Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosen-Bestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und unterschiedliche Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Diss. Univ. Kiel. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.

Knoblauch, S., (1996): Wasser- und Stofftransport über präferentielle Fließbahnen in Böden – eine Literaturübersicht. *Wasserwirtschaft* 86/11: 598-602.

Knoblauch, S. und Roth, D. (1995): N-Austrag aus einer Braunschwarzerde (Löss) im Thüringer Becken – Ergebnisse aus dem Bodenwassermonitoring. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*

Kumar, K., Goh, K.M., Scott, W.R. and C.M. Frampton (2001): Effects of ^{15}N -labelled crop residues and management practices on subsequent winter wheat yields, nitrogen benefits and recovery under field conditions. *J. Agricultural Sci.* 136: 35-53.

Jarvis, S.C., Stockdale, E.A., Shepherd, M.A., Powlson, D.S. (1996): Nitrogen mineralisation in temperate agricultural soils: Processes and measurement. *Advances in agronomy*, 57: 187-237.

Knoblauch, S. (1996). Wasser- und Stofftransport über präferenzielle Fließbahnen in Böden – eine Literaturübersicht. *Wasserwirtschaft* 86:11.

Ladd, J.N., J.M. Oades and Amato, M. (1981). Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soil sown to wheat in the field. *Soil Biology and Biochemistry*. 13: 251-256.

Ladd, J.N., Amato, M., Jackson R.B. and Butler J.H.A. (1983). Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. *Soil Biology and Biochemistry*. 15: 231-238.

Ladd, J.N. and Amato, M. (1986). The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 18: 417-425.

Larsson, L., Ferm, M., Kasimir-Klemetsson, A., Klemetsson, L. (1998): Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 51: 41-46.

LBG (1999): Die Buchführungsergebnisse aus der österreichischen Landwirtschaft im Jahre 1998 – Betriebswirtschaftlicher Bericht an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien: Selbstverlag.

Linden, B. and Wallgren, B. (1993): Nitrogen mineralisation after leys ploughed in early or late autumn. *Schwedish Journal of Agricultural Research*. 23: 77-89.

Lindenthal, T., Müller, W., Heß, J., Plakolm, G., Hartl, W. (1993): Forschung im biologischen Landbau – Eine Bestandesaufnahme im deutschsprachigen Raum unter besonderer Berücksichtigung von Österreich. UBA & BMLF (Hrsg.) Monographien des Umweltbundesamtes 36, Wien.

Locher, F., Liu, Y., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Gutser, R., Pommer, G., Schmidhalter, U. (2002): Steuerung von N-Flüssen im Ökologischen Landbau durch standortangepasste Nutzungsstrategien bei Leguminosen. In: Schröder, P., Huber, B., Munch, J.C. (Hrsg): FAM-Jahresbericht 53: 35-41.

Loges, R. (1998): Ertrag, Futterqualität, Stickstofffixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee und Rotklee grasbeständen. Dissertation, Universität Kiel.

Loges, R. und Heuwinkel, H. (2003): Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras- Auswirkungen der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. Schmidt, H. (Hrsg.) Viehloser Ökologischer Landbau – Beiträge, Beispiele, Kommentare. Bundesprogramm Ökologischer Landbau.

Loges, R., Kaske, A., Taube, F. (1999): Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: Olesen, J.E., Eltun, R., Gooding, M.J., Steen Jensen, E. & U. Köpke (Eds.) *Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an international workshop*. Danish Research Centre for Organic Farming.

Mäder, P., Pfiffner, L., Jäggi, W., Wiemken, A., Niggli, U., Besson, J.M. (1993): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeituntersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. Boden: Mikrobiologische Untersuchungen. *Schweizerische Landw. Forschung* 32: 509-545.

Mahler, R. L., Hemamda, H. (1993): Evaluation of the nitrogen fertilizer value of plant materials to spring wheat production. *Agronomy Journal* 85: 305-309.

Marquard, R., (1998): Stickstoffassimilation und die Symbiose mit Knöllchenbakterien. In: Schuster, W.H. (ed.), *Leguminosen zur Kornnutzung*.

Mayer, J. Buegger, F., Jensen, E.S., Schloter, M., Heß, J. (2003b): Einflüsse der Rhizodeposition von Körnerleguminosen auf den Umsatz ihrer Residuen im Boden. Freyer, B. (Hrsg.), S. 5-8. Universität für Bodenkultur Wien. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Institut für Ökologischen Landbau der Universität für Bodenkultur Wien, Stiftung für Ökologischen Landbau.

McNeill, A.M., Zhu, C. and I.R.P. Fillery (1998): A new approach to quantifying the N benefit from pasture legumes to succeeding wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 427-436.

Murphy, D.V., Macdonald, A.J., Stockdale, E.A., Goulding, K.W.T., Fortune, S., Gaunt, J.L., Poulton, P.R., Wakefield, J.A., Webster, C.P. and Wilmer, W.S. (2000): Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biol. Fertil. Soils*. 30: 374-387.

Nesheim, L., Boller, B. C., Lehmann, J. and Walther, U. (1990): The effect of nitrogen in cattle slurry and mineral fertilizers on nitrogen fixation by white clover. *Grass and Forage Science* 45: 91-97.

Niemann, M. (1998): Nitratproblematik im Grundwasser des Marchfeldes und Möglichkeiten einer Sanierung mit Hilfe des Ökologischen Landbaus. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur. Wien.

Österreichische beschreibende Sortenliste 2002. Schriftenreihe des Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft. 21/2002.

Pietsch, G. (2004): N₂-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. 1-217. Institut für Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

Rasse, D.P., Smucker, A.J.M., and Schabenberger, O. (1999): Modifications of soil nitrogen pools in response to alfalfa root systems and shoot mulch. *Agronomy Journal*. 91: 471-477.

Reents, H.J., Mayer, J. (1995): Nitratprofile im Fruchtfolgeglied Klee gras – Weizen – Getreide in ökologisch bewirtschafteten Betrieben und die Relation zur Wasserverlagerung. In Dewes, T. und Schmitt, L. (Hrsg.): Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Kiel: 185-188.

Reents, H.J., Möller, K. (2001): Stickstoffmanagement im Ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zwischenfrüchten. In: Reents, H.J. (Hrsg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Freising-Weihenstephan. Berlin, Köster, 179-181.

Renger, M., Strebel, O. (1980): Beregnungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom Boden. *Wasser und Boden*. 32: 572-575.

Roth, D., Knoblauch, S., Herold, L., Pflieger, I. (1995). Untersuchungsergebnisse zur Sickerwasserbildung und zum Stickstoffaustrag auf Ackerstandorten Thüringens. Beitrag zur 5. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone.“, BAL Gumpenstein, 25.-26. April 1995.

Roth, D., Günther, R., Knoblauch, S. (1997). Wasserbilanz sowie Wasserverbrauch und Bodenwasserausschöpfung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf einem tiefgründigen Lößstandort. *Agribiol. Res.* 50:3.

Rück, F., Stahr, K. (1996): Herbst-N_{min}-Werte als Maß der Nitratauswaschung in Abhängigkeit von Böden und Nutzung. *Agribiol. Res.* 49: 97-111.

Ruhe, I., Loges, R., Taube, F. (2003): Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: B. Freyer (Hrsg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien. Eigenverlag des Instituts für Ökologischen Landbau der Universität für Bodenkultur Wien.

Sauer, S. and Harrach, T. (2000): Rooting and available water capacity of soils as regulators of ecological functions. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 93: 200-203.

Sauer, S., Haussmann, W., Harrach, T. (2002): Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lössböden eines Trockengebietes. *J.Plant Nutr. Soil Sci.* 165: 269-273.

Scheffer/Schachtschabel (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Stuttgart: Enke-Verlag.

Schmidke, K. (1989): Nitratverlagerung im Boden unter Klee gras und nach Klee grasumbruch. Zit. In Heß et al., 1992.

Schmidtke, K. und Rauber, R. (1990): Gefährdet der Leguminosenanbau im Ökologischen Landbau die Grundwasserqualität? *Bioland* 5/90: 15-17.

Schneider, R. (2001). Umstellung von Marktfruchtbetrieben im Marchfeld und Weinviertel auf die biologische Wirtschaftsweise – Umstellungshemmnisse, Umstellungsprobleme und Wirtschaftlichkeit. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien.

Stopes, C., Millington, S., Woodward, L. (1995): Dry matter and nitrogen accumulation by three leguminous green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 57: 189-196.

Stebel, O., Duynisveld, W.H.M. (1989): Nitrogen supply to cereals and sugar beet by mass flow and diffusion on a silty loam soil. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 152: 135-141.

Timlin, D.J., Pachepsky, Y., Walthall, C., Loechel, S. (2001): The use of a water budget model and yield maps to characterize water availability in a landscape. *Soil Tillage Res.* 58: 219-231.

Vallis, I. (1978): Nitrogen relationships in grass/legume mixtures. In: *Plant relationships in pastures*. Ed.: J.R. Wilson, CSIRO: 190-201. zit. in Schmidtke, 1997.

Wang, W.J., Chalk, P.M., Chen, D. and Smith, C.J. (2001). Nitrogen mineralisation, immobilisation and loss, and their role in determining differences in the net nitrogen production during waterlogged and aerobic incubation of soils. *Soil Biology and Biochemistry.* 33: 1305-1315.

Van Genuchten, M. TH. (1980): A Close-form Equation for Predicting Hydraulic Conductivity fo Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.

Weber, A., Gutser, R., Schmidhalter, U., Henkelmann, G. (2001): Unvermeidbare NH₃-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. *VDLUFA-Schriftenreihe.* 55, Kongressband 2000, 175-182.

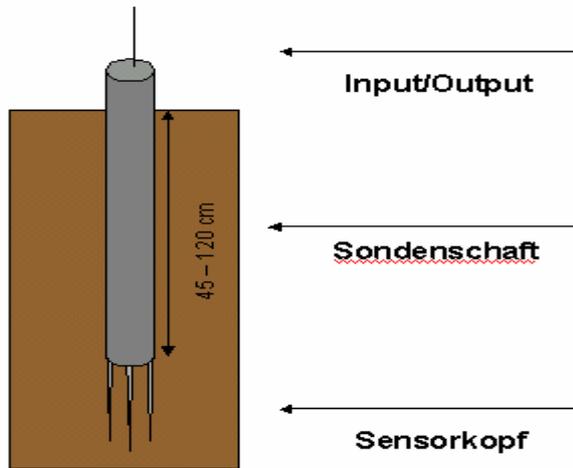
Weigel, A., Russow, R., Körschens, M. (2000): Quantification of airborne N-input in Long term field experiments and its validation through measurements using ¹⁵N isotope dilution. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 163: 261-265.

Werner, D., Batinic, M.C., Bolanos-Vasquez, Vinusa-Fleischmann P., Müller, P. (1997). Ecophysiology and regulation of symbiotic N₂-fixation in legumes. *Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung.* Bd. 24, 67-82.

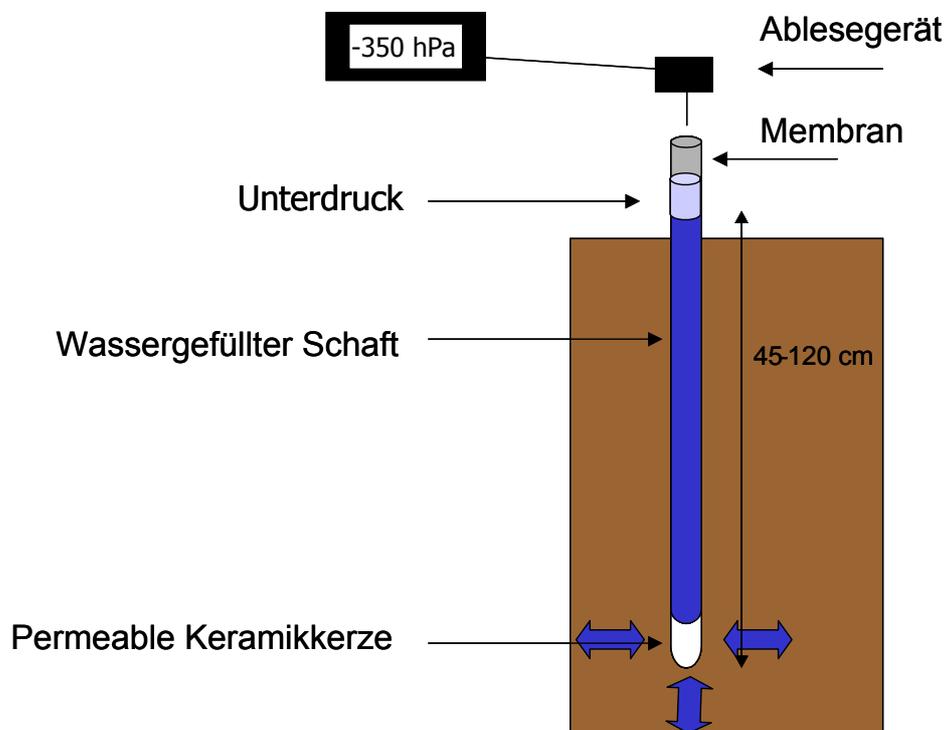
Wichmann, S. (2000): Ertrag und N₂-Fixierungsleistung von Erbsen in Reinsaat und Gemenge mit Sommergerste im Vergleich zu Rotklee gras. Diplomarbeit im Fach Ökologischer Landbau, Universität Kiel.

9 Anhang

Anhang 1: Schema einer FDR-Sonde und eines Tensiometers

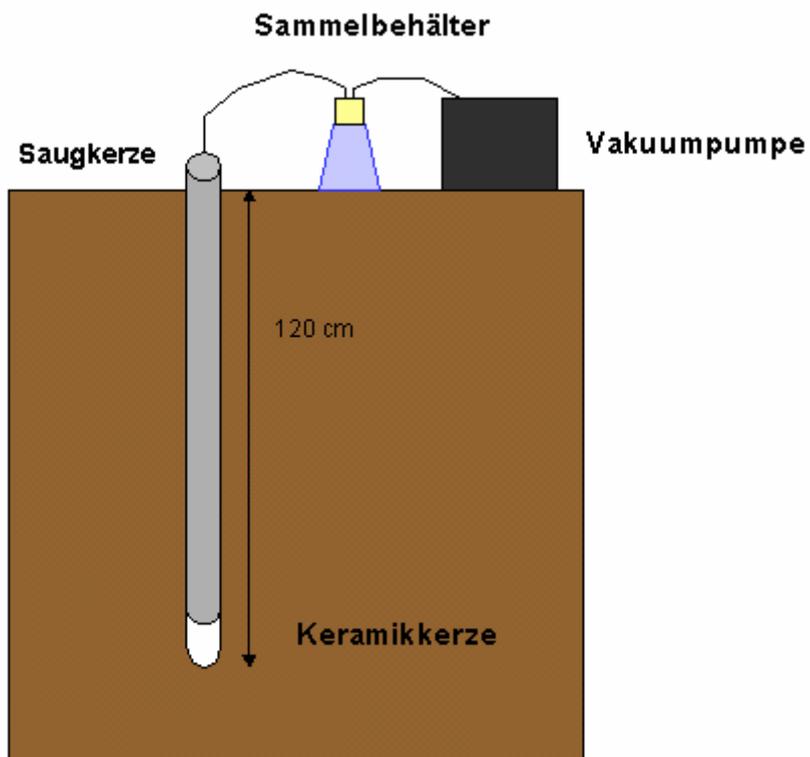


FDR-Sonde



Tensiometer

Anhang 2: Versuchsaufbau zur Sickerwassergewinnung



Anhang 3: N_{min}-GehalteN_{min}-Gehalte im Boden: (Teil 1/4) 2000/01 Versuchsanlage 1 Winterweizen

Versuchsanlage 1 2000-2001		08/2000				10/2000				03/2001			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
8a	1	11	4	2	17	9	19	7	NA	5	7	13	9
39b	1	23	17	8	48	49	8	10	15	NA	7	21	32
42a	1	11	18	17	46	NA	NA	NA	NA	4	10	NA	9
57b	1	13	24	NA	36	53	28	0	5	2	11	22	7
5a	2	13	16	5	34	70	23	14	NA	8	7	21	15
25a	2	14	NA	6	20	30	28	6	5	7	12	27	31
44a	2	NA	NA	NA	NA	21	13	0	9	5	12	15	10
55b	2	NA	NA	NA	NA	NA	18	3	10	12	31	14	15
7a	3	24	24	20	68	NA	18	1	12	2	7	10	6
23b	3	28	23	7	58	32	27	1	5	4	7	12	5
39a	3	7	8	11	26	36	10	4	9	0	15	13	10
59b	3	19	27	10	56	36	6	13	1	6	12	11	24
4b	4	10	11	12	33	27	18	5	NA	9	10	16	11
22b	4	30	4	10	44	18	10	5	8	8	8	17	24
38b	4	6	13	9	27	24	10	0	12	3	7	22	26
55a	4	10	12	13	35	53	14	8	10	6	13	16	27
2a	5	NA	NA	NA	NA	9	NA	5	0	6	5	29	18
26a	5	NA	NA	NA	NA	16	16	1	13	5	3	6	22
37b	5	NA	NA	NA	NA	9	11	10	10	3	3	15	30
60a	5	NA	NA	NA	NA	12	5	6	6	6	9	17	9
15b	6	NA	NA	NA	NA	24	44	33	7	6	14	25	12
33b	6	NA	NA	NA	NA	51	34	4	12	6	9	16	17
43b	6	NA	NA	NA	NA	39	17	5	23	4	0	21	27
58b	6	NA	NA	NA	NA	24	20	29	14	4	10	15	11

Versuchsanlage 1 2000-2001		05/2001				07/2001			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
8a	1	0	4	4	11	13	1	9	7
39b	1	0	3	0	19	13	6	9	9
42a	1	0	3	0	4	12	3	3	3
57b	1	0	11	0	12	4	5	20	7
5a	2	0	6	7	13	14	4	10	15
25a	2	0	2	4	30	13	3	6	14
44a	2	0	2	0	4	11	6	0	2
55b	2	0	5	6	8	2	8	15	13
7a	3	0	0	2	6	11	0	4	2
23b	3	0	2	3	2	12	0	7	7
39a	3	0	3	2	11	12	8	23	5
59b	3	0	7	0	3	8	10	3	2
4b	4	0	2	19	11	18	0	5	7
22b	4	0	1	3	3	8	0	6	8
38b	4	0	1	NA	19	11	5	14	24
55a	4	0	2	NA	18	5	14	14	15
2a	5	0	2	9	13	7	0	4	9
26a	5	0	0	3	18	10	1	4	15
37b	5	0	4	11	20	10	10	10	18
60a	5	0	5	0	13	7	3	3	3
15b	6	0	3	0	0	11	0	1	3
33b	6	0	4	0	2	12	1	1	2
43b	6	0	2	0	16	12	3	1	12
58b	6	0	6	0	15	4	0	6	7

N_{min}-Gehalte im Boden: (Teil 2/4) 2001/02 Versuchsanlage 1 Winterroggen

Versuchsanlage 1 2001-2002		10/2001				12/2001				03/2002			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
8a	1	35	24	5	6	17	18	6	7	2	5	15	4
39b	1	48	40	23	14	22	30	20	12	3	6	5	18
42a	1	36	33	0	0	19	28	4	3	0	24	6	0
57b	1	47	33	8	18	39	35	18	13	14	1	13	9
5a	2	36	38	5	31	19	29	4	21	3	17	4	14
25a	2	42	45	14	34	26	43	16	36	8	27	50	62
44a	2	40	35	5	11	19	24	11	11	0	26	44	13
55b	2	59	42	23	22	37	53	30	15	NA	28	2	26
7a	3	30	27	7	5	38	16	12	3	5	0	19	12
23b	3	39	19	6	7	12	19	8	7	2	29	10	18
39a	3	30	12	3	14	7	22	8	0	4	7	7	14
59b	3	41	32	16	16	25	40	20	10	0	8	28	21
4b	4	44	23	12	0	31	22	4	3	3	37	30	3
22b	4	31	24	8	6	22	23	2	2	4	29	22	9
38b	4	45	38	22	24	18	43	26	18	NA	10	11	0
55a	4	50	65	18	18	28	42	20	15	6	0	0	8
2a	5	39	26	6	13	18	18	1	8	2	6	7	2
26a	5	46	40	14	38	20	19	6	0	0	14	26	16
37b	5	32	19	15	4	20	24	14	19	0	0	0	12
60a	5	28	33	0	17	28	21	10	8	14	20	12	19
15b	6	33	39	6	2	22	35	3	2	3	24	11	0
33b	6	37	49	6	12	16	32	8	8	1	16	30	6
43b	6	45	36	4	16	14	33	10	18	2	8	NA	0
58b	6	39	46	21	44	12	32	8	23	NA	12	20	13

Versuchsanlage 1 2001-2002		05/2002				07/2002			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
8a	1	1	2	2	5	15	1	0	6
39b	1	3	4	16	17	12	9	9	13
42a	1	0	5	7	4	13	4	0	8
57b	1	3	5	13	6	13	3	7	6
5a	2	3	5	10	22	16	3	3	18
25a	2	NA	NA	17	23	15	7	2	14
44a	2	2	5	9	4	17	2	0	6
55b	2	3	8	20	7	16	7	21	10
7a	3	1	5	8	5	13	2	2	3
23b	3	0	12	11	8	19	16	5	10
39a	3	0	5	7	8	7	0	2	10
59b	3	2	4	6	2	19	5	6	12
4b	4	0	9	10	13	25	0	2	11
22b	4	3	7	9	9	12	10	10	10
38b	4	0	3	13	13	9	6	11	16
55a	4	2	7	14	11	14	6	6	15
2a	5	2	3	3	5	15	6	1	NA
26a	5	5	3	3	38	21	7	3	48
37b	5	1	5	3	11	10	6	7	NA
60a	5	2	3	0	10	9	6	1	18
15b	6	3	5	9	5	11	14	4	NA
33b	6	3	NA	8	19	13	11	2	NA
43b	6	1	4	4	27	8	5	12	12
58b	6	0	3	8	8	13	7	0	9

N_{min}-Gehalte im Boden: (Teil 3/4) 2001/02 Versuchsanlage 2 Winterweizen

Versuchsanlage 2 2001-2002		08/2001				10/2001				03/2002			
Parzelle	Variante	0-30cm	30-60cm	60-90cm	90-120cm	0-30cm	30-60cm	60-90cm	90-120cm	0-30cm	30-60cm	60-90cm	90-120cm
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
10b	1	18	0	0	16	58	9	4	17	NA	NA	NA	NA
29b	1	17	6	1	6	45	16	4	17	57	44	21	0
48b	1	5	0	5	8	66	18	0	1	35	52		2
68a	1	2	5	NA	NA	0	11	61	72	60	43	43	44
14a	2	16	8	7	17	39	0	0	18	7	45		0
28b	2	22	21	1	6	54	18	5	28	53	40	21	6
49a	2	11	9	12	NA	57	11	7	18	40	27	19	1
67a	2	3	5	NA	NA	48	8	5	13	22	53	17	15
13b	3	3	0	0	12	62	0	0	9	30	22	15	10
28a	3	4	5	11	11	53	11	9	0	0	44	0	0
47a	3	1	0	NA	NA	53	13	0	7	43	47	17	0
66a	3	10	7	9	NA	41	10	10	32	38	20	6	18
10a	4	5	0	0	11	70	9	4	20	37	38	12	0
32a	4	6	0	0	10	61	10	2	35	2	27	NA	0
50b	4	4	5	0	NA	41	14	5	26	24	64	5	0
65b	4	22	5	2	NA	40	20	6	42	31	NA	6	0
12a	5	3	0	1	6	11	NA	0	0	NA	19	NA	0
31b	5	1	0	0	9	10	NA	7	5	23	NA	NA	0
46b	5	4	0	0	NA	11	NA	0	8	33	19	8	0
67b	5	9	2	3	NA	17	NA	0	0	26	21	4	4
11b	6	NA	NA	NA	NA	38	8	5	12	20	23	10	2
31b	6	NA	NA	NA	NA	41	12	3	26	46	37	13	29
47b	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	33	28	14	0
68b	6	NA	NA	NA	NA	20	1	0	4	16	32	11	0

Versuchsanlage 2 2001-2002		05/2002				07/2002			
Parzelle	Variante	0-30cm	30-60cm	60-90cm	90-120cm	0-30cm	30-60cm	60-90cm	90-120cm
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
10b	1	3	0	4	3	14	11	0	0
29b	1	1	2	3	7	18	0	2	0
48b	1	1	5	21	9	14	5	3	0
68a	1	3	5	29	NA	13	3	31	21
14a	2	2	5	4	2	12	7	4	0
28b	2	1	0	4	NA	13	4	6	8
49a	2	0	0	2	8	8	0	1	0
67a	2	2	3	3	23	8	6	9	5
13b	3	0	0	2	10	4	2	2	6
28a	3	3	4	7	NA	6	4	7	30
47a	3	4	3	6	7	12	2	3	26
66a	3	NA	2	8	NA	11	2	8	25
10a	4	1	3	2	3	13	7	5	1
32a	4	1	2	3	2	10	4	1	0
50b	4	1	1	3	2	14	2	2	2
65b	4	2	5	4	1	12	3	6	0
12a	5	1	1	1	5	0	1	0	0
31b	5	1	0	0	8	3	0	0	2
46b	5	1	0	0	17	0	0	0	6
67b	5	2	0	0	13	0	1	0	16
11b	6	0	0	0	7	0	2	0	1
31b	6	2	0	1	24	3	0	7	9
47b	6	2	0	0	5	7	1	3	4
68b	6	2	0	0	NA	0	0	1	12

N_{min}-Gehalte im Boden: (Teil 4/4) 2002/03 Versuchsanlage 2 Winterroggen

Versuchsanlage 2 2002-2003		10/2002				12/2002				03/2003			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
10b	1	38	32	13	0	14	39	30	10	18	68	90	35
29b	1	31	17	12	7	13	40	41	21	13	51	78	55
48b	1	40	15	9	9	13	30	44	7	14	56	55	41
68a	1	50	23	42	101	12	27	55	40	17	64	NA	98
14a	2	29	10	12	6	9	20	43	7	11	42	138	52
28b	2	30	27	13	6	10	18	27	12	18	69	87	16
49a	2	36	10	6	2	8	22	28	13	14	56	58	16
67a	2	40	24	9	9	11	27	52	13	13	50	NA	32
13b	3	42	26	17	3	8	20	49	21	18	70	91	47
28a	3	39	15	12	24	8	28	37	22	8	32	119	39
47a	3	43	16	21	8	7	24	26	18	13	49	58	45
66a	3	42	25	16	15	6	20	38	42	12	47	36	42
10a	4	86	19	NA	14	13	29	25	17	16	63	76	27
32a	4	42	20	13	8	12	45	44	8	15	58	106	20
50b	4	35	19	9	12	10	25	12	5	11	42	58	18
65b	4	49	21	15	23	5	24	45	10	13	52	90	59
12a	5	35	12	4	13	9	27	34	6	22	87	64	35
31b	5	40	12	6	13	9	22	44	19	20	78	96	16
46b	5	31	20	7	8	8	20	26	15	21	80	37	20
67b	5	30	14	4	17	5	26	15	15	20	77	53	19
11b	6	36	20	7	11	9	40	20	10	8	30	NA	15
31b	6	33	7	10	41	11	28	17	33	10	37	101	22
47b	6	37	15	9	6	16	25	15	0	8	31	48	20
68b	6	35	11	6	14	4	18	21	4	17	67	89	13

Versuchsanlage 2 2002-2003		05/2003				07/2003			
Parzelle	Variante	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha	0-30cm kg/ha	30-60cm kg/ha	60-90cm kg/ha	90-120cm kg/ha
10b	1	6	13	16	15	28	13	3	13
29b	1	4	2	9	13	23	7	2	16
48b	1	5	2	5	15	18	6	0	10
68a	1	8	5	20	86	21	10	15	50
14a	2	8	3	10	13	20	7	5	9
28b	2	4	1	6	11	22	15	4	16
49a	2	6	3	10	8	16	8	2	7
67a	2	2	12	15	14	21	10	5	9
13b	3	6	3	14	16	21	7	10	16
28a	3	4	3	10	17	23	7	4	7
47a	3	8	1	6	19	24	5	3	6
66a	3	4	4	6	14	19	9	0	14
10a	4	6	6	28	24	24	19	0	5
32a	4	10	3	15	13	21	8	22	9
50b	4	6	3	9	5	22	7	12	9
65b	4	7	3	19	22	21	9	4	8
12a	5	3	1	5	25	18	5	1	5
31b	5	4	2	3	5	25	9	1	4
46b	5	5	1	2	5	17	4	3	7
67b	5	3	0	2	11	16	4	6	8
11b	6	3	1	4	7	19	7	3	6
31b	6	4	1	1	4	17	6	2	7
47b	6	8	2	1	4	17	5	2	13
68b	6	2	2	3	15	16	6	4	3

Anhang 4: N-Mineralisation

Versuchsanlage 1							
Parzelle	Variante	2001 Winterweizen			2002 Winterroggen		
		0-30cm µg g ⁻¹	30-60cm µg g ⁻¹	60-90cm µg g ⁻¹	0-30cm µg g ⁻¹	30-60cm µg g ⁻¹	60-90cm µg g ⁻¹
8a	1	31	10	15	39	6	3
39b	1	45	16	12	37	8	5
42a	1	38	8	12	36	7	2
57b	1	33	NA	NA	38	8	3
5a	2	50	11	17	41	12	4
25a	2	41	15	10	47	10	6
44a	2	38	2	16	39	5	2
55b	2	33	15	7	49	11	7
7a	3	32	26	11	44	6	3
23b	3	35	NA	NA	41	5	3
39a	3	42	8	NA	39	5	4
59b	3	33	2	NA	43	7	5
4b	4	42	NA	26	46	5	4
22b	4	34	2	16	46	8	6
38b	4	41	4	16	34	8	7
55a	4	35	8	8	51	8	2
2a	5	15	0	13	38	7	4
26a	5	23	0	11	42	8	5
37b	5	17	11	13	42	8	4
60a	5	30	0	17	38	8	4
15b	6	24	4	7	45	3	3
33b	6	34	NA	NA	40	6	4
43b	6	36	2	9	33	4	4
58b	6	24	NA	9	46	8	5

Versuchsanlage 2							
Parzelle	Variante	2002 Winterweizen			2003 Winterroggen		
		0-30cm µg g ⁻¹	30-60cm µg g ⁻¹	60-90cm µg g ⁻¹	0-30cm µg g ⁻¹	30-60cm µg g ⁻¹	60-90cm µg g ⁻¹
10b	1	42	9	2	51	6	2
29b	1	61	4	1	39	4	1
48b	1	48	7	2	39	5	2
68a	1	48	7	3	48	7	4
14a	2	49	5	2	47	8	2
28b	2	47	NA	1	49	7	2
49a	2	52	4	1	54	4	3
67a	2	46	6	2	42	7	4
13b	3	45	9	1	35	7	3
28a	3	63	7	1	38	6	3
47a	3	48	5	2	47	4	2
66a	3	43	5	2	45	5	2
10a	4	59	7	2	38	6	1
32a	4	46	5	1	55	6	2
50b	4	50	5	2	41	6	2
65b	4	37	5	1	38	5	2
12a	5	38	NA	1	24	4	2
31b	5	40	3	1	30	5	1
46b	5	36	6	2	32	6	2
67b	5	39	2	2	43	5	1
11b	6	36	7	1	33	6	2
31b	6	50	4	2	42	6	2
47b	6	75	5	1	37	6	2
68b	6	32	3	2	34	7	4

Versuchsanlage 1					
Parzelle	Variante	2001 WW		2002 WR	
		0-30cm	30-60cm	0-30cm	30-60cm
		$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
8a	1	12	10	13	11
39b	1	13	13	12	13
42a	1	13	11	13	10
57b	1	14	13	12	13
5a	2	12	13	14	12
25a	2	14	12	17	14
44a	2	15	9	14	10
55b	2	18	15	14	14
7a	3	14	10	13	10
23b	3	11	8	15	12
39a	3	13	10	15	11
59b	3	13	9	12	11
4b	4	14	10	16	11
22b	4	13	8	13	12
38b	4	15	10	13	13
55a	4	19	13	13	11
2a	5	12	8	12	8
26a	5	10	8	14	11
37b	5	10	10	12	9
60a	5	13	8	12	9
15b	6	14	10	14	10
33b	6	15	11	13	12
43b	6	14	9	12	11
58b	6	13	8	14	10

Versuchsanlage 2					
Parzelle	Variante	2002 WW		2003 WR	
		0-30cm	30-60cm	0-30cm	30-60cm
		$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
10b	1	15	15	16	13
29b	1	18	NA	15	13
48b	1	12	17	15	13
68a	1	16	17	16	14
14a	2	14	15	15	11
28b	2	12	21	17	14
49a	2	15	14	17	13
67a	2	10	19	16	12
13b	3	18	15	15	14
28a	3	10	16	13	13
47a	3	13	15	14	11
66a	3	11	17	17	12
10a	4	13	19	15	NA
32a	4	13	18	16	11
50b	4	10	16	15	11
65b	4	11	16	15	13
12a	5	10	NA	16	11
31b	5	8	10	15	11
46b	5	12	8	15	11
67b	5	13	7	15	11
11b	6	9	14	13	10
31b	6	19	15	15	11
47b	6	12	11	12	10
68b	6	16	12	12	11

Anhang 5: K_2SO_4 -extrahierbarer N

Anhang 6: Mikrobielle Biomasse

Versuchsanlage 1					
Parzelle	Variante	2001 WW		2002 WR	
		0-30cm	30-60cm	0-30cm	30-60cm
		$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
8a	1	55	13	55	16
39b	1	71	16	48	17
42a	1	65	11	47	10
57b	1	60	15	71	16
5a	2	62	13	54	14
25a	2	64	17	72	19
44a	2	61	4	46	7
55b	2	69	19	69	22
7a	3	58	8	48	8
23b	3	43	6	62	14
39a	3	68	7	45	3
59b	3	57	15	74	14
4b	4	60	17	53	13
22b	4	63	18	58	17
38b	4	71	18	45	17
55a	4	49	18	74	19
2a	5	57	10	44	8
26a	5	63	9	65	15
37b	5	66	17	59	19
60a	5	57	18	70	13
15b	6	62	13	50	11
33b	6	60	14	60	14
43b	6	60	13	45	11
58b	6	57	15	62	14

Versuchsanlage 2					
Parzelle	Variante	2002 WW		2003 WR	
		0-30cm	30-60cm	0-30cm	30-60cm
		$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
10b	1	40	19	61	14
29b	1	51	NA	53	11
48b	1	54	17	61	16
68a	1	14	NA	61	21
14a	2	63	14	60	16
28b	2	69	11	64	19
49a	2	47	23	68	14
67a	2	54	17	59	18
13b	3	67	22	59	13
28a	3	59	12	55	13
47a	3	60	15	62	11
66a	3	42	31	52	16
10a	4	76	17	53	NA
32a	4	49	13	43	18
50b	4	50	24	43	18
65b	4	65	24	60	18
12a	5	65	NA	50	13
31b	5	48	11	59	17
46b	5	43	15	59	12
67b	5	45	18	60	12
11b	6	66	20	56	15
31b	6	42	15	59	15
47b	6	49	19	60	14
68b	6	45	9	58	18

Anhang 7: In situ Netto N-Mineralisation

Versuchsanlage 1

Parzelle	Variante	08/00-10/00	10/00-03/01	03/01-05/01	05/01-07/01	07/01-10/01	10/01-03/02	03/02-05/02	05/02-07/02
8a	1	12	66	57	0	34	15	53	NA
39b	1	29	56	12	21	81	NA	56	1
42a	1	-5	82	42	18	42	NA	42	NA
57b	1	45	59	49	-2	65	-7	57	11
5a	2	68	52	27	15	60	3	51	4
25a	2	44	110	41	-30	93	66	NA	NA
44a	2	11	87	50	NA	65	21	21	-19
55b	2	-1	164	-6	13	100	2	26	14
7a	3	-5	44	37	23	45	32	14	-23
23b	3	2	43	22	45	38	8	39	-20
39a	3	28	71	33	36	5	4	42	NA
59b	3	-5	77	25	0	76	20	24	35
4b	4	11	70	37	13	42	35	8	5
22b	4	-8	102	1	14	40	42	11	16
38b	4	14	77	12	36	67	NA	55	4
55a	4	46	69	29	5	97	NA	90	0
2a	5	NA	67	29	15	57	-23	58	10
26a	5	NA	19	55	32	99	NA	62	-2
37b	5	NA	54	48	-6	16	-12	71	-6
60a	5	NA	65	22	19	55	25	-7	17
15b	6	NA	7	11	19	59	11	49	1
33b	6	NA	19	6	23	82	-8	23	0
43b	6	NA	56	32	-16	66	NA	91	3
58b	6	NA	58	47	NA	126	NA	38	-8

Versuchsanlage 2

Parzelle	Variante	08/01-10/01	10/01-03/02	03/02-05/02	05/02-07/02	07/02-10/02	10/02-03/03	03/03-05/03	05/03-07/03
10b	1	50	73	-40	57	51	132	NA	-7
29b	1	48	87	-49	36	40	138	-20	NA
48b	1	62	52	19	8	44	105	-26	-4
68a	1	133	90	-77	38	141	NA	49	-5
14a	2	5	28	88	-23	27	189	NA	-24
28b	2	52	67	NA	43	37	120	-44	11
49a	2	57	26	-5	-4	37	91	1	-24
67a	2	62	75	7	-8	47	19	59	-12
13b	3	51	49	12	15	66	145	NA	-12
28a	3	37	10	122	-33	36	114	-30	-19
47a	3	67	66	38	-4	37	78	-20	-23
66a	3	62	39	0	36	45	46	1	-4
10a	4	82	22	67	-39	86	68	-19	-25
32a	4	88	NA	79	5	60	125	-30	-14
50b	4	72	47	-17	22	49	59	3	8
65b	4	76	NA	48	35	80	110	-42	NA
12a	5	NA	26	58	-12	55	150	-61	-27
31b	5	7	26	32	9	57	148	NA	0
46b	5	10	70	12	-19	52	96	-42	11
67b	5	NA	63	10	2	41	111	NA	22
11b	6	NA	32	4	15	64	-18	NA	NA
31b	6	NA	89	NA	18	65	84	-35	-4
47b	6	NA	121	14	-15	45	51	21	-18
68b	6	NA	73	-1	27	44	132	NA	-2

Anhang 8: pF-Werte (Teil 1/2)

Versuchsanlage 1

Winterweizen 2001

Variante Parzelle	1 42a			2 44a			2 55b			3 23b			4 22b			6 59a		
	40cm	80cm	120cm															
2001.02.23	2,8	2,8	2,4	2,8	2,9	NA	2,0	2,8	2,8	2,6	2,9	2,7	2,6	>2,9	2,8	2,1	2,8	2,8
2001.03.02	2,8	2,9	2,6	2,8	2,9	2,5	2,1	2,8	2,8	NA	2,9	2,8	2,7	>2,9	2,9	2,1	2,8	2,8
2001.03.16	2,9	2,9	2,5	NA	2,8	2,5	NA	2,8	2,8	2,4	2,9	2,8	NA	>2,9	2,8	2,3	2,8	2,8
2001.03.30	2,4	>2,9	2,7	2,8	2,8	2,5	1,9	2,8	2,8	2,5	2,9	2,8	NA	>2,9	2,8	1,7	2,8	2,8
2001.04.06	2,7	2,9	2,8	2,8	2,8	2,5	2,1	2,7	2,8	2,6	2,8	2,8	2,8	>2,9	2,8	2,1	2,7	2,8
2001.04.13	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	2,8	2,3	>2,9	2,7	2,8	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	2,5	2,7	2,8
2001.04.27	>2,9	>2,9	2,9	>2,9	2,8	2,2	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,7	>2,9	2,7	2,8
2001.05.03	>2,9	>2,8	2,9	>2,9	2,8	2,3	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,7	>2,9	2,7	2,8
2001.05.10	>2,9	>2,9	2,9	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,7	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,7	>2,9	2,8	2,8
2001.05.18	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	2,9	2,5	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	2,8	2,8
2001.05.28	>2,9	2,9	2,9	>2,9	2,9	2,5	>2,9	2,8	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,8	>2,9	2,8	2,8
2001.05.31	>2,9	2,8	2,9	>2,9	2,9	2,5	>2,9	2,8	2,8	>2,9	2,9	2,8	>2,9	>2,9	2,8	2,9	2,8	2,8

Winterroggen 2002

Variante Parzelle	1 42a			2 25a			2 44a			3 23b			4 22b			6 43b		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
2002.02.13	NA	2,8	2,6	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,6	NA	2,9	2,8	NA	2,8	2,6	NA	2,7	2,7
2002.02.20	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,6	NA	2,9	2,9	NA	2,8	2,6	NA	2,7	2,7
2002.02.27	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,7	NA	2,8	2,6	NA	2,9	2,9	NA	2,8	2,6	NA	2,7	2,6
2002.03.06	2,7	2,8	2,7	2,6	2,8	2,7	2,7	2,8	2,6	NA	2,9	2,9	2,5	2,8	2,5	2,6	2,7	2,6
2002.03.11	NA	2,7	2,7	2,6	2,8	2,7	NA	2,8	2,6	2,8	2,9	2,9	2,5	2,8	2,5	2,7	2,8	2,6
2002.03.22	NA	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7	NA	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	NA	2,8	2,5	2,8	2,8	2,6
2002.03.27	2,4	2,7	2,7	2,3	2,8	2,7	2,5	2,7	2,6	2,8	2,8	2,9	2,1	2,8	2,6	2,4	2,8	2,6
2002.04.05	2,6	2,6	2,7	2,5	2,7	2,7	2,6	2,7	2,6	2,8	2,9	2,9	2,4	2,8	2,5	2,6	2,7	2,6
2002.04.12	2,7	2,6	2,7	2,7	2,8	2,7	NA	2,6	2,6	2,9	2,8	2,9	2,6	2,7	2,5	NA	2,7	2,6
2002.04.18	NA	2,7	2,7	2,7	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	NA	2,8	2,9	2,5	2,7	2,5	2,6	2,7	2,6
2002.04.25	2,7	2,6	2,7	2,7	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,9	2,5	2,7	2,5	2,6	2,7	2,6
2002.04.30	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	2,9	2,9	2,6	2,7	2,5	2,7	2,7	2,6
2002.05.08	>2,9	2,7	2,7	>2,9	2,8	2,7	NA	2,6	2,6	2,8	2,9	2,9	>2,9	2,7	2,5	>2,9	2,7	2,6
2002.05.17	>2,9	2,7	2,7	>2,9	2,8	2,7	2,8	2,7	2,5	NA	2,9	2,9	>2,9	2,7	2,6	>2,9	2,8	2,6
2002.05.23	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,9	2,7	>2,9	2,7	2,5	2,8	2,8	2,9	>2,9	2,7	2,6	>2,9	2,7	2,6
2002.05.29	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,9	2,7	>2,9	2,7	2,5	NA	2,9	2,9	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6
2002.06.06	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6	2,8	2,9	2,9	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,6
2002.06.13	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,9	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,6
2002.06.20	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,8	2,9	>2,9	2,9	2,7	>2,9	2,8	>2,9

pF-Werte (Teil 2/2)

Versuchsanlage 2

Winterweizen 2002

Variante Parzelle	1 48b			2 67a			3 47a			4 50b			6 47b		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
2002.02.13	NA	2,3	2,6	NA	2,6	2,7	NA	2,4	2,3	NA	2,6	2,8	NA	NA	NA
2002.02.20	NA	2,3	2,6	NA	2,7	2,7	NA	2,4	2,3	NA	2,6	2,8	NA	NA	NA
2002.02.27	NA	2,2	2,5	NA	2,7	2,7	NA	2,3	2,4	NA	2,6	2,8	NA	NA	NA
2002.03.06	2,7	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	2,8	2,2	2,5	2,7	2,4	2,8	2,4	0,5	2,4
2002.03.11	2,3	2,1	2,1	2,7	2,7	2,7	2,8	2,2	2,5	2,8	2,4	2,8	2,5	0,6	2,3
2002.03.22	2,4	2,1	2,2	2,8	2,7	2,7	2,6	2,2	2,5	NA	2,4	2,8	2,7	1,5	2,3
2002.03.27	2,1	2,1	2,2	2,3	2,7	2,7	2,6	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,3	2,3
2002.04.05	NA	2,1	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,1	2,3	2,6	2,3	2,2	2,4	1,7	2,3
2002.04.12	2,5	2,1	2,2	2,7	2,6	2,6	2,7	2,1	2,3	2,6	2,4	2,3	2,6	1,7	2,2
2002.04.18	2,5	2,3	1,7	2,6	2,6	2,5	2,6	2,1	2,0	2,6	2,6	2,0	2,7	1,8	2,1
2002.04.25	2,7	2,3	1,8	2,6	2,6	2,4	2,7	2,0	2,1	2,8	2,6	1,9	2,6	1,8	2,1
2002.04.30	2,8	2,0	2,2	2,7	2,6	2,3	NA	2,1	2,0	2,8	2,7	2,0	2,7	1,9	2,5
2002.05.08	2,9	2,1	2,2	2,9	2,7	2,2	2,6	2,2	2,0	>2,9	2,7	2,4	>2,9	2,1	2,2
2002.05.17	2,9	2,2	2,3	2,9	2,7	2,3	>2,9	2,3	2,1	>2,9	2,7	2,0	>2,9	2,1	2,2
2002.05.23	2,9	2,3	2,2	2,9	2,8	2,4	>2,9	2,5	2,1	>2,9	2,7	2,1	>2,9	2,1	2,3
2002.05.29	2,9	2,3	2,2	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,5	2,1	>2,9	2,8	2,1	>2,9	2,2	2,2
2002.06.06	2,9	2,4	2,1	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,6	2,2	>2,9	2,8	2,1	>2,9	2,2	2,2
2002.06.13	>2,9	2,5	2,3	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,7	2,2	>2,9	2,8	2,0	>2,9	2,3	2,3
2002.06.20	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,0	>2,9	2,8	2,0	>2,9	2,3	2,3

Winterroggen 2003

Variante Parzelle	1 29b			2 28b			2 49a			3 28a			4 50b			6 31b		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
2003.03.12	2,5	2,5	2,6	NA	2,6	2,4	2,5	2,4	2,3	2,5	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3	2,5	2,4	2,5
2003.03.19	NA	2,6	2,6	2,4	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,2
2003.03.25	2,3	2,6	2,6	2,3	2,6	2,5	2,4	2,4	2,2	2,5	2,5	2,4	2,5	2,3	2,3	2,5	2,4	2,2
2003.04.05	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,7	2,5	2,3	2,7	2,3	2,3	2,6	2,4	2,2
2003.04.12	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,6	NA	2,4	2,3	2,7	2,5	2,5	2,7	2,4	2,3	2,6	2,4	2,3
2003.04.24	>2,9	2,7	2,6	2,5	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,7	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5
2003.04.29	>2,9	2,8	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4	2,6	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4	2,6	2,6	2,4
2003.05.07	>2,9	2,9	2,7	2,8	2,8	2,7	>2,9	2,7	2,4	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,6	2,5	NA	2,6	2,5
2003.05.15	>2,9	2,9	2,8	>2,9	2,8	2,8	>2,9	2,8	2,5	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,6	2,7	2,7	2,6
2003.05.26	>2,9	2,9	2,8	>2,9	2,8	2,8	>2,9	2,8	2,6	>2,9	2,8	2,7	>2,9	2,8	2,6	2,8	2,7	2,7
2003.06.01	>2,9	2,9	2,9	>2,9	2,9	2,8	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,9	2,7	>2,9	2,8	2,7	2,9	2,7	2,7
2003.06.06	>2,9	2,9	2,8	2,7	2,9	2,9	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,9	2,9	>2,9	2,7	2,6	2,9	2,8	2,7
2003.06.09	>2,9	2,9	2,8	2,8	2,9	2,9	>2,9	2,9	2,6	>2,9	2,9	2,9	>2,9	2,7	2,7	2,9	2,8	2,7

Anhang 9: Volumetrischer Wasseranteil (Teil 1/2)

Versuchsanlage 1
Winterweizen 2001

Variante Parzelle	2 5a			2 44a			2 55b			3 23b			4 22b			6 59a		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
Datum																		
2001.02.23	25,1	20,6	15,2	23,7	18,9	12,9	34,2	33,0	9,6	21,5	17,1	5,1	17,7	14,9	10,4	34,0	34,5	32,8
2001.03.02	25,0	20,5	15,6	23,5	19,1	13,3	33,9	33,0	9,7	21,2	17,4	5,1	17,1	15,2	10,5	33,9	34,6	32,8
2001.03.16	24,7	20,2	16,3	23,1	19,4	13,9	33,6	33,1	10,0	20,8	18,4	5,4	16,7	15,8	10,6	33,3	34,6	32,8
2001.03.28	25,0	20,0	16,7	23,4	19,4	14,0	35,5	33,2	10,2	21,0	18,6	5,8	16,6	15,9	10,7	34,8	34,5	32,8
2001.04.06	25,9	19,8	16,9	23,6	19,9	14,2	34,7	33,4	10,4	21,0	19,1	6,0	16,9	16,2	10,7	34,1	34,2	32,9
2001.04.13	26,6	19,5	17,2	22,7	20,2	14,4	33,3	33,6	10,6	20,1	19,2	6,3	16,5	16,8	11,5	32,8	34,3	33,0
2001.04.27	26,4	19,3	17,2	22,0	20,0	14,2	31,7	34,0	10,7	19,5	19,2	6,5	16,2	16,9	14,5	32,1	33,7	33,0
2001.05.03	24,8	18,4	17,2	19,3	19,0	14,0	28,7	33,5	10,6	17,7	19,4	7,1	15,1	17,7	16,0	28,6	33,3	33,4
2001.05.10	23,6	17,1	17,0	17,5	17,9	13,3	27,8	33,1	10,4	16,6	19,2	7,5	14,7	16,9	16,3	26,3	32,2	33,4
2001.05.18	21,6	14,8	16,8	15,2	16,1	12,7	27,0	32,0	10,3	14,8	19,0	7,7	13,5	17,1	16,5	23,7	29,3	33,4
2001.05.28	19,6	12,3	16,5	13,4	13,9	11,3	26,0	29,6	10,0	13,1	19,2	8,0	12,3	17,2	16,3	23,0	26,7	33,0
2001.05.31	19,1	11,7	16,4	12,8	13,3	10,8	25,6	28,5	9,9	12,6	19,4	8,1	12,0	17,2	16,2	22,2	26,1	33,0

Winterroggen 2002

Variante Parzelle	1 42a			2 25a			2 44a			3 7a			3 23b		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120
Datum															
2002.02.05	19,6	14,0	15,2	27,6	22,9	24,1	19,8	17,8	23,9	16,0	11,7	12,0	NA	20,4	9,0
2002.02.13	19,8	14,7	15,2	28,2	21,4	23,9	19,8	18,6	23,7	15,4	12,1	11,4	NA	21,3	8,3
2002.02.20	20,2	15,8	15,2	28,6	21,7	23,5	20,1	19,4	23,7	15,8	12,3	11,6	NA	22,6	8,4
2002.02.28	20,3	16,6	15,3	28,5	22,2	23,6	19,9	20,0	23,7	16,1	12,7	11,7	NA	24,0	8,5
2002.03.06	20,3	17,1	15,4	28,4	22,5	23,8	19,8	20,6	23,8	16,4	13,4	11,8	NA	25,1	8,6
2002.03.11	20,3	17,3	15,5	28,3	22,7	23,9	19,6	20,8	23,9	16,5	14,0	11,9	NA	25,6	8,6
2002.03.22	19,9	17,1	15,6	28,0	22,7	24,3	19,3	21,0	24,0	16,2	15,0	12,2	NA	25,9	8,8
2002.03.27	21,3	17,7	15,7	29,8	22,8	24,5	21,0	21,6	24,1	17,4	15,1	12,2	NA	25,9	8,9
2002.04.05	21,5	19,4	15,8	29,3	23,8	24,7	20,6	23,0	24,3	NA	15,9	12,4	NA	27,3	9,1
2002.04.12	21,1	19,1	16,0	28,9	23,9	25,0	20,1	23,2	24,6	NA	16,3	12,5	NA	27,3	9,4
2002.04.18	21,0	18,9	16,1	28,9	23,8	25,2	20,5	23,2	24,8	NA	16,6	12,6	NA	27,7	9,7
2002.04.25	21,2	19,1	16,4	28,9	24,0	25,5	20,5	23,7	25,0	NA	16,9	12,9	NA	28,2	10,3
2002.04.30	21,0	18,9	16,7	28,8	24,1	25,7	20,3	23,8	25,1	NA	17,0	13,1	NA	28,5	10,8
2002.05.08	20,5	18,0	17,2	28,1	23,9	26,1	19,7	23,6	25,3	NA	17,0	13,5	NA	28,5	11,7
2002.05.17	19,8	16,8	17,7	27,1	23,5	26,3	19,0	23,0	25,2	NA	16,8	13,8	NA	NA	NA
2002.05.23	18,7	15,5	18,0	25,0	23,1	26,4	18,1	22,3	25,1	NA	16,6	14,4	NA	27,5	12,6
2002.05.29	18,3	14,5	18,2	24,1	22,8	26,4	17,4	21,4	24,9	NA	16,3	14,2	NA	27,1	12,6
2002.06.06	17,2	13,2	18,3	22,1	22,2	26,3	16,5	20,1	24,8	NA	16,0	14,3	NA	26,4	12,5
2002.06.13	17,0	12,5	18,3	22,1	22,0	26,2	16,1	19,2	24,5	NA	15,8	14,4	NA	25,6	12,3
2002.06.20	16,8	11,9	18,4	22,2	22,0	26,3	16,1	18,3	24,4	NA	15,7	14,5	NA	25,6	12,2

Variante Parzelle	4 4b			4 22b			6 59a		
	40	80	120	40	80	120	40	80	120
Datum									
2002.02.05	28,2	18,6	NA	24,2	13,3	22,0	28,4	15,6	8,7
2002.02.13	28,5	18,7	NA	23,9	13,7	22,0	28,5	16,2	8,7
2002.02.20	28,8	19,3	NA	24,4	14,2	21,9	28,8	16,8	8,8
2002.02.28	28,7	19,5	NA	23,6	14,7	21,9	28,8	17,3	8,8
2002.03.06	28,6	19,6	11,8	23,0	14,9	21,9	28,6	17,6	8,9
2002.03.11	28,4	19,5	12,1	22,7	14,4	21,9	28,5	17,8	9,0
2002.03.22	27,9	19,3	12,5	21,8	14,7	21,9	28,0	17,8	9,3
2002.03.27	29,6	20,2	12,7	25,8	15,3	21,9	29,8	18,1	9,4
2002.04.05	29,2	20,5	13,3	23,8	15,9	22,0	29,4	19,2	9,6
2002.04.12	28,7	20,2	13,8	22,8	16,3	22,1	29,0	19,2	9,9
2002.04.18	28,7	20,2	14,2	22,7	16,6	22,0	29,1	19,2	10,1
2002.04.25	28,7	20,3	14,5	22,7	16,0	22,0	29,2	19,5	10,4
2002.04.30	28,5	20,3	14,7	22,3	16,1	22,1	29,0	19,6	10,7
2002.05.08	27,7	19,9	15,1	21,4	15,8	22,0	28,2	19,4	11,1
2002.05.17	26,7	19,5	15,2	18,9	15,3	22,0	27,1	19,3	11,3
2002.05.23	24,7	NA	NA	17,4	14,6	21,9	25,3	18,6	11,3
2002.05.29	23,2	NA	NA	17,2	14,1	21,7	24,4	18,1	11,2
2002.06.06	21,2	NA	NA	16,5	13,4	21,5	22,6	17,4	11,0
2002.06.13	18,2	NA	NA	16,6	13,1	21,2	22,4	17,2	10,8
2002.06.20	18,0	NA	NA	16,6	12,8	21,0	22,2	16,9	10,7

Volumetrischer Wasseranteil (Teil 2/2)

Versuchsanlage 2

Winterweizen 2002

Variante Parzelle	1 48b			2 14a			2 28b			2 49a			3 23b			3 47a			4 50b			6 47b			
	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	40	80	120	
Datum																									
2002.02.05	11,0	11,0	11,1	13,4	13,4	12,9	16,8	10,3	14,7	10,4	7,5	12,1	20,8	11,8	9,6	17,3	14,8	15,1	19,7	19,7	8,5	20,9	20,9	22,0	
2002.02.13	17,9	11,1	11,4	15,0	13,7	12,6	15,0	10,5	14,9	9,9	7,8	12,4	21,4	12,0	9,7	14,9	14,8	14,4	20,9	20,1	8,5	18,2	21,9	21,9	
2002.02.20	19,2	11,2	11,6	15,2	13,4	12,2	15,3	10,1	15,0	9,6	7,9	12,6	21,4	12,4	9,7	15,1	15,5	14,2	21,2	20,5	8,6	18,5	22,4	22,3	
2002.02.28	18,2	11,5	11,7	14,9	14,1	12,0	14,0	10,8	15,3	9,2	8,0	12,6	20,5	13,2	9,8	14,9	16,5	14,0	20,6	20,8	8,6	17,9	22,6	22,5	
2002.03.06	17,8	11,8	11,9	14,7	14,4	11,9	13,4	11,0	15,5	9,0	8,3	12,8	20,0	14,1	9,8	14,7	17,3	14,0	20,3	21,0	8,7	17,7	22,6	22,7	
2002.03.11	17,6	12,0	12,1	14,5	14,7	12,0	13,2	11,1	15,7	8,8	8,7	13,0	19,4	14,5	9,8	14,5	17,6	14,0	19,9	21,2	8,8	17,5	22,5	22,8	
2002.03.22	19,2	12,5	12,6	25,8	15,0	11,9	28,4	11,5	16,0	14,4	11,9	13,3	22,1	15,0	10,1	15,2	17,7	14,2	21,8	21,2	10,0	23,6	22,3	22,9	
2002.03.27	24,1	12,6	12,7	20,1	15,2	11,9	19,6	12,0	16,1	13,6	12,1	13,4	23,8	15,1	10,3	18,3	18,1	14,2	26,2	21,6	10,0	21,3	23,8	23,0	
2002.04.05	20,7	13,8	13,1	17,0	16,3	11,9	15,4	12,4	16,2	13,4	11,3	13,6	20,9	16,9	10,4	16,5	19,5	14,4	22,6	22,8	10,0	19,2	24,1	23,8	
2002.04.12	19,1	14,1	13,5	15,9	16,3	12,0	14,2	12,2	16,4	10,4	13,9	13,8	19,3	17,0	10,8	15,3	19,2	14,7	21,0	22,7	10,1	18,1	23,8	24,0	
2002.04.18	19,2	14,2	13,9	16,1	16,4	12,1	14,1	12,2	16,5	11,4	14,0	14,0	20,1	17,0	11,1	14,9	19,1	15,8	21,2	20,6	10,1	19,1	23,7	24,0	
2002.04.25	18,6	14,5	14,4	15,7	16,6	12,1	13,7	12,3	16,7	10,7	14,3	14,4	19,5	17,1	11,6	15,4	19,4	15,3	21,0	22,7	10,3	18,2	23,8	24,1	
2002.04.30	17,7	14,6	14,9	15,0	16,7	12,2	13,1	12,2	16,9	10,2	14,3	14,8	19,7	17,1	11,8	14,7	19,3	15,6	19,9	22,6	10,4	17,4	23,5	24,2	
2002.05.08	15,6	14,3	15,7	13,9	16,4	12,4	11,2	12,0	17,1	9,2	14,2	15,6	17,2	16,6	12,1	13,1	18,9	16,1	17,5	21,9	10,6	15,8	22,5	24,0	
2002.05.17	14,0	13,5	16,2	11,0	16,0	12,5	9,9	11,5	17,4	7,9	13,6	16,6	13,2	15,5	12,2	11,1	18,0	16,3	16,1	20,6	10,8	14,6	21,2	23,6	
2002.05.23	12,5	12,4	16,2	9,6	15,3	12,5	9,0	10,7	17,5	6,5	12,6	16,7	12,1	13,9	12,1	9,5	16,9	16,3	14,6	18,5	11,0	13,0	18,8	23,1	
2002.05.29	12,1	11,9	16,1	9,3	15,1	12,4	8,8	10,3	17,6	6,2	12,5	16,6	11,6	13,2	12,1	9,2	16,5	16,3	14,2	17,7	11,0	12,5	18,0	22,9	
2002.06.06	11,2	11,0	15,9	8,3	14,4	12,4	8,1	9,2	17,6	5,5	11,5	16,3	10,4	11,6	11,9	8,4	15,2	16,2	13,0	16,4	11,0	11,4	16,2	22,9	
2002.06.13	11,1	10,6	15,7	8,3	14,3	12,3	8,2	9,2	17,6	5,4	11,9	16,0	10,4	11,6	11,7	8,3	15,5	16,1	12,9	16,1	11,1	11,2	15,9	21,5	
2002.06.20	11,0	10,4	15,6	8,1	14,1	12,2	8,5	9,0	17,7	5,3	11,7	15,8	10,3	11,1	11,7	8,1	15,0	16,1	12,9	15,9	10,9	10,9	15,2	21,0	

Winterroggen 2003

Variante Parzelle	1 29b				1 48b				2 28b				2 49a				3 28a								
	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120					
Datum																									
2003.02.04	NA	29,0	12,7	12,2	NA	23,3	26,7	13,1	NA	19,4	NA	8,4	NA	27,4	20,7	18,1	NA	23,4	12,8	4,6					
2003.02.20	NA	26,2	12,5	12,5	NA	21,5	25,6	13,2	NA	17,8	1,5	6,7	NA	25,3	20,6	17,3	NA	21,7	13,1	5,7					
2003.02.25	NA	25,7	12,6	12,6	NA	21,2	25,3	13,0	NA	17,5	1,9	6,5	NA	25,1	20,5	17,1	NA	21,4	13,1	5,9					
2003.03.06	NA	25,3	10,9	13,4	NA	20,4	24,7	12,6	NA	17,3	9,3	6,1	NA	25,1	20,4	17,0	NA	21,2	12,8	6,5					
2003.03.12	29,4	25,3	12,4	14,3	24,1	20,5	24,5	13,5	27,4	19,4	10,9	NA	28,5	25,4	20,5	17,5	28,9	21,3	15,3	9,5					
2003.03.19	21,7	25,3	12,6	15,8	21,2	20,7	24,5	13,4	10,3	19,6	11,6	5,8	20,2	25,4	20,7	18,1	17,6	21,3	16,1	12,9					
2003.03.25	20,3	25,2	12,7	15,6	13,7	20,7	24,4	13,6	15,0	19,5	11,7	5,7	19,3	25,3	20,7	18,2	16,0	21,2	16,5	13,4					
2003.04.05	17,5	24,8	22,4	17,7	14,2	26,7	23,9	14,9	15,6	19,8	15,3	5,7	17,3	25,0	26,6	NA	19,4	20,8	19,0	14,0					
2003.04.12	18,1	24,7	22,4	17,3	19,3	26,5	23,7	15,1	19,1	19,7	15,1	5,6	21,3	24,9	26,6	18,3	20,6	20,7	21,9	15,4					
2003.04.24	12,6	23,6	21,9	18,2	9,9	23,7	23,4	15,8	13,4	18,9	15,2	5,4	11,3	24,8	26,0	18,6	12,4	19,8	21,7	15,5					
2003.04.29	18,3	23,1	21,3	17,9	13,8	22,2	23,5	15,9	13,0	18,3	14,9	5,4	17,8	24,3	25,5	18,6	10,7	19,4	21,7	15,6					
2003.05.07	11,6	21,4	19,2	17,3	10,9	19,6	22,3	15,7	12,1	16,0	13,9	5,2	10,5	23,3	24,0	18,6	8,2	18,1	20,6	16,1					
2003.05.15	27,0	20,8	18,6	15,7	20,7	18,8	20,8	15,1	21,0	15,6	13,6	5,1	20,2	22,3	22,7	18,1	27,1	17,6	19,7	16,0					
2003.05.26	14,9	20,7	18,3	15,1	10,2	18,9	19,6	14,7	19,7	15,5	13,3	5,9	20,7	22,1	22,1	17,6	14,4	17,6	19,1	16,5					
2003.06.01	16,0	20,3	17,6	14,9	10,0	18,6	19,0	14,8	11,7	15,2	12,8	5,9	14,2	21,6	21,3	17,6	21,3	17,2	18,6	16,7					
2003.06.06	10,6	16,6	19,4	14,8	7,5	18,2	18,4	14,7	NA	14,7	8,0	5,9	10,1	20,8	20,5	17,6	7,5	16,4	18,0	16,6					
2003.06.09	15,5	19,4	16,6	14,7	10,3	18,2	18,4	14,6	13,3	14,7	8,8	6,0	14,3	20,7	20,2	17,7	14,8	16,4	17,9	16,4					

Variante Parzelle	3 47a				4 32a				4 50b				6 31b				6 47b									
	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120	10	40	80	120						
Datum																										
2003.02.04	NA	9,7	9,4	28,7	NA	18,3	29,1	NA	NA	18,8	20,4	12,0	NA	27,6	15,9	19,2	NA	20,2	17,0	22,0						
2003.02.20	NA	9,3	9,1	27,7	NA	16,4	27,4	NA	NA	15,4	19,4	11,7	NA	26,3	15,8	18,8	NA	18,8	16,3	21,6						
2003.02.25	NA	9,3	9,2	27,4	NA	16,2	27,0	NA	NA	15,0	19,3	11,3	NA	26,2	16,0	18,5	NA	18,8	16,1	21,6						
2003.03.06	NA	7,8	7,6	26,8	NA	15,5	26,5	11,9	NA	14,9	19,5	10,9	NA	25,7	22,1	18,3	NA	19,3	16,1	22,0						
2003.03.12	25,8	9,3	8,2	26,6	26,1	16,5	26,3	11,8	26,3	15,5	22,8	11,6	24,5	25,3	24,6	14,7	29,8	20,6	18,8	22,7						
2003.03.19	15,0	10,5	10,6	26,5	20,3	19,3	26,2	13,6	21,4	19,4	22,9	11,9	NA	25,5	24,9	21,0	23,6	21,0	20,6	23,4						
2003.03.25	14,7	10,8	11,0	26,5	16,2	20,5	26,1	13,7	13,4	19,2	23,0	11,9	19,3	25,4	25,0	23,5	17,2	21,1	20,6	23,8						
2003.04.05	17,1	14,7	12,7	26,3	20,7	25,4	25,6	13,7	17,5	19,1	22,9	11,9	14,8	25,8	25,7	23,6	13,1	21,3	20,7	24,7						
2003.04.12	22,6	14,7	10,5	26,1	20,2	25,3	25,5	13,5	19,3	19,9	22,9	11,7	25,2	25,8	25,7	23,4	24,3	21,3	20,4	24,4						
2003.04.24	10,7	14,7	11,8	25,5	11,3	24,7	24,7	14,0	NA	18,8	21,9	11,6	12,5	25,1	25,9	23,4	16,4	21,2	20,1	25,0						
2003.04.29	18,3	14,6	11,8	25,1	13,8	24,3	24,2	14,4	11,4	18,2	21,4	10,7	13,6	24,7	26,2	24,3	12,7	21,0	19,8	25,3						
2003.05.07	11,3	13,8	11,8	24,0	8,8	22,7	22,8	15,8	14,1	NA	19,7	11,0	9,7	22,8	24,9	2										

Anhang 10: N-Aufnahme durch die erste und zweite Nachfrucht**Winterweizen**

Parzelle	Variante	2001 Versuchsanlage 1			2002 Versuchsanlage 2		
		März kg/ha	Mai kg/ha	Juli kg/ha	März kg/ha	Mai kg/ha	Juli kg/ha
8a	1	18	85	67	21	80	132
39b	1	21	72	68	32	77	117
42a	1	17	72	65	33	89	122
57b	1	28	97	78	29	90	107
5a	2	29	86	76	21	127	103
25a	2	27	106	75	33	77	104
44a	2	24	104	53	19	70	77
55b	2	33	87	75	26	90	95
7a	3	14	65	65	27	84	108
23b	3	22	68	82	24	156	99
39a	3	25	82	78	18	120	104
59b	3	22	88	69	31	87	98
4b	4	20	72	74	25	153	106
22b	4	23	77	66	28	112	119
38b	4	18	67	56	26	77	96
55a	4	25	95	67	20	72	109
2a	5	8	61	65	15	61	65
26a	5	9	69	78	19	42	66
37b	5	13	70	39	22	56	59
60a	5	16	59	65	19	48	58
15b	6	16	77	76	20	51	80
33b	6	20	69	69	22	59	96
43b	6	24	89	57	23	86	73
58b	6	28	95	73	19	53	79

Winterroggen

Parzelle	Variante	2002 Versuchsanlage 1			2003 Versuchsanlage 2		
		März kg/ha	Mai kg/ha	Juli kg/ha	März kg/ha	Mai kg/ha	Juli kg/ha
10b	1	23	77	60	3	71	55
29b	1	19	41	63	5	126	58
48b	1	13	65	48	7	91	77
68a	1	24	50	69	7	87	102
14a	2	28	46	60	4	118	85
28b	2	21	79	67	4	102	75
49a	2	13	63	48	2	94	63
67a	2	33	69	79	5	89	72
13b	3	17	59	46	5	108	78
28a	3	18	71	44	5	112	84
47a	3	13	59	47	2	89	59
66a	3	26	49	67	5	88	67
10a	4	17	43	52	4	76	63
32a	4	18	41	52	5	106	71
50b	4	22	46	48	4	87	65
65b	4	26	49	52	3	99	60
12a	5	18	38	50	5	91	66
31b	5	14	80	58	6	95	69
46b	5	19	38	39	3	79	69
67b	5	16	42	50	5	55	58
11b	6	21	36	41	2	128	52
31b	6	18	44	58	4	103	74
47b	6	16	41	53	6	90	48
68b	6	23	66	58	6	69	58

Anhang 11: Kornertrag und Rohproteingehalt der ersten und zweiten Nachfrucht

Winterweizen					
		2001 Versuchsanlage 1		2002 Versuchsanlage 2	
Parzelle	Variante	Ertrag	RP	Ertrag	RP
		kg/ha	%	kg/ha	%
8a	1	3089	11,8	4248	15,1
39b	1	2699	14,6	4270	13,7
42a	1	2971	12,0	4336	15,0
57b	1	2786	15,0	3388	16,1
5a	2	2791	14,2	4188	11,6
25a	2	2903	14,4	3902	14,0
44a	2	2631	10,7	3703	11,1
55b	2	2743	13,3	3762	12,1
7a	3	2516	14,5	4120	14,6
23b	3	2763	15,3	3867	13,3
39a	3	2729	14,1	4177	13,4
59b	3	2603	14,0	3448	13,9
4b	4	3415	11,5	3906	13,5
22b	4	3054	11,1	4117	14,1
38b	4	2828	10,6	3783	12,6
55a	4	3070	11,5	4011	13,2
2a	5	2706	12,9	3307	10,3
26a	5	2640	16,0	3549	9,5
37b	5	1936	10,9	3432	9,2
60a	5	2715	12,6	3147	9,8
15b	6	3644	11,5	4209	9,3
33b	6	3211	12,4	4470	11,1
43b	6	2940	10,5	3852	9,9
58b	6	3127	12,0	3929	9,7

Winterroggen					
		2002 Versuchsanlage 1		2003 Versuchsanlage 2	
Parzelle	Variante	Ertrag	RP	Ertrag	RP
		kg/ha	%	kg/ha	%
10b	1	2522	9,8	2423	10,5
29b	1	2849	9,5	2884	9,3
48b	1	2201	8,4	3366	8,4
68a	1	3070	9,5	3550	12,0
14a	2	2501	9,6	3515	10,6
28b	2	2603	11,2	2929	10,4
49a	2	2122	9,0	2893	8,8
67a	2	3301	10,2	3140	10,3
13b	3	2000	9,5	3095	9,4
28a	3	1802	10,3	3383	10,5
47a	3	2014	9,6	2730	8,4
66a	3	2813	9,1	2814	9,0
10a	4	1977	9,6	2992	9,4
32a	4	2476	9,1	3234	9,2
50b	4	2265	9,2	2881	8,6
65b	4	2250	9,3	3094	9,2
12a	5	2461	9,1	3045	9,0
31b	5	2604	9,4	3197	8,9
46b	5	1780	8,2	2894	10,0
67b	5	2235	8,0	2727	8,9
11b	6	2049	8,9	2776	8,2
31b	6	2551	9,4	3210	9,1
47b	6	2254	9,2	2535	8,0
68b	6	2571	9,0	2392	9,0