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

Optimierungsstrategien für den Getreideanbau im ökologischen Landbau: System „weite Reihe“ und Direktsaat in ausdauernden Weißklee („Bi-cropping“)

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

vorgelegt von

Dipl.-Ing. agr. Helge Jan Neumann

aus Bad Oldesloe

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

Tag der mündlichen Prüfung: 28. April 2005

Kiel 2005

Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; Heft 43, 2005

ISSN: 1435-2613

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Einfluss von Reihenabstand, Sortentyp, Saatstärke und Intensität der mechanischen Pflege auf Leistungsparameter von Winterweizen im ökologischen Landbau	13
3 Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture. I. Agronomical management and performances in the first year	43
4 Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture. II. Agronomical management and performances in the second course	75
5 Zusammenfassende Diskussion	107
5.1 Anbausystem „weite Reihe“	109
5.2 Anbausystem „Bi-cropping“	110
5.3 Schlussbetrachtung und Ausblick	117
6 Zusammenfassung, Summary	123

Abbildungsverzeichnis**Kapitel 1**

- Abb. 1 Drillweiten im Getreideanbau in Deutschland um 1958 (kartografische Darstellung der Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage bei Landwirtschaftsschulen und Wirtschaftsberatungsstellen (n = 452); Abbildung aus Boekholt (1958)) 5
- Abb. 2 „Bi-cropping“ durch wiederholte Direktsaat von Getreide in einen ausdauernden Weißkleebestand (schematische Darstellung nach Angaben in Clements (1998); Abbildung aus Neumann et al. (2003), verändert). Die erste Anlage des Klees kann aus einer Untersaat erfolgen. 7

Kapitel 2

- Abb. 1 Monatliche Niederschlagssummen (mm) und Durchschnittstemperaturen (°C) am Versuchsstandort im Untersuchungszeitraum 1999 bis 2003 19
- Abb. 2 Einfluss der Wechselwirkung Sorte*Reihenweite (SE/Sign. = 0,3*) auf den Kornrohproteingehalt (%) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (3); Mittel der Versuchsjahre 2001 und 2003; signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet; test of effect slices, slice = Sorte) 28

Kapitel 3

- Abb. 1 Sum of precipitation (mm) as well as mean of average daily temperature (°C) during the experimental years 2001-2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau) 49
- Abb. 2 Impact of the interaction year*sowing technique on grain yield (dt/ha) (top) and grain crude protein content (%) (bottom) of winter wheat (experiment (1); mean of four replicates; Plo: Ploughing; Bic: Bi-cropping; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction, different letters mark significant differences between sowing techniques within each experimental year; test of effect slices, slice = year) 55
- Abb. 3 Impact of the interaction year*date of sampling on the amount of NO₃-N in the soil (kg/ha) (0-90 cm) (experiment (5), mean of two sowing techniques (bi-cropping (i); ploughing); levels of significances refer to test of effect slices, slice = year) 61
- Abb. 4 Calculated cumulative amounts of leaching water (mm) and weekly measured concentrations of NO₃-N in the leachate (ppm) during the sampling periods 2001/02 (13.11. to 20.3.) and 2002/03 (6.11. to 18.3.) subject to sowing after ploughing and bi-cropping technique, respectively (experiment (5); *: no data due to frozen soil) 63

Kapitel 4

Abb. 1	Sum of precipitation (mm) as well as mean of average daily temperature (°C) at the experimental site during the years 2002-2004 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)	80
Abb. 2	Grain yield (dt/ha) of rye and oats as grown after wheat/clover bi-cropping or after cultivation of pure wheat (experiment (1); interaction preceding crop*subsequent crop; mean of two years and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; Pr > F: level of significance of test of effect slices, slice = subsequent crop)	86
Abb. 3	Impact of the interaction experimental year*sowing technique on cereal grain yield (dt/ha) after preceding winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of rye and oats and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; Pr > F: level of significance of test of effect slices, slice = experimental year)	88
Abb. 4	Impact of the interaction sowing technique*cereal crop on grain yield (dt/ha) of cereals grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of two years and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; Pr > F: level of significance of test of effect slices, slice = cereal crop)	88
Abb. 5	Calculated cumulative amounts of leaching water (mm) and weekly measured concentrations of NO ₃ -N in the leachate (ppm) during the sampling periods 2002/03 (13.11.2002 to 18.3.2003) and 2003/04 (19.11.2003 to 17.3.2004) subject to different sowing techniques and preceding crops (experiments (4) and (5); mean of four replicates; *: no data due to frozen soil)	93

Kapitel 5

Abb. 1	„Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee im ökologischen Anbau – Abfolge von Anbaumaßnahmen und Einordnung in die Fruchtfolge (schematische Darstellung; siehe Kapitel 3 und 4). Vor der Direktsaat des Winterweizens muss der Weißklee bis an seine Überlebensgrenze gefräst werden. Für den „Bi-cropping“-Anbau sollten nur Flächen ausgewählt werden, die frei von Problemunkräutern sind. Der Verzicht auf den Einsatz des Pfluges bedingt eine erhöhte Gefahr der Ausbreitung von Wurzelunkräutern.	113
--------	--	-----

Tabellenverzeichnis**Kapitel 2**

Tab. 1	Niederschläge (mm) und Temperaturen (°C) am Versuchsstandort in den Versuchsjahren 1999 bis 2003 im Vergleich zum langjährigen Mittel 1980-2003 (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Kiel-Holtenau)	19
Tab. 2	Versuchsfaktoren, Faktorstufen sowie Untersuchungsparameter der „weite Reihe“-Experimente in den Erntejahren 1999 bis 2003	21
Tab. 3	Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration und NIRS-Validation für den Stickstoffgehalt (%) im Korn sowie in der oberirdischen Sprossmasse von Winterweizen in den Erntejahren 1999 bis 2003 (n: Anzahl der Kalibrationsproben, Mw: Mittelwert der Kalibrationsproben, min-max: minimaler-maximaler Wert, SD: Standardabweichung, SEC: Standardschätzfehler der Kalibration, SEV: Standardschätzfehler unabhängiger Validationsproben, RSQ: Bestimmtheitsmaß)	22
Tab. 4	F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalysen für den Einfluss der in den Experimenten (1)-(4) getesteten Faktoren auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt und N-Entzug mit dem Korn	25
Tab. 5	Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte, Aussaatstärke und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den N-Entzug mit dem Korn (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (1), „Saatstärke“; Mittel über drei Wiederholungen)	26
Tab. 6	Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte, Intensität der mechanischen Pflege und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (2), „mechanische Pflege“; Mittel über drei Wiederholungen)	27
Tab. 7	Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (3), „extremer Weitreihenbau“; Mittel über drei Wiederholungen)	28
Tab. 8	Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (4), „Jahreseffekte“; Mittel über drei Wiederholungen)	29
Tab. 9	F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalyse für den Einfluss der Faktoren Versuchsjahr, Reihenweite und Sorte auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt (RP), Tausendkornmasse (TKM), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m ²), Anzahl an Körnern je Ähre (K./Ähre), Einzelährenertrag (EÄE) und N-Aufnahme in die Sprossmasse (N-Aufn.) in den Jahren 1999, 2001 und 2002 (Experiment (5), „Ertragsstruktur“; n = 81; Mittel über drei Wiederholungen)	30

Tab. 10	Einfluss von Reihenweite, Weizensorte und Versuchsjahr auf die Parameter Kornertrag (dt/ha), Kornrohproteingehalt (RP) (%), Tausendkornmasse (TKM) (g), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m ²), Anzahl Körner je Ähre, Einzelährenertrag (EÄE) (g) und N-Aufnahme in die Sprossmasse (N-Aufn.) (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen in den Jahren 1999, 2001 und 2002 (Experiment (5), „Ertragsstruktur“; Mittel über drei Wiederholungen)	31
Tab. A1	F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalyse für den Einfluss der Faktoren Reihenweite (R), Aussaatstärke (A) und Sorte (S) auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt (RP), Tausendkornmasse (TKM), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m ²), Anzahl Körner je Ähre (K./Ähre) sowie den Harvest-Index (HI) von ökologisch angebautem Winterweizen im Jahr 1999 (n = 108; Mittel über drei Wiederholungen)	41
Tab. A2	Einfluss der Aussaatstärke (Körner/m ²) auf die Parameter Kornertrag (dt/ha), Kornrohproteingehalt (RP) (%), Tausendkornmasse (TKM) (g), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m ²), Anzahl Körner je Ähre sowie den Harvest-Index von ökologisch angebautem Winterweizen im Jahr 1999 (Mittel über drei Wiederholungen)	41

Kapitel 3

Tab. 1	Cumulative precipitation (mm) and mean temperature (°C) at the experimental site during the years 2001 to 2003 in comparison to the mean values of 1980 to 2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)	48
Tab. 2	Factors, factor levels and investigated parameters of the field experiments during 2001/02 and 2002/03	51
Tab. 3	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R) and sowing technique (S) on grain yield, grain crude protein content and yield structure of winter wheat (experiment (1); n = 181; mean of four replicates)	54
Tab. 4	Impact of sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and yield structure of winter wheat (experiment (1); mean of two years and four replicates)	55
Tab. 5	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R) and sowing technique (S) on dry matter yield (DM), crude protein content, NEL content, NEL yield and percentage of clover in total DM at the whole-crop silage stage (experiment (1); n = 48; mean of four replicates)	56
Tab. 6	Impact of the interaction row spacing*sowing technique on dry matter yield (DM) (g/m ²), N uptake (kg/ha), crude protein content (%), NEL content (MJ/kg DM), NEL yield (MJ/ha) and percentage of clover in total DM (%) at the whole-crop silage stage (experiment (1); mean of two years and four replicates)	56

Tab. 7	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R), sowing technique (S) and white clover variety (V) on grain yield, grain crude protein content and yield structure of winter wheat (experiment (2); n = 108; mean of four replicates)	57
Tab. 8	Impact of sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and yield structure of winter wheat (experiment (2); mean of four replicates)	58
Tab. 9	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y) and variety of white clover (V) on dry matter yield (DM), N uptake, crude protein content, NEL content and NEL yield of total harvestable biomass as well as on dry matter yield, clover content, crude protein content and NEL content of bi-cropped clover alone at the whole-crop silage stage (experiment (3); n = 24; mean of four replicates)	58
Tab. 10	Impact of variety of white clover on dry matter yield (DM) (g/m ²), N uptake (kg/ha), crude protein content (%), NEL content (MJ/kg DM) and NEL yield (MJ/ha) of total harvestable biomass as well as on dry matter yield (g/m ²), clover content (%), crude protein content (%) and NEL content (MJ/kg DM) of bi-cropped clover alone at the whole-crop silage stage (experiment (3); mean of four replicates)	59
Tab. 11	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y) and sowing technique (S) on residual dry matter (DM), N amount and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); n = 24; mean of four replicates)	59
Tab. 12	Impact of sowing technique on residual dry matter (DM) (g/m ²), N amount (g/m ²) and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); mean of two years and four replicates)	60
Tab. 13	Impact of the interaction experimental year*sowing technique on residual dry matter (g/m ²), N amount (kg/ha) and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); mean of four replicates)	60
Tab. 14	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), sowing technique (S) and date of sampling (D) on the amount of NO ₃ -N in the soil (0-90 cm) (experiment (5); n = 16)	61
Tab. 15	Impact of sowing technique on the amount of NO ₃ -N in the soil (0-90 cm) (experiment (5); mean of two years and two sampling dates (begin, end of leaching period); see Figure 4)	61
Tab. 16	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and sowing technique (S) on the amount of NO ₃ -N leaching losses (experiment (5); n = 16; mean of four replicates)	64
Tab. 17	Impact of leaching period and sowing technique on the amount of NO ₃ -N leaching losses (kg/ha) (experiment (5); mean of four replicates)	64

Kapitel 4

Tab. 1	Cumulative precipitation (mm) and mean temperature (°C) at the experimental site during the years 2002-2004 in comparison to the mean values of 1980-2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)	79
Tab. 2	Factors, factor levels and investigated parameters of the field experiments during 2002/03 and 2003/04	82
Tab. 3	Biennial cropping systems consisting of crops tested in preceding experiments (Neumann et al., in prep a) plus crops tested in present study (row spacing of cereals 12 cm, experiments with four replicates)	83
Tab. 4	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), preceding crop (PC) and subsequent crop (SC) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats (experiment (1); n = 32, mean of four replicates; rye and oats sown after autumn- and spring-ploughing, respectively)	85
Tab. 5	Impact of preceding crop, subsequent crop and experimental year on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats (experiment (1); mean of four replicates; rye and oats sown after autumn- and spring-ploughing, respectively)	85
Tab. 6	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), cereal species (C) and sowing technique (S) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); n = 32, mean of four replicates)	87
Tab. 7	Impact of cereal species, sowing technique and experimental year on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of four replicates)	87
Tab. 8	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), sowing technique (S) and row spacing (R) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (3 a) (see text); n = 32; mean of four replicates)	90
Tab. 9	Impact of experimental year, sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (3 a) (see text); mean of four replicates)	90
Tab. 10	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), subsequent crop (SC) and row spacing (R) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats grown in the bi-cropping (ii) system (experiment (3 b) (see text); n = 32; mean of four replicates; preceding crop winter wheat/white clover bi-cropping)	91

Tab. 11	Impact of experimental year, subsequent crop and row spacing on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats grown in the bi-cropping (ii) system (experiment (3 b) (see text); mean of four replicates; preceding crop winter wheat/white clover bi-cropping)	91
Tab. 12	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and preceding crop (PC) on the amount of NO ₃ -N leaching losses during the winter following autumn-ploughing of preceding crop residues (experiment (4); n = 16; mean of four replicates)	94
Tab. 13	Impact of leaching period and preceding crop on the amount of NO ₃ -N leaching losses (kg/ha) during the winter following autumn-ploughing of preceding crop residues (experiment (4); mean of four replicates)	94
Tab. 14	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and sowing technique (S) on the amount of NO ₃ -N leaching losses during the winter following wheat/clover bi-cropping (experiment (5); n = 32; mean of four replicates)	95
Tab. 15	Impact of leaching period and sowing technique on the amount of NO ₃ -N leaching losses (kg/ha) during the winter following wheat/clover bi-cropping (experiment (5); mean of four replicates)	95
Tab. 16	F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of biennial cropping period (P) and biennial cropping system (S) on grain equivalent and energy efficiency (n = 48; mean of four replicates)	96
Tab. 17	Grain equivalent (GE/ha) and energy efficiency (GE/GJ) of different biennial cropping systems (for definition of systems see Table 3) (mean of two biennial cropping periods and four replicates)	96
Tab. A1	Data used for calculations of energy efficiency of biennial cropping systems (see Table 3) (input data compiled for the conditions of the study site by Kelm, 2004)	105

Kapitel 5

Tab. 1	Einfluss der Ansaattechnik, des Ansaatzeitpunktes sowie des Weizenpartners auf den Kornertrag (dt/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen im Erntejahr 2003 (Reihenweite 36 cm, Mittel über vier Wiederholungen)	114
--------	---	-----

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of variance
Aufn.	Aufnahme
Bic	Bi-cropping
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis
DM	Dry matter
DR	Doppelreihe
dt	Dezitonne
EÄE	Einzelährenertrag
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
ETp	Potentielle Evapotranspiration
Exp.	Experiment
g	Gramm
GE	Getreide-Einheit
ha	Hektar
HI	Harvest-Index
k	Bestandeskoeffizient (zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration von Pflanzenbeständen in Relation zu der potentiellen Evapotranspiration von Grasreferenzbeständen)
K.	Körner
kg	Kilogramm
max	Maximaler Wert
mbar	Millibar
ME	Umsetzbare Energie
min	Minimaler Wert
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
Mw	Mittelwert
n	Anzahl der Beobachtungswerte
N	Stickstoff
n.s.	Nicht signifikant
NEL	Netto Energie Laktation
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NO ₃	Nitrat
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
Plo	Ploughing
ppm	Pars per million
RP	Rohprotein
RSQ	Bestimmtheitsmaß
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
SEC	Standardschätzfehler der Kalibration
SEV	Standardschätzfehler der Validation
Sign.	Signifikanzniveau
Str.	Striegeln
Tkm	Tausendkornmasse
Tkw	Thousand kernel weight
Wcs	Whole crop silage



Kapitel 1

Einleitung und Problemstellung

1.1 Hintergrund

Da im System des ökologischen Landbaus auf chemisch-synthetisch hergestellte Düngemittel verzichtet wird (Anonymus, 1991), ist insbesondere der Anbau von Kulturen, die höhere Ansprüche an die Stickstoffversorgung stellen, erschwert. So lassen sich beispielsweise im ökologischen Winterweizenanbau die Kornqualitäten, die für eine Vermarktung als Backgetreide erforderlich sind, vielfach nicht erzielen (Ruhe, 2000; Taylor et al., 2001).

Die N-Versorgung der Fruchtfolge erfolgt im ökologischen Landbau hauptsächlich über den Anbau von Luftstickstoff-fixierenden Leguminosen (Anonymus, 1991; Köpke, 2000). In viehhaltenden Betrieben stehen zusätzlich eigene Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist) als N-Quelle zur Verfügung (Loges und Heuwinkel, 2004). Die Möglichkeiten der Stickstoff-Zufuhr sind in viehlosen und vieharmen Ökobetrieben somit i. d. R. stärker eingeschränkt als in Gemischtbetrieben (Schmidt, 2004). Im Hinblick auf die zunehmende Anzahl an ökologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben (Cormack, 1999; Müller und Thorup-Kristensen, 2001; Sparkes et al., 2003; Schmidt, 2004) sind Lösungskonzepte für die Problematik der limitierten Stickstoffverfügbarkeit im ökologischen Ackerbau dringend erforderlich (Müller und Thorup-Kristensen, 2001; Sparkes et al., 2003; Schmidt, 2004).

In Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden in den Jahren 1999 bis 2004 verschiedene Feldversuche zur Optimierung der N-Versorgung im ökologischen Getreideanbau durchgeführt. In einer ersten Versuchsserie wurde analysiert, ob und inwieweit sich die Produktion von Winterweizen durch den Anbau in erweiterten Reihenabständen optimieren lässt (System „weite Reihe“). Eine zweite Versuchsserie beinhaltete Experimente zur Direktsaat von Getreide (Winterweizen, Winterroggen, Hafer) in bereits etablierte Weißkleebestände (System „Bi-cropping“). Die beiden Anbausysteme werden im Folgenden erläutert.

1.2 Anbausystem „weite Reihe“

Anlass der Experimente zum System der „weiten Reihe“ waren Berichte aus der landwirtschaftlichen Praxis, die Mitte/Ende der 1990er Jahre darauf hindeuteten, dass sich im ökologischen Weizenanbau durch eine Erweiterung des Saatreihenabstandes auf bis zu 50 cm höhere Kornrohproteingehalte bei konstanten Kornerträgen erzielen lassen (Alvermann, 1996; Stute, 1996; Hochmann, 1998; Holle und Untiedt, 1999). Als Erklärung für die Beobachtungen wurde vermutet, dass den Weizenpflanzen bei Ansaat in weiteren Reihenabständen und angepasster Saatstärke im Vergleich zum herkömmlichen Anbau mehr Bodenraum und damit auch mehr Bodenstickstoff und Wasser zugeordnet werden kann

(Richter und Debruck, 2001; Pommer, 2003; Söllinger, 2003). Das „weite Reihe“-Verfahren stellte aus Sicht der landwirtschaftlichen Beratung aufgrund der positiven Anbauerfahrungen „eine bemerkenswerte ackerbauliche Entwicklung der 90er Jahre“ dar (Alvermann, 1996), und der Weitreihenbau fand in der Praxis rasch eine weitere Verbreitung (z. B. Jessen, 1997; Holle und Untiedt, 1999).

Im Hinblick auf die historische Entwicklung der Getreidereihenabstände in Deutschland waren die für das System der „weiten Reihe“ gewählten Saatreihenabstände bemerkenswert groß. Nachdem die Entwicklung der Drillsaat gegen Ende des 19. Jahrhunderts erstmals eine Unkrautbekämpfung zwischen den Getreidereihen ermöglicht hatte, führte die Einführung der Maschinenhacke in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vielfach zu einer Vergrößerung der Reihenweiten auf 20 cm, maximal 25-30 cm (Klapp, 1941; von Boguslawski, 1981). Im Zuge der Entwicklung von Netzege und Striegel sowie des verstärkten Einsatzes chemisch-synthetisch hergestellter Herbizide nahm die Verbreitung des Anbaus in erweiterten Reihenabständen wieder ab, da Unkräuter nun unabhängig von der Reihenweite reguliert werden konnten (Klapp, 1941; Roemer und Scheffer, 1959; von Boguslawski, 1981). Die Abkehr vom Weitreihenbau wurde durch zahlreiche Versuche gestützt, die für die Ansaat in engeren Reihenweiten Ertragsvorteile ergaben (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Mülle, 1979; von Boguslawski, 1981). In der Übergangszeit der beschriebenen Entwicklungen dominierten in Deutschland mittlere Getreidereihenabstände von 16 cm, je nach Region kamen jedoch auch noch Reihenweiten von bis zu 20 cm zum Einsatz (Boekholt, 1958; Roemer und Scheffer, 1959; Abbildung 1). In der unterschiedlichen Verbreitung der Saatverfahren spiegelten sich im Wesentlichen die lokalen Besonderheiten von Boden und Klima wieder. Weitere Reihenabstände fanden sich überwiegend in Gebieten mit günstigeren Standortverhältnissen (Boekholt, 1958), was den Anbauempfehlungen der Zeit entsprach (Heuser, 1954; Klapp, 1954; Aufhammer, 1963; Seiffert, 1968). Die regional unterschiedliche Wahl von Reihenabständen in Schleswig-Holstein (siehe Abbildung 1) begründete Boekholt (1958) wie folgt: „Ähnlich wie in den Höhenlagen West- und Süddeutschlands sind die im östlichen Schleswig-Holstein – mit Ausnahme der Insel Fehmarn – vorherrschenden engen Drillweiten klimatisch bedingt. Das langsame Frühjahrswachstum und die meist günstigen Voraussetzungen für einen „kräftigen Fuß“ der heranwachsenden Bestände sprechen in Verbindung mit der Notwendigkeit, der durch die klimatischen Verhältnisse geförderten Verunkrautungsgefahr entgegenzuwirken, auch hier dafür, das Getreide mit höheren Saatstärken eng zu drillen. Dagegen sind in Übereinstimmung mit den phänologischen

Verhältnissen zunehmend in Richtung auf die Marschen Westholsteins, Oldenburgs und Ostfriesland an der Nordseeküste entlang weitere Drillweiten üblich.“

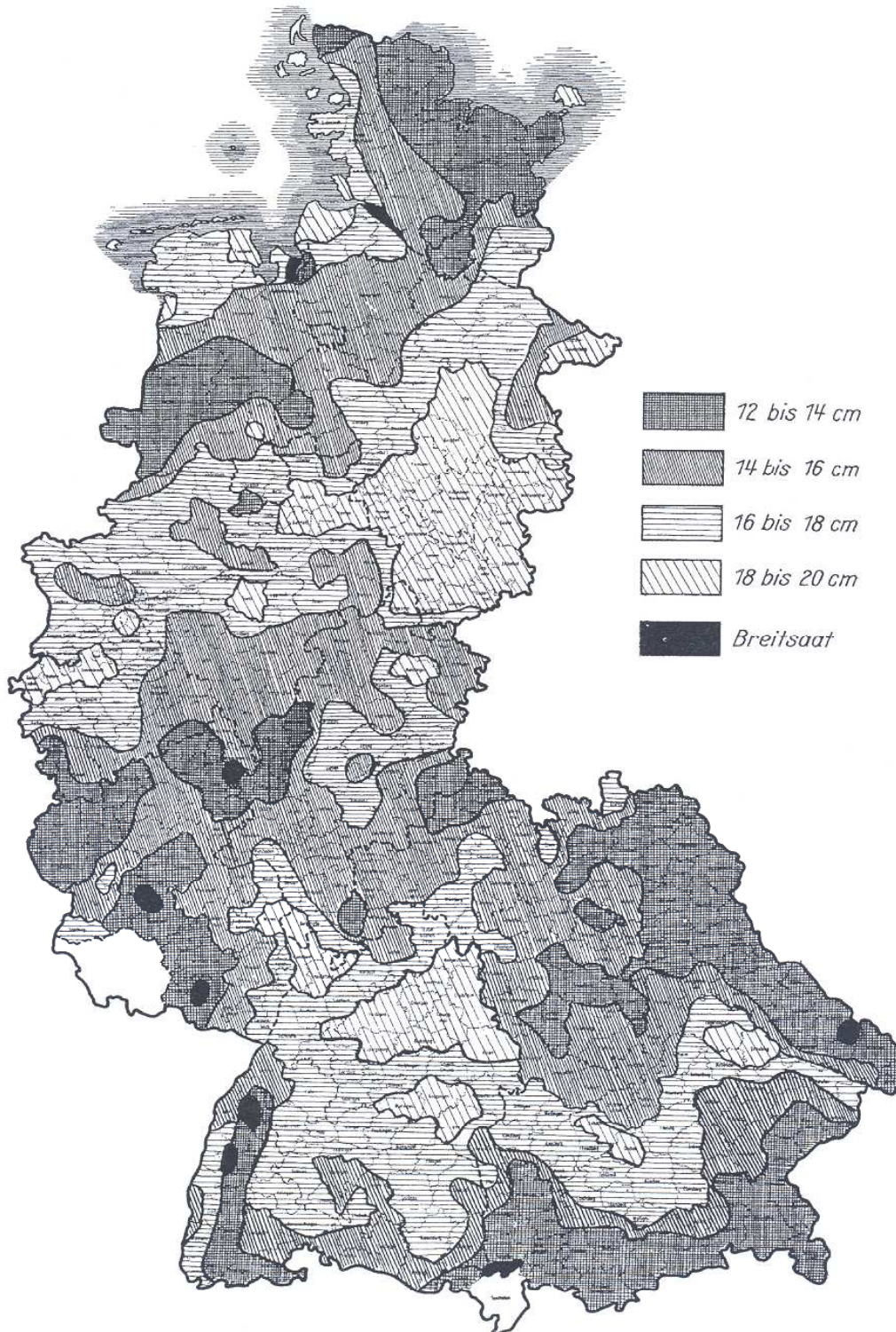


Abbildung 1: Drillweiten im Getreideanbau in Deutschland um 1958 (kartografische Darstellung der Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage bei Landwirtschaftsschulen und Wirtschaftsberatungsstellen (n = 452); Abbildung aus Boekholt (1958))

Bis zu der Veröffentlichung der Praxisberichte über das System der „weiten Reihe“ (Alvermann, 1996; Stute, 1996; Holle und Untiedt, 1999) wurden erweiterte Getreidereihen für den ökologischen Anbau lediglich für Verhältnisse empfohlen, die zwingend den Einsatz einer Maschinenhacke erfordern (z. B. extrem hoher Unkrautdruck) (Stöppler, 1989; Köpke, 2000). Vor einer Erweiterung des Reihenabstandes, die über das erforderliche „Hackmaß“ von etwa 17 cm bis maximal 25 cm hinaus geht, wurde abgeraten, da sich die Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern sowie die Standraumausnutzung der Getreidepflanzen mit zunehmender Reihenweite verschlechtern (Stöppler, 1989; Köpke, 2000; vgl. Mülle und Heege, 1981). Ein möglicher Einfluss des Getreidereihenabstandes auf die Kornqualität wurde erstmals mit dem Bekanntwerden des ökologischen Anbausystems der „weiten Reihe“ diskutiert. Untersuchungen aus dem historischen und konventionellen Anbau beschränkten sich auf die Auswirkungen der Getreidereihenweite auf den Kornertrag (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Mülle, 1979; von Boguslawski, 1981).

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ der Universität Kiel wurden in den Jahren 1999 bis 2003 verschiedene Feldversuche zum ökologischen „weite Reihe“-Anbau von Winterweizen durchgeführt. Die Experimente hatten zum Ziel, (1) das „neue“ Anbausystem im Hinblick auf seine Leistungen wissenschaftlich zu analysieren sowie (2) zu überprüfen, ob und inwieweit die Kornerträge und -qualitäten durch die Variation weiterer Anbaufaktoren in Wechselwirkung mit der Reihenweite optimiert werden können.

1.3 Anbausystem „Bi-cropping“

In den 1990er Jahren wurden im konventionellen Anbau zahlreiche Versuche zur Direktsaat von Getreide in bereits etablierte Weißkleebestände durchgeführt (Jones, 1992; Jones und Clements, 1993; Clements und Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Thorsted et al., 2002; Bergkvist, 2003). Für die wiederholte Getreidesaat in ausdauernde Kleebestände wurde der Begriff „Bi-cropping“ eingeführt (Abb. 2; Clements und Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Clements, 1998). Ein Hauptziel der Experimente war die Entwicklung eines Anbauverfahrens, welches einen verringerten Einsatz von Agrochemikalien, insbesondere von mineralischen Stickstoffdüngemitteln erlaubt. Sommergetreidearten erwiesen sich als ungeeignet für den „Bi-cropping“-Anbau, da sich die Konkurrenz des Weißklee bei der Direktsaat des Getreides im Frühjahr als zu stark erwies (Williams und Haynes, 1991; Jones und Clements, 1993). Versuche zum „Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee ergaben hingegen vielversprechende Ergebnisse für die Produktion von Ganzpflanzensilage (Clements

und Donaldson, 1997; Clements, 1998). Die durch den gemeinsamen Anbau von Winterweizen und Weißklee erzielten Kornerträge konnten aufgrund der Konkurrenz des Klees jedoch i. d. R. nicht befriedigen (Jones und Clements, 1993; Clements und Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003).

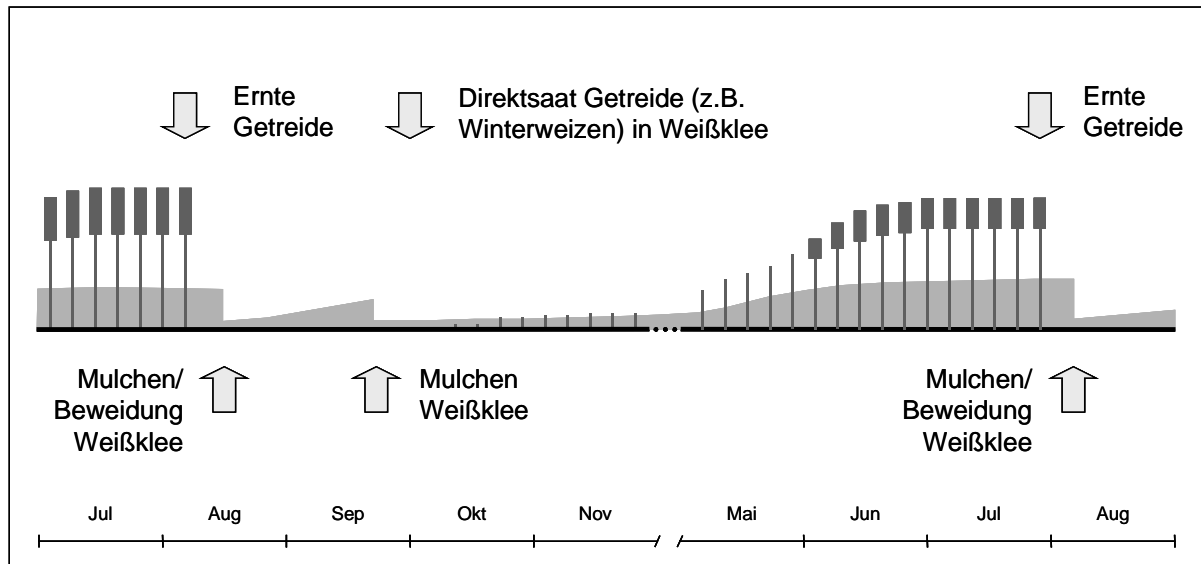


Abbildung 2: „Bi-cropping“ durch wiederholte Direktsaat von Getreide in einen ausdauernden Weißkleebestand (schematische Darstellung nach Angaben in Clements (1998); Abbildung aus Neumann et al. (2003), verändert). Die erste Anlage des Klees kann aus einer Untersaat erfolgen.

Im ökologischen Landbau könnte das „Bi-cropping“-Verfahren insbesondere für spezialisierte Marktfruchtbetriebe interessant sein. Aus ökonomischer Sicht besteht bei viehloser ökologischer Bewirtschaftung die Notwendigkeit, durch Gründungsfrüchte zusätzlich Verkaufserlöse zu erwirtschaften bzw. den Anteil an nicht marktfähigen bzw. marktschwachen Leguminosen (z. B. Klee gras) in der Fruchtfolge möglichst gering zu halten (Cuttle et al., 2003; Sparkes et al., 2003; Schmidt, 2004). Der gemeinsame Anbau von Getreide und Klee im „Bi-cropping“-Verfahren könnte es ermöglichen, auf einer Fläche eine Verkaufsfrucht anzubauen und zeitgleich überjährlg Luftstickstoff zu binden. Durch die pfluglose Bodenbearbeitung sowie die ganzjährige Bodenbedeckung lässt das Verfahren die folgenden weiteren Vorteile erwarten (Donaldson et al., 1995; Clements et al., 1999; Feil und Liedgens, 2001; Schmidt et al., 2001):

- Förderung der Bodenfruchtbarkeit,
- Förderung des Bodenlebens,
- Schutz vor Bodenerosion,
- Reduktion von Nährstoffauswaschungen,

- Einsparung von Energie und Maschinenkosten.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Optimierung des „Bi-cropping“-Verfahrens im ökologischen Landbau liegen bisher nicht vor. Die Resultate konventioneller Versuche lassen vermuten, dass der Erfolg des Verfahrens auch im ökologischen Anbau entscheidend von der Steuerung der Konkurrenz zwischen dem Getreide und dem Klee abhängt (Jones und Clements, 1993; Burke et al, 1998; Bergkvist, 2003).

In Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Hof Ritzerau“ der Universität Kiel (Hoernes und Roweck, 2004) wurden in den Erntejahren 2002 bis 2004 verschiedene Feldversuche durchgeführt, in denen getestet wurde, ob und wie sich die Konkurrenzsituation im ökologischen „Bi-cropping“-Anbau so steuern lässt, dass möglichst hohe Getreideerträge und Kornqualitäten erzielt werden, gleichzeitig jedoch ein vollwertiger Kleebestand erhalten bleibt. In Versuchen mit verschiedenen Nachfrüchten (Winterroggen, Hafer) wurde geprüft, wie das „Bi-cropping“-Verfahren optimal in die Fruchtfolge eingeordnet werden kann. Ziel der Versuchsserie zum „Bi-cropping“ war die Entwicklung eines praxistauglichen Anbauverfahrens.

1.4 Gliederung der Dissertationsschrift

Die Kapitel 2, 3 und 4 der Dissertationsarbeit sind in Manuskriptform verfasst und für eine spätere Veröffentlichung vorgesehen. Die Manuskripte enthalten jeweils eine Literaturübersicht, die Beschreibung der Versuchsanlagen und verwandten Methoden sowie die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse. Die Versuchsserie zum System der „weiten Reihe“ wird in Kapitel 2 dargestellt. Die Kapitel 3 und 4 beinhalten die Untersuchungen zum „Bi-cropping“-Verfahren und sind in englischer Sprache verfasst. Die Ergebnisse werden in allen Kapiteln einheitlich mit den im deutschsprachigen Raum üblichen Einheiten angegeben. Die in den Kapiteln 2-4 dargestellten Resultate werden in einem abschließenden Kapitel (5) gemeinsam diskutiert.

Einige (Zwischen-) Ergebnisse der Dissertationsarbeit wurden bereits in nicht referierten Fachzeitschriften oder Tagungsbänden veröffentlicht. Eine Auflistung der Beiträge findet sich im Anschluss an das Literaturverzeichnis dieses Kapitels.

1.5 Literatur

Alvermann, G., 1996: Das Weitreihenverfahren - Erfahrungen aus Schleswig-Holstein. bio-land 3, 14.

Anonymus, 1991: Verordnung (EWG) Nr. 2002/91 des Rates vom 24.6.1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen

- Erzeugnisse und Lebensmittel. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 198/1 vom 22.07.1991.
- Aufhammer, G., 1963: Neuzeitlicher Getreidebau. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Bergkvist, G., 2003: Effect of White Clover and Nitrogen Availability on the Grain Yield of Winter Wheat in a Three-Season Intercropping System. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 53, 97-109.
- Boekholt, K., 1958: Zur Frage der Drillweite im Getreideanbau. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 105, 395-408.
- Burke, J. I., Thomas, T. M., Finnan, J. M., 1998: Bi-cropping of winter wheat and white clover. Teagasc – Project report – 4316.
- Clements, R. O., 1998: Exploitation of a Sustainable Low-input and Reduced-output System for Arable Crops. Final Report to the European Commission, Contract no. AIR 3 CT93-0893.
- Clements, R. O., Donaldson, G., 1997: Clover and cereal: low input bi-cropping. *Farming and Conservation* 3, 12-14.
- Clements, R. O., Purvis, G., Schmidt, O., 1999: The impact of a novel clover : cereal bi-cropping system for growing silage on earthworms, predatory arthropods, aphids and slugs. In: Matthiessen, J. N. (Editor): *Proceedings 7th Australasian Conference on Grassland Invertebrate Ecology*, Wembley, Australia, September 1999. CSIRO Centre for Mediterranean Agricultural Research, Wembley, Australia, 177-183.
- Cormack, W. F., 1999: Testing a Stockless Arable Organic Rotation on a Fertile Soil. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Köpke, U. (Editors): *Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an International workshop*. Danish Research Centre for Organic Farming, 115-123.
- Cuttle, S., Shepherd, M., Goodlass, G., 2003: A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilisation. Defra Project OF0316 'The development of improved guidance on the use of fertility-building'. *Organic Soil Fertility*, Internet 15.10.2004: <http://www.organicsoilfertility.co.uk/reports/review.html>.
- Donaldson, J. V. G., Hughes, J., Dixon, S. D., Clements, R. O., 1995: Evaluation of energy usage for machinery operations in the development of cereal clover bicropping systems. Integrated crop protection: towards sustainability? *Proceedings of a Symposium*, Edinburgh, Scotland, 11-14 September 1995, 143-150.
- Feil, B., Liedgens, M., 2001: Pflanzenproduktion in lebenden Mulchen - eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* 5, 15-23.
- Heuser, W., 1954: Untersuchungen über die Höhe und Struktur des Ertrages beim Wintergetreide unter dem Einfluss verschiedener Drillweiten. Zugleich ein Beitrag zur Frage der Wenig- und Weitraumformen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 98, 25-25.
- Hochmann, J., 1998: Winterweizen-Reihenabstandsversuche (System Stute). In: *Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Herausgeber): Versuchsbericht Ökologischer Landbau 1998*.
- Hoernes, U., Roweck, H., 2004: Long-term research on the effects of Ecofarming on biotic and abiotic resources (Ritzerau, northern Germany). *Verh. Ges. Ökol.* 34, 344.
- Holle, R., Untiedt, H., 1999: Crop rotations on organic farms in Northern Germany and development of the wide row system. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Köpke, U. (Editors): *Designing and testing crop rotations for organic farming*.

- Proceedings from an international workshop. Danish Research Centre for Organic Farming, 159-162.
- Jessen, J., 1997: Weite Reihen finden Anhänger. *bio-land* 5, 30-31.
- Jones, L., 1992: Preliminary trials using a white clover (*Trifolium repens* L.) understorey to supply the nitrogen requirements of a cereal crop. *Grass and Forage Science* 47, 366-374.
- Jones, L., Clements, R. O., 1993: Development of a low input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understorey of white clover (*Trifolium repens*). *Annals of Applied Biology* 123, 109-119.
- Jones, L., Clements, R. O., 1993: Development of a low input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understorey of white clover (*Trifolium repens*). *Annals of Applied Biology* 123, 109-119.
- Klapp, E., 1941: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Klapp, E., 1954: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus. 4. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Köpke, U., 2000: Ökologischer Landbau. In: Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Herausgeber): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Loges, R., Heuwinkel, H., 2004: Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras – Auswirkungen der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. In: Schmidt, H. (Herausgeber): Viehloser Öko-Landbau – Beiträge, Beispiele, Kommentare. Verlag Dr. Köster, 21-25.
- Mülle, G., 1979: Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Getreide. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Mülle, G., Heege, H. J., 1981: Kornverteilung über die Fläche und Ertrag bei Getreide. *Z. Acker-Pflanzenbau* 150, 97-112.
- Müller, T., Thorup-Kristensen, K., 2001: N-Fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. *Biological Agriculture and Horticulture* 18, 345-363.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2003: "Bicropping": Gemeinsamer Anbau von Getreide und Klee. *bio-land* 3, 18-19.
- Pommer, G., 2003: Auswirkungen von Saatstärke, weiter Reihe und Sortenwahl auf Ertrag und Backqualität von Winterweizen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 3, Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 21-26.
- Richter, S., Debruck, J., 2001: Einfluss der Reihenweite auf Ertrag und Qualität von Winterweizen. In: H. J. Reents (Herausgeber): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, 233-236.
- Roemer, Th., Scheffer, F., 1959: Lehrbuch des Ackerbaus. 5. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Ruhe, I., 2000: Winterweizenanbau in stickstofflimitierten Produktionssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Ertragsbildung, der organischen Düngung und der mechanischen Beikrautregulierung. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 13. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Schmidt, H., 2004 (Herausgeber): Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare. Verlag Dr. Köster.

- Schmidt, O., Curry, J. P., Hackett, R. A., Purvis, G., Clements, R. O., 2001: Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat-clover intercropping system. *Annals of Applied Biology* 138, 377-388.
- Seiffert, W., 1968 (Herausgeber): *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau*. 2. überarbeitete Auflage. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Söllinger, J., 2003: Ergebnisse zum System Weite Reihe in Oberösterreich. In: Freyer, B. (Herausgeber): *Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, Universität für Bodenkultur Wien, 73-76.
- Sparkes, D. L., Wilson, P., Huxham, S. K., 2003: Organic conversion strategies for stockless farming. HGCA Project Report No. 307. Internet 3.1.2005: http://www.hgca.com/publications/documents/cropresearch/307_Complete_Final_report.pdf.
- Stöppler, H., 1989: Weizen im ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Herausgeber), Darmstadt. KTBL-Arbeitspapier 138.
- Stute, J., 1996: Erlaubt ist, was dem Boden nützt. *bio-land* 3, 12-14.
- Taylor, B. R., Watson, C. A., Stockdale, E. A., Mc Kinlay, R. G., Younie, D., Cranstoun, D. A. S., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. HGCA Research Review 45. Internet 3.1.2005: http://www.hgca.com/publications/documents/cropresearch/RR45_complete_final_report.pdf.
- Thorsted, M. D., Olesen J. E., Koefoed, N., 2002: Effects of white clover cultivars on biomass and yield in oat/clover intercrops. *Journal of Agricultural Science* 138: 261-267.
- Von Boguslawski, E., 1981: *Ackerbau. Grundlagen der Pflanzenproduktion*. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Williams, E. D., Hayes, M. J., 1991: Growing spring cereals in a white clover (*Trifolium repens*) crop. *Journal of Agricultural Science* 117, 23-37.

1.6 Beiträge in nicht referierten Fachzeitschriften sowie in Tagungsbänden

- Loges, R., Neumann, H., Taube, F., 2004: Mit Biodirektsaat zu besseren Backqualitäten? *top agrar* 8, 54-57.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2002 a: Ökologischer Winterweizenanbau. Bicropping - eine Alternative. *Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg* 56./152., 50-52.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2002 b: Bicropping - eine Alternative zum "Weite Reihe"-System im ökologischen Winterweizenanbau? *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 14, 175-176.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2002 c: Bicropping im Ökologischen Landbau. Erste Ergebnisse eines Forschungsprojektes zur Direktsaat von Winterweizen. *Landwirtschaft ohne Pflug* 6, 18-21.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2003 a: Bicropping im ökologischen Winterweizenanbau - eine Alternative zum Anbausystem der "Weiten Reihe"? In: Freyer, B. (Herausgeber): *Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, 24. - 26. Februar 2003 im Museumsquartier der Stadt Wien, 81-84.

- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2003 b: "Bicropping" im Ökologischen Landbau - erste Versuchsergebnisse. Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg 59./152.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2003 c: "Bicropping": Gemeinsamer Anbau von Getreide und Klee. bio-land 3, 18-19.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2004 a: Neue Ergebnisse zum Bicropping von Getreide mit Weißklee: Bicropping in die Fruchtfolge eingeordnet. Landwirtschaft ohne Pflug 5, 20-23.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2004 b: Bicropping von Getreide und Weißklee - ein alternatives Produktionsverfahren im Ökologischen Landbau. Vorträge zur Hochschultagung 2004. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, Heft 102, 101-108.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2005: Entwicklung eines pfluglosen Getreideanbausystems für den ökologischen Landbau: „Bicropping“ von Winterweizen und Weißklee. In: Heß, J., Rahmann, G. (Herausgeber): Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005, 29-32.

Kapitel 2

**Einfluss von Reihenabstand, Sortentyp,
Saatstärke und Intensität der
mechanischen Pflege auf
Leistungsparameter von Winterweizen
im ökologischen Landbau**

2.1 Zusammenfassung

Im ökologischen Winterweizenanbau lassen sich die Kornrohproteingehalte, die für eine Vermarktung als Backgetreide erforderlich sind, vielfach nicht erzielen. Erfahrungen aus der landwirtschaftlichen Praxis deuteten Anfang/Mitte der 1990er Jahre darauf hin, dass ein Anbau mit stark erweiterten Reihenabständen die Produktion höherer Rohproteingehalte im Weizenkorn bei konstanten Kornerträgen ermöglicht.

Auf dem Versuchsgut für ökologischen Landbau und extensive Landnutzungssysteme der Universität Kiel wurden in den Jahren 1999 bis 2003 verschiedene Experimente (kombinierte Spalt-Block-Anlagen) zur Optimierung des Kornrohproteingehaltes und des Kornertrages von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) durchgeführt. Neben unterschiedlichen Reihenabständen (12 cm bis 48 cm) und Weizensorten („Batis“, „Bussard“, „Renan“) wurden zusätzlich jeweils zweijährig die Versuchsfaktoren Aussaatstärke (100, 200, 300 Körner/m²) und Intensität der mechanischen Pflege (Striegeln, Striegeln + 1 x bzw. 3 x Hacken) geprüft.

Die Weitreihenverfahren führten im Vergleich zur Kontrolle in allen Versuchen zu signifikanten Mindererträgen. Die Ertragseinbußen betragen 3,3 dt/ha (9,2 %) bis 9,9 dt/ha (26,3 %). Der Kornrohproteingehalt wurde nur in einem von fünf Experimenten signifikant positiv durch die Erweiterung des Reihenabstandes beeinflusst. Die Reihenweiten von 36 cm und 48 cm erzielten in dem entsprechenden Versuch um 0,6 bzw. 0,8 Prozentpunkte höhere Kornrohproteingehalte als die Kontrolle.

Die geprüften Weitreihenverfahren ließen sich durch die zeitgleiche Variation der weiteren Anbaufaktoren nicht zuverlässig optimieren. Das System der „weiten Reihe“ stellte unter den gegebenen Standortbedingungen somit keine Alternative zu herkömmlichen Verfahren der Backweizenproduktion im ökologischen Landbau dar.

Schlüsselwörter: Ökologischer Landbau, Backweizen, Kornrohproteingehalt, weite Reihe, *Triticum aestivum*

2.2 Einleitung

Im konventionellen Getreideanbau hat sich unter den Bedingungen des gemäßigten Klimas seit mehreren Jahrzehnten die Drillsaat mit Reihenweiten zwischen 10 cm und 15 cm durchgesetzt (Geisler, 1988). Untersuchungen zur Frage des optimalen Getreidereihenabstandes wurden in Deutschland in einer Zeit durchgeführt, als im praktischen Anbau noch unterschiedliche Saatverfahren verbreitet waren (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958 sowie Mülle, 1979). Die Einführung der Maschinenhacke führte in der ersten

Hälfte des 20. Jahrhunderts vielfach zu einer Vergrößerung der Getreidereihenweite auf 20 cm, maximal 25-30 cm (Klapp, 1941; von Boguslawski, 1981). Bedingt durch die Entwicklung von Netzege und Striegel sowie den verstärkten Einsatz chemischer Pflegemaßnahmen (Herbizide) nahm die Bedeutung des Anbaus in erweiterten Reihenabständen wieder ab, da Unkräuter mit den neuen Verfahren unabhängig von der Reihenweite bekämpft werden konnten (Klapp, 1941; Roemer und Scheffer, 1959; von Boguslawski, 1981). Der Trend zu engeren Drillweiten wurde durch zahlreiche Versuche gestützt, die für eine Verringerung der Reihenweite Mehrerträge ergaben (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Mülle, 1979; von Boguslawski, 1981).

Im ökologischen Landbau werden chemisch-synthetisch hergestellte Unkrautbekämpfungsmittel nicht eingesetzt (Anonymus, 1991). Um zu verhindern, dass unerwünschte Wildpflanzen massenhaft auftreten, stehen verschiedene vorbeugende Maßnahmen (z. B. Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Saatzeitpunkt und Saatedichte) sowie direkte mechanische und thermische Maßnahmen zur Verfügung (Anonymus, 1991; Köpke, 1998 und 2000). Im ökologischen Getreideanbau beschränkt sich die direkte Unkrautkontrolle zumeist auf den Einsatz des Striegels (Köpke, 2000; Taylor et al., 2001). Ein hoher Unkrautbesatz kann je nach Standort jedoch die Regulation mit einer Maschinenhacke erfordern, und so einen Anbau in erweiterten Getreidereihenabständen bedingen (Stöppler, 1989; Köpke, 2000). Der Einsatz der Hacke erfordert je nach Verfahren Reihenabstände bis maximal 20-25 cm (doppelter Normalabstand) (Stöppler, 1989; Schenke, 1993; Köpke, 2000; Melander et al., 2003). Von übermäßig erweiterten Reihenabständen wurde bisher abgeraten, da sich die Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern sowie die Standraumausnutzung der Getreidepflanzen im Vergleich zu eng gestellten Saatzeilen verschlechtern (Stöppler, 1989; Köpke, 1998 und 2000; vgl. Mülle und Heege, 1981; Griepentrog, 1999).

Anfang der 1990er Jahre erprobte der Landwirt J. Stute auf seinem ökologisch bewirtschafteten Ackerbaubetrieb in Norddeutschland (Niedersachsen) den Getreideanbau mit ungewöhnlich großen Reihenweiten von bis zu 81 cm (Stute, 1996). Die Erweiterung des Reihenabstandes hatte zum Ziel, in der Getreidefruchtfolge optimale Bedingungen für kleereiche Untersaaten zu schaffen (Stute, 1996). Ab Reihenweiten von 35 cm bis 60 cm vermutete Stute (1996) zudem verbesserte Kornqualitäten. Da bei der Vermarktung von ökologisch erzeugtem Weizen je nach Höhe des erzielten Kornrohproteingehaltes Preisaufschläge gewährt werden (Taylor et al., 2001; Brunner, 2002; Oberforster und Werteker, 2003), sich die von der abnehmenden Hand geforderten Mindestwerte jedoch auch

mit optimierten Anbauverfahren (z. B. Fruchtfolgestellung, organische Düngung) vielfach nicht erzielen lassen (Ruhe, 2000; Taylor et al., 2001; Dreyman et al., 2003), erschien das System „Stute“ als eine interessante Alternative zu den bisher üblichen Anbausstrategien (Alvermann, 1996; Holle und Untiedt, 1999). Das „weite Reihe“-Verfahren fand im Beratungswesen und in der Praxis rasch eine weitere Verbreitung (Alvermann, 1996; Hochmann, 1998; Holle und Untiedt, 1999). Die ersten Ernteergebnisse aus Schleswig-Holstein deuteten darauf hin, dass sich durch eine Steigerung des Reihenabstandes auf 30 cm bis 50 cm im Vergleich zum herkömmlichen Anbau von Winterweizen überwiegend höhere Kornrohproteingehalte bei nicht zwingend oder nur leicht geringeren Kornerträgen erzielen ließen (Alvermann, 1996; Hochmann, 1998; Holle und Untiedt, 1999).

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ der Universität Kiel wurde in den Erntejahren 1999 bis 2003 eine Versuchsserie zum Weitreihenbau von Winterweizen durchgeführt. In verschiedenen Experimenten wurden neben einem weiten Gradienten an Reihenabständen weitere Anbaufaktoren in Wechselwirkung mit der Reihenweite geprüft. Da aus älteren Versuchen bekannt ist, dass Getreidesorten unterschiedlich auf eine Variation der Standweite oder Saatstärke reagieren können (Honecker, 1934; Westphal, 1936; Heuser, 1954; Boekholt, 1958 und 1962; Lashin und Schrimpf, 1962), wurden drei unterschiedliche Winterweizensortentypen auf ihre Eignung für den ökologischen Weitreihenbau getestet. Um die Standraumverteilung der Weizenpflanzen zusätzlich zu beeinflussen, wurde in einem weiteren zweijährigen Experiment die Aussaatstärke parallel mit der Reihenweite variiert (vgl. Baeumer, 1992). Erweiterte Reihenabstände erlauben eine intensivere Unkrautregulation mit der Maschinenhacke (Schenke, 1993; Melander et al., 2003; Rasmussen, 2004; siehe oben). Verschiedene Arbeiten deuten darauf hin, dass mechanische Pflegemaßnahmen das Wachstum von Kulturpflanzen durch „bodenverbessende Nebenwirkungen“ fördern können (Übersichten in Roemer und Scheffer, 1959; Schenke, 1993; Ruhe, 2000). In einem weiteren Parzellenversuch wurden vor diesem Hintergrund unterschiedliche Intensitäten der mechanischen Unkrautregulation getestet.

Die Versuche zum Anbausystem der „weiten Reihe“ hatten zum Ziel, (a) das Verfahren wissenschaftlich zu analysieren sowie (b) zu überprüfen, ob und inwieweit durch die Variation der genannten zusätzlichen Anbaufaktoren die Kornerträge und -qualitäten (in Wechselwirkung mit der Reihenweite) optimiert werden können.

2.3 Material und Methoden

2.3.1 Versuchsstandort und Witterung

Die Feldversuche wurden auf dem Lindhof, dem Versuchsgut für ökologischen Landbau und extensive Landnutzungssysteme der Universität Kiel, durchgeführt. Der Betrieb liegt circa 20 km nördlich von Kiel im Jungmoränengebiet Schleswig-Holsteins (53° 40,3' N; 10° 34,9' O). Auf den Versuchsflächen dominieren Braun- und Parabraunerdetypen mit 40 bis 45 Bodenpunkten, die Hauptbodenarten bilden lehmige Sande bis sandige Lehme (Ziogas, 1995). Die am Versuchsstandort im Untersuchungszeitraum ermittelten Niederschläge und Temperaturen sind in der Tabelle 1 sowie Abbildung 1 aufgeführt. Im Vergleich zum langjährigen Mittel fielen insbesondere in den Jahren 2000, 2001 und 2003 geringere Niederschläge. Das Erntejahr 2002 zeichnete sich hingegen durch vergleichsweise hohe Sommer- und Jahresniederschläge aus. In den Jahren 1998 und 2001 und 2002 traten im Herbst starke Regenfälle auf, so dass die Aussaatbedingungen ungünstiger als in den anderen beiden Versuchsjahren waren. Die Jahresdurchschnittstemperaturen lagen in allen Untersuchungsjahren leicht über dem langjährigen Mittel.

Tabelle 1: Niederschläge (mm) und Temperaturen (°C) am Versuchsstandort in den Versuchsjahren 1999 bis 2003 im Vergleich zum langjährigen Mittel 1980-2003 (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation Kiel-Holtenau)

Total precipitation (mm) and mean temperature (°C) at the experimental site during the years 1999-2003 in comparison to the mean values of 1980-2003 (Deutscher Wetterdienst, meteorological station Kiel-Holtenau)

Erntejahr	Niederschlag (mm)		Temperatur (°C)
	Jahressumme	Summe Ansaat – Ernte*	Jahresmittel
1999	711	619	9,6
2000	472	502	9,6
2001	653	353	9,3
2002	1040	844	10,2
2003	528	513	9,0
1980-2003	774	642	8,7

*: 1. Oktober Vorjahr bis 31. Juli Erntejahr

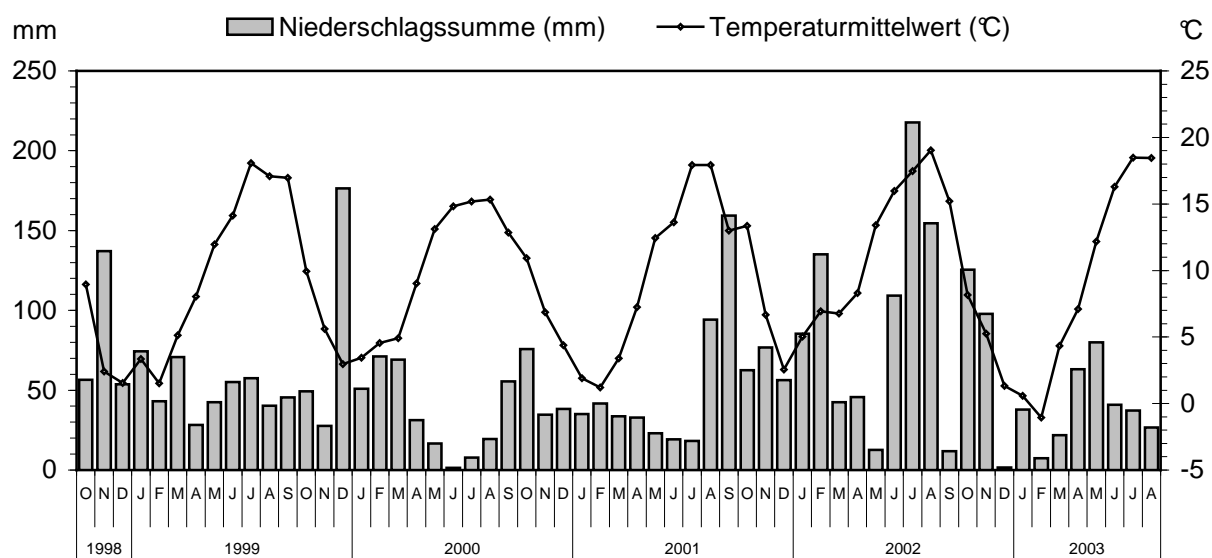


Abbildung 1: Monatliche Niederschlagssummen (mm) und Durchschnittstemperaturen (°C) am Versuchsstandort im Untersuchungszeitraum 1999 bis 2003

Sum of precipitation (mm) and mean of average daily temperature (°C) per month at the experimental site during the years 1999-2003

2.3.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

In den Jahren 1999 bis 2003 wurden fünf Experimente durchgeführt. Als Versuchsanlagen dienten zwei- und dreifaktorielle kombinierte Spalt-Block-Anlagen in dreifacher Wiederholung. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die in den Experimenten geprüften Faktoren und Faktorstufen sowie die jeweils erhobenen Parameter.

Die Faktoren Reihenweite und Weizensortentyp wurden in allen Versuchen getestet. Die Prüfung des Reihenabstandes erfolgte jeweils auf Großteilstücken, die des Weizensortentyps auf randomisiert angeordneten Kleinteilstücken. Die Reihenweite wurde in den verschiedenen Experimenten in unterschiedlichen Stufen variiert. Die Prüfung der Sortentypen erfolgte in allen Versuchen einheitlich. Zum Einsatz kamen ein reiner Massen-/Futterweizen (Sorte „Batis“), ein ertragreicher Qualitätsweizen („Bussard“) sowie eine stark qualitätsbetonte Sorte („Renan“) (Einstufung der Weizensorten nach Anonymus, 1998).

In Experiment (1) („Saatstärke“) wurde auf den Kleinteilstücken zusätzlich die Aussaatstärke variiert (100, 200, 300 Körner/m²). Der Faktor Reihenweite beinhaltete die Stufen 12 cm (Kontrolle), 24 cm und 36 cm sowie eine weite Doppelreihe, bei der einem Abstand von 12 cm jeweils eine Reihenweite von 36 cm folgte („Licht-Schacht“-Saat, Klapp, 1941). In Experiment (2) („mechanische Pflege“) wurden neben den Faktoren Reihenweite (12 cm, 24 cm, 36 cm) und Weizensorte verschiedene mechanische Pflegeintensitäten geprüft. Im Vergleich zur Kontrolle (ausschließlich Striegeln) wurde nach einmaligem Striegeln ein bzw. drei Mal gehackt. Parzellen, die im Normalabstand angesät waren, wurden an den entsprechenden Hack-Terminen gestriegelt. Experiment (3) („extremer Weitreihenbau“) wurde durchgeführt, um neben den Reihenweiten von 12 cm und 36 cm zusätzlich die „weite Reihe“ von 48 cm zu testen. Experiment (4) („Jahreseffekte“) beinhaltete die fünfjährige Verrechnung der Faktoren Reihenweite (12 cm, 36 cm) und Weizensortentyp. In drei der fünf Versuchsjahre wurden die Parameter der Ertragstruktur erhoben (Experiment (5), „Ertragsstruktur“). Die Analysen erfolgten für die Reihenweiten von 12 cm, 24 cm und 36 cm sowie für die drei Weizensorten.

Tabelle 2: Versuchsfaktoren, Faktorstufen sowie Untersuchungsparameter der „weite Reihe“-Experimente in den Erntejahren 1999 bis 2003

Factors, factor levels and estimated parameters of the “wide row”-experiments during the years 1999-2003

Experiment	Versuchsfaktoren und Faktorstufen															Parameter						
	Versuchsjahr					Reihenabstand					Sorte			Saatstärke					Pflege			
	1999	2000	2001	2002	2003	12 cm	24 cm	36 cm	36/12 cm (DR)	48 cm	Batis (A)	Bussard (E)	Renan (A)	100 Körner/m ²	200 Körner/m ²	300 Körner/m ²	Striegeln (Str.)	Str. + 1 x Hacken	Str. + 3 x Hacken	Kornertrag	N-Gehalt Korn	Ertragsstruktur
Exp. (1)	x	x				x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	/			x	x	
Exp. (2)			x	x		x	x	x			x	x	x			/	x	x	x	x	x	
Exp. (3)			x		x	x		x		x	x	x				/				x	x	
Exp. (4)	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x			/				x	x	
Exp. (5)	x		x	x		x	x	x			x	x	x			/				x	x	x

A: A-Weizen; E: E-Weizen; DR: Doppelreihe; /: kein Versuchsfaktor, Standardmaßnahme/-pflege

Die Feldversuche wurden jeweils auf Winterweizenschlägen des Versuchsbetriebes angelegt. Die Weizenaussaat erfolgte ortsüblich zwischen dem 5. und 15. Oktober. Die Vorfrucht (schnittgenutztes Klee gras) wurde unmittelbar vor der Versuchsanlage umgebrochen. Da die Variation der Saatstärke in den ersten beiden Versuchsjahren keine signifikanten Effekte ergab (siehe Ergebnisse Experiment (1)), erfolgte die Weizenansaat in allen folgenden Experimenten standortüblich mit 300 Körnern je m². Eine alleinige Rücknahme der Aussaatstärke bei Anbau in „weiter Reihe“ (siehe z. B. Richter und Debruck, 2001) hätte des weiteren keine Aussage darüber zugelassen, ob bzw. zu welchem Anteil etwaige Effekte aus der Reihenweiten- oder der Saatstärkenänderung resultieren (Mülle, 1979). Die Getreideernte wurde im Kerndruschverfahren mit einem Parzellenmähdrischer der Firma Haldrup durchgeführt. Die Druschfläche betrug 1,75 m x 6,00 m. Der Erntetermin lag alljährlich im Zeitraum Ende Juli bis Mitte August (31.7.-16.8.).

2.3.3 Probenahmen und Analysen

Die Bestimmung des Kornertrages sowie der Tausendkornmasse (TKM) erfolgte an den maschinell gereinigten Kornproben der Druschernte. Die Bestandesdichte wurde wenige Tage vor der Druschernte ermittelt, indem die Ähren tragenden Halme einer 0,25 m² großen

Probenahme­fläche direkt über der Bodenoberfläche abgeschnitten und anschließend ausgezählt wurden. Die Anzahl an Körnern je Ähre wurde errechnet. Die Ermittlung der Trockenmasse der oberirdischen Sprossmasse erfolgte an einer jeweils repräsentativen Unterprobe (Trocknung bei 65 °C für 48 Stunden). Die getrockneten Sprossmasse- und Kornproben wurden für die Bestimmung der Stickstoff-Gehalte mit einer Hochgeschwindigkeitsmühle vermahlen (Sieb­porendurchmesser 1 mm). Die Analyse der N-Gehalte erfolgte mit dem indirekten Verfahren der Nah-Infrarot-Reflexionsspektroskopie (Foss NIRS 5000). Die für die Kalibration ausgewählten Proben wurden mit einem Elementaranalysator vario MAX CN analysiert. Die statistischen Kennzahlen der erstellten Kalibrationsgleichungen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Der Kornrohproteingehalt wurde durch Multiplikation des N-Gehaltes mit dem Faktor 5,71 errechnet (Kirchgeßner, 1997) und vereinfachend als indirekter Parameter für die Backqualität herangezogen (siehe Lafferty und Bistrich, 2000). Die N-Aufnahme in die oberirdische Sprossmasse wurde aus dem Produkt der Trockenmasse und der N-Konzentration in der Sprossmasse bestimmt. Die in den Ergebnisdarstellungen angegebenen Kornerträge beziehen sich auf 0 % Kornfeuchte.

Tabelle 3: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibration und NIRS-Validation für den Stickstoffgehalt (%) im Korn sowie in der oberirdischen Sprossmasse von Winterweizen in den Erntejahren 1999 bis 2003 (n: Anzahl der Kalibrationsproben, Mw: Mittelwert der Kalibrationsproben, min-max: minimaler-maximaler Wert, SD: Standardabweichung, SEC: Standardschätzfehler der Kalibration, SEV: Standardschätzfehler unabhängiger Validationsproben, RSQ: Bestimmtheitsmaß)

Statistical data of the NIRS-calibration and -validation for nitrogen content (%) in grain and in shoot biomass of winter wheat during the years 1999-2003 (n: number of samples for calibration, Mw: mean of samples for calibration, min-max: minimal-maximal value, SD: standard deviation, SEC: standard estimate of calibration, SEV: standard error of estimation of independent validation samples, RSQ: r^2)

Material	n	Mw	min-max	SD	SEC	SEV	RSQ
Korn	261	1,83	1,25-2,78	0,28	0,04	0,06	0,98
Sprossmasse	232	2,31	0,28-5,99	1,60	0,13	0,10	0,99

2.3.4 Statistische Auswertungen

Die statistischen Auswertungen erfolgten durch mehrfaktorielle Varianzanalysen. Die Verrechnungen wurden aufgrund der Versuchsanlagen mit der Prozedur „proc mixed“ durchgeführt (SAS Institute, 2001). Bei der Erstellung der statistischen Modelle wurde neben den in Tabelle 2 aufgeführten festen Faktoren jeweils der zufällige Effekt „Block innerhalb Jahr“ berücksichtigt. Signifikanzen wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % mit

dem F-Test geprüft. Vor den statistischen Auswertungen wurden die Residuen der Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität überprüft. Multiple Mittelwertvergleiche erfolgten mit dem Bonferroni-Holm-Verfahren (Horn und Vollandt, 1995).

2.4 Ergebnisse

Die Experimente ergaben für die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt und Korn-N-Entzug bis auf eine Ausnahme (siehe unten, Kapitel 2.4.3) keine signifikanten Zweifach- oder Dreifach-Interaktionen der getesteten Faktoren (Tabelle 4 und 9). Sofern nicht anders angegeben, werden die Haupteffekte der Prüffaktoren dargestellt.

2.4.1 Aussaatstärke und mechanische Pflege - Experimente (1) und (2)

Die Variation der Aussaatstärke hatte keinen signifikanten Effekt auf die erhobenen Parameter (Tabelle 4 und 5). Die Steigerung der Intensität der mechanischen Pflege ergab einen signifikanten Mehrertrag von 1,6 dt/ha (3 x Hacken) bzw. 2,3 dt/ha (1 x Hacken), hatte jedoch keinen absicherbaren Einfluss auf den Kornrohproteingehalt sowie den Korn-N-Entzug (Tabelle 6).

2.4.2 Reihenweite - Experimente (1)-(5)

Der Anbau in „weiter Reihe“ ergab in allen Experimenten signifikant geringere Kornerträge und Korn-N-Entzüge (Tabellen 4 bis 10). Die Ertragsdifferenz betrug im Vergleich zum Normalabstand 3,3 dt/ha (-9,2 %) bis 9,9 dt/ha (-26,3 %). Der Kornrohproteingehalt wurde nur in Experiment (3) („extremer Weitreihenbau“) absicherbar durch die Variation des Reihenabstandes beeinflusst (Tabelle 7). Die „weiten Reihen“ von 36 cm und 48 cm ergaben im Vergleich zur Kontrolle im Mittel der Erntejahre und getesteten Sorten um absolut 0,6 bzw. 0,8 Prozentpunkte erhöhte Rohproteingehalte im Korn. Die weite Doppelreihe (36 cm/12 cm) erzielte gleich hohe Erträge und Kornrohproteingehalte wie der Reihenabstand von 24 cm (Experiment (1), Tabelle 5).

2.4.3 Sortentyp - Experimente (1)-(5)

Der Weizensortentyp hatte in allen Experimenten einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag und zeigte im Vergleich der Versuchsfaktoren den stärksten Einfluss auf die Ertragsleistung (Tabellen 4 bis 10). Die höchsten Kornerträge wurden mit 36,4 dt/ha bis 45,8 dt/ha jeweils durch die Sorte „Batis“ erzielt. „Renan“ wies mit 26,0 dt/ha bis 39,7 dt/ha die niedrigste Ertragsleistung auf. Die Sorte „Bussard“ erzielte ein mittleres Ertragsniveau. Im

Hinblick auf den Kornrohproteingehalt zeigten die geprüften Weizensorten eine im Vergleich zu den Kornerträgen umgekehrte Abstufung, die sich jedoch nicht in allen Jahren statistisch absichern ließ. Die Sorte „Batis“ wies in drei von vier Experimenten den signifikant höchsten Korn-N-Entzug auf. Im Mittel der Jahre 2001 und 2003 (Experiment (3)) hatte der Sortentyp keinen statistisch absicherbaren Einfluss auf den N-Entzug mit dem Korn.

Experiment (3) („extremer Weitreihenbau“) ergab eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren „Sorte“ und „Reihenweite“ (Tabelle 4, Abbildung 2). Die Sorte „Renan“ erzielte bei der „weiten Reihe“ von 36 cm bzw. 48 cm im Vergleich zur Kontrolle (12 cm) um 0,9 bzw. 1,7 Prozentpunkte höhere Rohproteingehalte im Weizenkorn. Die Kornrohproteingehalte der Sorten „Batis“ und „Bussard“ wurden hingegen nicht absicherbar durch die Variation des Reihenabstandes beeinflusst.

2.4.4 Ertragsstruktur - Experiment (5)

Die Ertragsstruktur wurde in den Erntejahren 1999, 2001 und 2002 in Abhängigkeit der Faktoren Reihenweite (12 cm, 24 cm, 36 cm) und Sortentyp („Batis“, „Bussard“, „Renan“) analysiert. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in den Tabellen 9 und 10 aufgeführt.

Die Erweiterung des Reihenabstandes führte im Mittel der drei Versuchsjahre zu signifikanten Mindererträgen. Die Anzahl an Ähren tragenden Halmen je m² war bei den Reihenweiten von 24 cm und 36 cm im Vergleich zur Kontrolle um rund 12 % vermindert. Die TKM und die Anzahl an Körnern je Ähre zeigten keine absicherbare Reaktion auf die Variation des Reihenabstandes.

„Batis“ erzielte im Vergleich der drei geprüften Sortentypen die signifikant höchsten Kornerträge, die höchste Tausendkornmasse sowie die höchste Anzahl an Körnern je Ähre. Die Sorte „Renan“ war durch den niedrigsten Kornertrag, die geringste Kornzahl je Ähre und eine mittlere Tausendkornmasse gekennzeichnet. „Bussard“ nahm im Hinblick auf das Ertragsniveau sowie die Anzahl an Körnern je Ähre eine Mittelstellung ein, wies jedoch die geringste Tausendkornmasse der geprüften Sorten auf. Die Sortenwahl hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Bestandesdichte.

Tabelle 4: F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalysen für den Einfluss der in den Experimenten (1)-(4) getesteten Faktoren auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt und N-Entzug mit dem Korn

F values and levels of significance of ANOVA for the impact of factors in experiments (1)-(4) on the parameters grain yield, grain crude protein content and grain N yield

Jahre	Varianzursache	F-Wert/Sign.					
		Kornertrag		Kornrohprotein		N-Entzug Korn	
1999, 2000 (Experiment (1), „Saatstärke“, n = 216)	Jahr	19,8	*	11,5	*	28,1	*
	Reihenweite	48,4	***	2,1	n.s.	37,0	***
	Saatstärke	2,7	n.s.	0,1	n.s.	1,7	n.s.
	Sorte	72,2	***	187,9	***	8,1	***
	Jahr*Reihenweite	2,9	*	0,3	n.s.	2,5	n.s.
	Jahr*Saatstärke	1,6	n.s.	0,1	n.s.	0,5	n.s.
	Jahr*Sorte	7,4	***	2,6	n.s.	4,2	*
	Reihenweite*Saatstärke	1,0	n.s.	1,0	n.s.	1,5	n.s.
	Reihenweite*Sorte	0,9	n.s.	0,5	n.s.	1,1	n.s.
	Saatstärke*Sorte	0,3	n.s.	1,4	n.s.	0,2	n.s.
2001, 2002 (Experiment (2), „mechanische Pflege“, n = 162)	Jahr	8,7	*	0,1	n.s.	7,1	n.s.
	Reihenweite	13,8	***	2,2	n.s.	3,9	*
	Pflege	3,6	*	1,5	n.s.	1,3	n.s.
	Sorte	61,9	***	3,0	n.s.	21,0	***
	Jahr*Reihenweite	0,5	n.s.	0,3	n.s.	0,5	n.s.
	Jahr*Pflege	1,0	n.s.	0,2	n.s.	0,5	n.s.
	Jahr*Sorte	2,7	n.s.	1,1	n.s.	0,9	n.s.
	Reihenweite*Pflege	0,1	n.s.	0,7	n.s.	0,6	n.s.
	Reihenweite*Sorte	1,9	n.s.	0,4	n.s.	1,1	n.s.
	Pflege*Sorte	1,4	n.s.	0,7	n.s.	1,7	n.s.
2001, 2003 (Experiment (3), „extremer Weit- reihenbau“, n = 54)	Jahr	18,6	*	9,9	*	31,8	**
	Reihenweite	8,1	**	6,8	**	3,8	*
	Sorte	8,7	***	34,3	***	2,6	n.s.
	Jahr*Reihenweite	0,4	n.s.	0,3	n.s.	0,3	n.s.
	Jahr*Sorte	2,3	n.s.	0,5	n.s.	2,3	n.s.
	Reihenweite*Sorte	0,8	n.s.	2,9	*	0,7	n.s.
1999-2003 (Experiment (4), „Jahreseffekte“, n = 90)	Jahr	6,4	**	9,2	**	7,9	**
	Reihenweite	29,7	***	2,6	n.s.	9,0	**
	Sorte	35,4	***	11,0	***	9,1	***
	Jahr*Reihenweite	3,1	*	0,3	n.s.	2,1	n.s.
	Jahr*Sorte	2,3	*	1,0	n.s.	1,5	n.s.
	Reihenweite*Sorte	1,8	n.s.	1,2	n.s.	2,9	n.s.

n.s.: nicht signifikant ($p \geq 5,0\%$), *: signifikant ($5,0\% > p \geq 1,0\%$), **: hoch signifikant ($1,0\% > p \geq 0,1\%$), ***: sehr hoch signifikant ($0,1\% > p$); Dreifach-Wechselwirkungen waren für keinen der aufgeführten Parameter signifikant und sind nicht mitgeführt

Tabelle 5: Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte, Aussaatstärke und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den N-Entzug mit dem Korn (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (1), „Saatstärke“; Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of row spacing, variety, seed rate and experimental year on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and grain N yield (kg/ha) of organically grown winter wheat (experiment (1), “seed rate”; mean of three replicates)

Faktor	Faktorstufe	Kornertrag (dt/ha)	Kornrohprotein (%)	N-Entzug Korn (kg/ha)
Reihenabstand	12 cm	37,6 a	10,1	66,4 a
	24 cm	31,3 b	10,2	55,6 b
	36/12 cm DR	30,3 b	10,0	52,6 bc
	36 cm	27,7 c	10,2	49,4 c
	SE/Sign.	1,5 ***	0,1 n.s.	2,6 ***
Weizensorte	Batis	36,4 a	9,3 c	59,4 a
	Bussard	31,1 b	9,9 b	54,3 b
	Renan	27,6 c	11,1 a	54,2 b
	SE/Sign.	1,4 ***	0,1 ***	2,5 ***
Aussaatstärke	100 K./m ²	30,7	10,1	54,5
	200 K./m ²	32,4	10,1	57,1
	300 K./m ²	32,0	10,1	56,4
	SE/Sign.	1,4 n.s.	0,1 n.s.	2,5 n.s.
Jahr	1999	25,7	9,8	43,6
	2000	37,7	10,4	68,3
	SE/Sign.	1,9 *	0,1 *	3,3 *

DR: Doppelreihe; K./m²: Körner/m²; SE/Sign.: Standardfehler/Signifikanz (F-Test, siehe Tabelle 4); signifikante Unterschiede multipler Mittelwertvergleiche sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Tabelle 6: Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte, Intensität der mechanischen Pflege und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (2), „mechanische Pflege“; Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of row spacing, variety, intensity of mechanical weed control and experimental year on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and grain N yield (kg/ha) of organically grown winter wheat in 2001 and 2002 (experiment (2), “mechanical weed control”; mean of three replicates)

Faktor	Faktorstufe	Kornertrag (dt/ha)	Kornrohprotein (%)	N-Entzug Korn (kg/ha)
Reihenabstand	12 cm	36,0 a	11,4	71,9 a
	24 cm	31,5 b	11,8	64,6 b
	36 cm	32,7 b	11,9	68,7 ab
	SE/Sign.	1,0 ***	0,2 n.s.	2,5 *
Weizensorte	Batis	39,0 a	11,4	78,0 a
	Bussard	31,8 b	11,6	64,8 b
	Renan	29,4 c	12,1	68,7 b
	SE/Sign.	1,0 ***	0,2 n.s.	2,5 ***
Mechanische Pflege	Striegeln	32,1 b	11,8	66,1
	Striegeln + 1 x Hacken	34,4 a	11,4	68,9
	Striegeln + 3 x Hacken	33,7 ab	11,9	70,2
	SE/Sign.	1,0 *	0,2 n.s.	2,5 n.s.
Jahr	2001	30,9	11,7	63,2
	2002	35,9	11,7	73,6
	SE/Sign.	1,2 *	0,2 n.s.	2,8 n.s.

Tabelle 7: Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (3), „extremer Weitreihenbau“; Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of row spacing, variety and experimental year on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and grain N yield (kg/ha) of organically grown winter wheat (experiment (3), “extreme wide rows”; mean of three replicates)

Faktor	Faktorstufe	Kornertrag (dt/ha)	Kornrohprotein (%)	N-Entzug Korn (kg/ha)
Reihenabstand	12 cm	45,4 a	11,6 b	79,6 a
	36 cm	40,3 b	12,2 a	75,4 ab
	48 cm	37,0 b	12,4 a	68,3 b
	SE/Sign.	1,5 **	0,2 **	2,9 *
Weizensorte	Batis	45,8 a	11,1 c	76,7
	Bussard	37,3 b	12,1 b	69,1
	Renan	39,7 b	13,0 a	77,6
	SE/Sign.	1,5 ***	0,2 ***	2,9 n.s.
Jahr	2001	37,2	11,6	64,9
	2003	44,7	12,5	83,9
	SE/Sign.	1,2 *	0,2 *	2,4 **

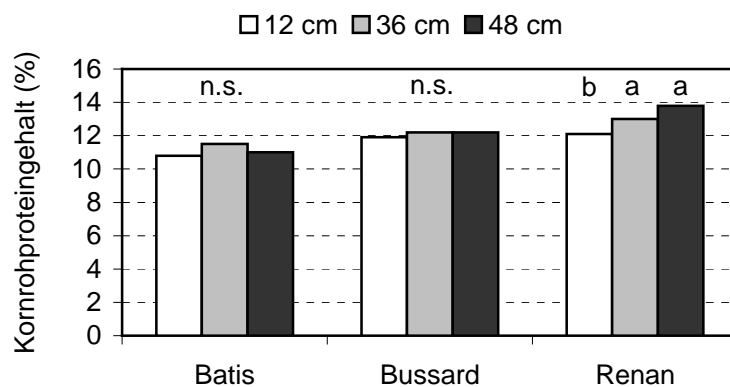


Abbildung 2: Einfluss der Wechselwirkung Sorte*Reihenweite (SE/Sign. = 0,3*) auf den Kornrohproteingehalt (%) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (3); Mittel der Versuchsjahre 2001 und 2003; signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet; test of effect slices, slice = Sorte)

*Impact of the interaction variety*row spacing (SE/Sign. = 0,3*) on grain crude protein content (%) of organically grown winter wheat (experiment (3); mean value of the experimental years 2001 and 2003; significant differences are characterised by different letters; test of effect slices, slice = variety)*

Tabelle 8: Einfluss von Reihenabstand, Weizensorte und Versuchsjahr auf den Kornertrag (dt/ha), den Kornrohproteingehalt (%) und den Korn-N-Entzug (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen (Experiment (4), „Jahreseffekte“; Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of row spacing, variety and experimental year on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and grain N yield (kg/ha) of organically grown winter wheat (experiment (4), “impact of experimental year; mean of three replicates)

Faktor	Faktorstufe	Kornertrag (dt/ha)	Kornrohprotein (%)	N-Entzug Korn (kg/ha)
Reihenabstand	12 cm	39,3	11,0	75,1
	36 cm	33,4	11,3	65,8
	SE/Sign.	1,2 ***	0,2 n.s.	2,6 **
Weizensorte	Batis	42,7 a	10,7 b	79,5 a
	Bussard	34,2 b	10,9 b	64,2 b
	Renan	32,2 b	11,8 a	67,6 b
	SE/Sign.	1,3 ***	0,2 ***	3,0 ***
Jahr	1999	31,8 b	9,8 c	53,9 c
	2000	43,9 a	10,4 bc	76,8 ab
	2001	29,9 b	11,7 ab	61,4 bc
	2002	35,9 ab	11,5 ab	72,5 abc
	2003	40,4 ab	12,4 a	87,6 a
	SE/Sign.	2,3 **	0,4 **	4,7 **

Tabelle 9: F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalyse für den Einfluss der Faktoren Versuchsjahr, Reihenweite und Sorte auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt (RP), Tausendkornmasse (TKM), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m²), Anzahl an Körnern je Ähre (K./Ähre), Einzelährenertrag (EÄE) und N-Aufnahme in die Sprossmasse (N-Aufn.) in den Jahren 1999, 2001 und 2002 (Experiment (5), „Ertragsstruktur“; n = 81; Mittel über drei Wiederholungen)

F values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year, row spacing and variety on the parameters grain yield, grain crude protein content (RP), thousand kernel weight (TKM), number of ears per m² (Ähren/m²), number of kernels per ear (K./Ähre), single ear yield (EÄE) and n-uptake in the harvestable total biomass (N-Aufn.) in 1999, 2001 and 2002 (experiment (5), “yield structure”; n = 81; mean of three replicates)

Varianzursache	F-Wert/Sign.													
	Ertrag		RP		TKM		Ähren/m ²		K./Ähre		EÄE		N-Aufn.	
Jahr	5,1	n.s.	7,1	*	16,2	**	21,2	**	13,6	**	2,9	n.s.	4,6	n.s.
Reihenweite	8,2	***	0,9	n.s.	0,9	n.s.	8,1	***	0,1	n.s.	0,0	n.s.	1,1	n.s.
Sorte	54,2	***	4,4	*	110,8	***	1,0	n.s.	41,3	***	47,5	***	4,0	*
Jahr*Reihenweite	0,6	n.s.	0,3	n.s.	1,3	n.s.	2,8	*	2,0	n.s.	1,0	n.s.	3,9	**
Jahr*Sorte	3,1	*	0,7	n.s.	8,9	***	1,4	n.s.	2,9	*	2,4	n.s.	0,9	n.s.
Reihenweite*Sorte	2,1	n.s.	0,6	n.s.	0,5	n.s.	1,5	n.s.	4,8	**	4,0	**	0,9	n.s.

Tabelle 10: Einfluss von Reihenweite, Weizensorte und Versuchsjahr auf die Parameter Kornertrag (dt/ha), Kornrohproteingehalt (RP) (%), Tausendkornmasse (TKM) (g), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m²), Anzahl Körner je Ähre, Einzelährenertrag (EÄE) (g) und N-Aufnahme in die Sprossmasse (N-Aufn.) (kg/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen in den Jahren 1999, 2001 und 2002 (Experiment (5), „Ertragsstruktur“; Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of row spacing, variety and experimental year on the parameters grain yield (dt/ha), grain crude protein content (RP) (%), thousand kernel weight (TKM) (g), number of ears per m² (Ähren/m²), number of kernels per ear, single ear yield (EÄE) (g) and n-uptake in the harvestable biomass (N-Aufn.) (kg/ha) (experiment (5), “yield structure”; mean of three replicates)

Faktor	Faktor- stufe	Ertrag (dt/ha)	RP (%)	TKM (g)	Ähren/ m ²	Körner/ Ähre	EÄE (g)	N-Aufn. (kg/ha)
Reihen- weite	12 cm	33,1 a	10,9	49,3	315,2 a	24,2	1,1	93,6
	24 cm	29,5 b	11,3	49,9	278,8 b	23,8	1,1	90,6
	36 cm	29,0 b	11,1	49,5	275,8 b	23,9	1,1	86,3
	SE/Sign.	1,5 ***	0,3 n.s.	0,5 n.s.	8,2 ***	0,8 n.s.	0,1 n.s.	5,3 n.s.
Weizen- sorte	Batis	36,8 a	10,8 b	52,9 a	281,3	28,1 a	1,3 a	98,1 a
	Bussard	28,7 b	10,9 b	45,8 c	294,9	24,0 b	1,0 b	85,7 b
	Renan	26,0 c	11,6 a	50,0 b	293,6	19,8 c	0,9 c	86,7 b
	SE/Sign.	1,3 ***	0,3 *	0,5 ***	8,2 n.s.	0,8 ***	0,1 ***	5,3 *
Jahr	1999	27,4	9,8 b	48,1 b	241,7 b	23,6 bc	1,1	71,2
	2001	28,8	11,8 a	53,2 a	309,1 a	20,7 c	1,0	100,9
	2002	35,3	11,7 a	47,4 b	318,9 a	27,7 a	1,1	98,5
	SE/Sign.	1,9 n.s.	0,4 *	0,8 **	9,1 **	1,0 **	0,1 n.s.	7,7 n.s.

2.5 Diskussion

2.5.1 Reihenweite

Die geprüften „weite Reihe“-Systeme führten unter den gegebenen Standortbedingungen in allen Versuchsjahren zu signifikanten Mindererträgen. Aus dem historischen sowie konventionellen Getreideanbau liegen zahlreiche Arbeiten vor, die dieses Resultat bestätigen (Übersicht Mülle, 1979 bzw. Mülle und Heege, 1981; Joseph et al., 1985; Marshall und Ohm, 1987; Winter und Welch, 1987; Johnson et al., 1988). Mülle (1979) verrechnete auf der Basis der Arbeiten von Holliday (1963) und Strand (1969) die Ergebnisse von 78 Reihenabstandsversuchen aus den Jahren 1930 bis 1976 (zusammen 262 Versuchsjahre). Die geprüften Getreidearten (Sommer-/Winterweizen, Sommer-/Wintergerste, Winterroggen, Hafer) folgten einer gemeinsamen linearen Regression, die für den geprüften Reihenabstandsbereich von 10 cm bis 20 cm einen relativen Ertragsrückgang von 0,70 % je Zentimeter Reihenweitenerhöhung aufwies. Bei Winterweizen betrug die entsprechende Abnahme 0,65 %. Als Ursache für den Mehrertrag bei engerem Reihenabstand wurde in Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen (siehe Experiment (4)) i. d. R. eine höhere Bestandesdichte ermittelt (Übersicht in Mülle, 1979 bzw. Mülle und Heege, 1981; Joseph et al., 1985; Marshall und Ohm, 1987; Winter und Welch, 1987; Johnson et al., 1988). Hierfür lassen sich verschiedene Gründe anführen. Eine Verringerung des Reihenabstandes verbessert bei unveränderter Saatstärke die Standraumzumessung der einzelnen Pflanzen, da die Körnerfolge innerhalb der Reihe in den enger gestellten Saatreihen weniger dicht, und die Verteilung der Körner auf der Fläche damit gleichmäßiger ist (Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Holliday, 1963; Baeumer, 1964; Mülle und Heege, 1981; Joseph et al., 1985; Baeumer, 1992; Griepentrog, 1999). Die einzelnen Pflanzen stehen besser verteilt im Luft- und Bodenraum und können den Boden bei verminderter intraspezifischer Konkurrenz ungestörter durchwurzeln (Boekholt, 1958; Mülle und Heege, 1981). Für den Anbau in engeren Reihenweiten wurden im Vergleich zu Weitreihenverfahren entsprechend ein höherer Feldaufgang, eine geringere Mortalität der Keimpflanzen sowie eine stärkere Bestockung nachgewiesen (Übersicht in Mülle, 1979 bzw. Mülle und Heege, 1981; Marshall und Ohm, 1987).

Mülle (1979) maß auf der Basis einer umfangreichen Literaturrecherche Getreidereihenabständen von oberhalb 20 cm für die Anbauverhältnisse Mitteleuropas generell keine Bedeutung bei. Als historische Anbauverfahren mit weiteren Reihenabständen wurden in Deutschland vorübergehend die sogenannte „Licht-Schachtsaat“ sowie die „Lossow-Saat“ bekannt. Bei der „Licht-Schachtsaat“ erfolgte die Aussaat in Doppelreihen

von etwa 10 cm Abstand und mit Zwischenreihenabständen von 30-35 cm (Roemer und Heyl, 1938; Klapp, 1941). Ziel des Verfahrens war eine länger fortgesetzte Hackarbeit, ein besseres Gedeihen von Untersaaten sowie eine Herabminderung der Lagerneigung (Klapp, 1941). Die „Licht-Schachtsaat“ bewährte sich nur unter günstigen Anbaubedingungen (von Boguslawski, 1981). Mehrerträge ließen sich nicht erzielen (Klapp, 1941). Auf trockeneren aber auch feuchteren Standorten führte das Verfahren zu Mindererträgen (von Boguslawski, 1981). Der „Lossow-Saat“ lag ein ähnliches Prinzip wie der „Licht-Schachtsaat“ zugrunde. Der Zwischenraum der Getreidereihen wurde dazu genutzt, den Boden mit einem Meißel zu lockern (von Lossow, 1937; Sessous und Schell, 1938; von Boguslawski, 1981). Das „von Lossow“-Verfahren fand wie die „Licht-Schachtsaat“ keine weitere Verbreitung, da Wurzelschädigungen der erhofften Ertragserhöhung entgegenwirkten (Roemer und Schaffer, 1959).

Zum „weite Reihe“-Verfahren im ökologischen Winterweizenanbau wurden im deutschsprachigen Raum in Folge des ersten Erfahrungsberichtes von Stute (1996) zahlreiche Feld- und Praxisversuche durchgeführt (Hochmann, 1998; Holle und Untiedt, 1999; Germeier, 2000; Richter und Debruck, 2001; Becker und Leithold, 2003; Hochmann, 2003; Pommer, 2003; Schulz et al., 2003; Söllinger, 2003; Wagenristl et al., 2003; Schulz und Leithold, 2004). Ergebnisse der Arbeiten wurden bisher nahezu ausschließlich in Tagungsbänden oder in Form von Projektberichten veröffentlicht. Statistische Angaben, die abgesicherte quantitative Aussagen zulassen, fehlen vielfach. Lediglich die Experimente von Germeier (2000) sind umfassend in einem wissenschaftlich referierten Fachjournal dokumentiert. Eine zusammenfassende Bewertung der zum System der „weiten Reihe“ vorliegenden Ergebnisse ist auf der Basis der veröffentlichten Angaben sowie aufgrund der unterschiedlichen Versuchsanstellungen und Standortbedingungen nicht möglich.

Erweiterte Reihenabstände wurden für den ökologischen Weizenanbau unabhängig von der Fragestellung des „weite Reihe“-Verfahrens im Zusammenhang mit unterschiedlichen Verfahren der Unkrautregulation getestet. Melander et al. (2003) sowie Rasmussen (2004) ermittelten für die Reihenweite von 24 cm in Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen (Experimente (1), (2) und (5)) signifikante Mindererträge. In Untersuchungen von Schenke (1993) ergab die Steigerung des Reihenabstandes auf 22,5 cm lediglich in der Tendenz geringere Kornerträge. Die Mindererträge ließen sich im Mittel über drei Aussaatstärken, zwei Düngungsstufen und zwei Saatgutkorngrößen statistisch nicht absichern.

Der Kornrohproteingehalt wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur in einem von fünf Experimenten signifikant (positiv) durch den Anbau in „weiter Reihe“ (36 cm, 48 cm)

beeinflusst. Germeier (2000) testete den ökologischen Anbau von Winterweizen mit Zwischenreihenabständen von 75 cm. Die Ansaat des Weizens erfolgte mit einer jährweise unterschiedlichen Beisaat von Wildkräutern. In einem von zwei Versuchsjahren wurde das Getreide direkt und in einer Doppelreihe angesät. Die Weitreihenverfahren ergaben im Vergleich zur Kontrolle um jährweise 0,5 bzw. 1,2 Prozentpunkte signifikant höhere Kornrohproteingehalte. Der Kornertrag war jedoch gleichzeitig stark reduziert. Die Mindererträge gegenüber der Kontrolle betragen 11 dt/ha (22,4 %) bzw. 12 dt/ha (27,9 %).

Untersuchungen, in denen unterschiedliche Getreidereihenabstände unter den Bedingungen des historischen oder konventionellen Anbaus geprüft wurden, berücksichtigten lediglich Auswirkungen auf den Kornertrag (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Mülle, 1979). Angaben zu Effekten auf die Kornqualität sind in den Arbeiten nicht enthalten. Die Beeinflussung der Backeigenschaften des Weizens war bereits in der Zeit, als die ersten Reihenabstandsversuche durchgeführt wurden, eine Frage der Sortenwahl sowie v. a. der gezielten Abstimmung zwischen mineralischen Grund- und Spätdüngungsmaßnahmen (Klapp, 1941 und 1954; Rübensam und Rauhe, 1969; von Boguslawski, 1981).

Baeumer (1992) empfiehlt für wasser- und nährstofflimitierte Anbaubedingungen erweiterte Saatreihenabstände bei gleicher Saatedichte, damit sich die in der Reihe dicht stehenden Pflanzen zunächst gegenseitig in ihrem vegetativen Wachstum begrenzen. Der Verbrauch an verfügbaren Wasser- und Nährstoffvorräten soll durch die bewusst geschaffene Konkurrenz reduziert werden, damit während der späteren Wachstums- und Entwicklungsphasen noch Reserven für die Kornproduktion zur Verfügung stehen. Für den ökologischen Getreideanbau wurde in Anlehnung an Baeumer (1992) vermutet, dass den Weizenpflanzen durch die Ansaat in „weiter Reihe“ vergleichsweise mehr Bodenraum und damit auch mehr Bodenstickstoff und Wasser zugeordnet werden kann (Richter und Debruck, 2001; Pommer, 2003; Söllinger 2003). Analysen, welche diese Hypothese belegen könnten, fehlen jedoch bisher. Lediglich Becker und Leithold (2003) führten Erhebungen zum Gehalt an mineralischen Bodenstickstoff (N_{\min}) durch. Die Untersuchungen ergaben jedoch keine signifikanten Effekte in Abhängigkeit der unterschiedlichen Reihenweiten. Baeumer (1992) führt an, dass der Möglichkeit, die Ertragsbildung durch eine zeitliche Steuerung der Konkurrenz zu steuern, in semiariden Gebieten eine größere Bedeutung zukommt als in Gegenden mit gleichmäßig verteilten Niederschlägen und meist überschüssiger Durchfeuchtung des Bodens. Am Versuchsstandort der vorliegenden Studie treten ausgesprochene Trockenzeiten nicht auf (Stewig, 1982; siehe Tabelle 1 und Abbildung 1). Die Sickerwasserbildung ist in den Wintermonaten zumeist so hoch, dass bei der Pflugsaat von Winterweizen ein hoher Anteil

der Boden-N-Vorräte bis zum Frühjahr ausgewaschen wird (Dreymann et al., 2003; Ruhe et al., 2003; Neumann et al., in prep). Eine Steuerung der Verfügbarkeit an Bodennährstoffvorräten über die Variation des Getreidereißenabstandes dürfte am Versuchsstandort somit nur eingeschränkt möglich sein.

2.5.2 Weitere Anbaufaktoren

Die geprüften „weite Reihe“-Systeme ließen sich durch die zeitgleiche Variation weiterer Anbaufaktoren (siehe Tabelle 2) nicht oder nur jahrweise und in geringem Ausmaße optimieren. Die getesteten Sortentypen stellten im Hinblick auf die Reaktion des Kornertrages keine besonders geeigneten „Wenig-“ oder „Weitraumform“ dar (vgl. Rademacher, 1932; Honecker, 1934; Baeumer, 1964). Der Kornrohproteingehalt wurde lediglich in einem der fünf Experimente durch die Wechselwirkung der Faktoren Sorte und Reihenweite beeinflusst (Experiment (3)). Im Haupteffekt zeigten die geprüften Sortentypen ihre bekannten Ertrags- und Qualitätseigenschaften (vergleiche Anonymus, 1998; Schimpf, 2000). Die Variation der Aussaatstärke hatte wider Erwarten (vgl. Baeumer, 1992) weder im Haupteffekt noch in Wechselwirkung mit der Reihenweite einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag oder den Kornrohproteingehalt (Experiment (1)). Die Auswirkungen der Saatstärkenänderung auf die Ertragsstruktur wurden nur in dem ersten Jahr des Experimentes analysiert (Daten nicht dargestellt, siehe Anhang). Die Ergebnisse der Beprobung deuten an, dass die Rücknahme der Aussaatstärke eine Reduktion der Anzahl an Ähren/m² bedingte, die verminderte Bestandesdichte jedoch durch eine erhöhte Anzahl an Körnern je Ähre kompensiert werden konnte (vgl. Stöppler, 1989). Die Steigerung der Intensität der mechanischen Pflege (Experiment (3)) hatte in Übereinstimmung mit zweijährigen Untersuchungen von Ruhe (2000) keinen Einfluss auf den Kornrohproteingehalt. Der Kornertrag konnte durch das zusätzliche Hacken hingegen leicht gesteigert werden. Experimente von Schenke (1993) und Ruhe (2000) ergaben für den Einsatz der Hacke ebenfalls signifikante Mehrerträge gegenüber der Kontrolle (Striegeln). Die Effekte traten jedoch in beiden Untersuchungen nur in einem von zwei Versuchsjahren auf. Positive Auswirkungen von Hackmaßnahmen werden auf eine verstärkte Stickstofffreisetzung aus dem Boden (z. B. Roemer und Scheffer, 1959; Richter und Debruck, 2001) und/oder eine effektivere Unkrautregulation (z. B. Ruhe, 2000; Melander et al., 2003) zurückgeführt. Die Ergebnisse mehrerer Arbeiten deuten darauf hin, dass das Ausmaß der Stickstoffmineralisation nur geringfügig durch die Intensität der mechanischen Pflege beeinflusst wird (Vogl, 1999; Ruhe, 2000; Steinmann, 2002). Für den Zusammenhang zwischen dem Grad der Unkrautregulierung und der Höhe des erzielten Kornertrages liegen

unterschiedliche Ergebnisse vor (Übersicht Schenke, 1993; Rasmussen, 2004). Wird der Einsatz der Hacke mit dem Normalanbau (Striegeln, enger Reihenabstand) verglichen, so ist zu berücksichtigen, dass möglichen positiven Effekten der Hackmaßnahme potenzielle Ertragseinbußen durch den Zwang zum Anbau in erweiterten Reihenabständen gegenüber stehen (Melander et al., 2003). Des weiteren ist zu bedenken, dass die Entwicklung von Beikräutern durch weitere Getreidereiherabstände generell begünstigt wird (Köpke, 1998 und 2000; Drews et al., 2003). Ein unsachgemäßer bzw. unter ungünstigen Bedingungen durchgeführter Einsatz der Maschinenhacke kann Mindererträge bedingen (Roemer und Scheffer, 1959; Übersicht Schenke, 1993).

2.6 Schlussfolgerungen

Wichtige Grundbedingung für einen wirtschaftlichen Erfolg des ökologischen „weite Reihe“-Anbaus von Winterweizen ist die im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren zuverlässigere Erzeugung hoher Kornqualitäten, für die bei der Vermarktung als Backgetreide je nach Abnehmer Preisaufschläge erzielt werden können (Brunner, 2002; Nieberg et al., 2003; Oberforster und Werteker, 2003). Die bisher aus dem deutschsprachigen Raum zum System „weite Reihe“ vorliegenden Ergebnisse lassen die Frage offen, inwieweit und unter welchen Voraussetzungen das Verfahren die an es gestellten Erwartungen zu erfüllen vermag. In der vorliegenden Arbeit stellten die getesteten „weite Reihe“-Systeme keine Strategien dar, um die ökologische Erzeugung von Backweizen im Vergleich zu herkömmlichen Anbaumethoden zuverlässig zu verbessern. Der Kornrohproteingehalt ließ sich nur in einem von fünf Experimenten signifikant durch die Erweiterung des Reihenabstandes anheben. Der Kornertrag wurde hingegen in allen Versuchsjahren durch den Anbau in „weiter Reihe“ reduziert. Im Rahmen einer wirtschaftlichen Bewertung des „weite Reihe“-Verfahrens ist neben den erzielten Erträgen und Qualitäten zu berücksichtigen, dass einer potenziellen Einsparung von Saatgutkosten in der Regel ein höherer Energieaufwand sowie höhere proportionale Spezialkosten für die mechanische Pflege zwischen den Getreidereiher gegenüber stehen (Hacken, ggf. Mulchen von Untersaaten) (Untiedt, 2004).

2.7 Literatur

- Alvermann, G., 1996: Das Weitreihenverfahren - Erfahrungen aus Schleswig-Holstein. *bio-land* 3, 14.
- Anonymus, 1991: Verordnung (EWG) Nr. 2002/91 des Rates vom 24.6.1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft* Nr. L 198/1 vom 22.07.1991.

- Anonymus, 1998: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte 1998. Landbuch-Verlag, Hannover.
- Baeumer, K., 1964: Konkurrenz in Pflanzenbeständen als Problem der Pflanzenbauforschung. Forschung und Beratung – Reihe B, Heft 10, 99-123.
- Baeumer, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Becker, K., Leithold, G., 2003: Praxiseinführung des Anbaukonzeptes Weite Reihe unter besonderer Berücksichtigung des Qualitätsaspektes bei Backweizen im Ökologischen Landbau. Schlussbericht zum FuE-Projekt 98 UM 057. Universität Giessen. Internet 12.6.2004: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1157/>.
- Boekholt, K., 1958: Zur Frage der Drillweite im Getreideanbau. Z. Acker- und Pflanzenbau 105, 395-408.
- Boekholt, K., 1962: Standweiten bei Getreide. DLG-Mitteilungen 77, 390-392.
- Brunner, B., 2002: Qualität von Öko-Brotgetreide weiter verbessern. Ökologie & Landbau 121, 35-37.
- Drews, S., Juroszek, P., Neuhoff, D., Köpke, U., 2003: Konkurrenzkraft verschiedener Weizensorten unter dem Einfluss von Reihenabstand und Drillrichtung. In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 105-109.
- 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, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 89-92.
- Geisler, G., 1988: Pflanzenbau. Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Germeier, C. U., 2000: Wide row spacing and living mulch: new strategies for producing high protein grains in organic cereal production. Biological Agriculture and Horticulture 18, 127-139.
- Griepentrog, H.-W., 1999: Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saatgut. Agrartechnische Forschung 5, 117-124.
- Heuser, W., 1954: Untersuchungen über die Höhe und Struktur des Ertrages beim Wintergetreide unter dem Einfluss verschiedener Drillweiten. Zugleich ein Beitrag zur Frage der Wenig- und Weitraumformen. Z. Acker- und Pflanzenbau 98, 25-25.
- Hochmann, J., 1998: Winterweizen-Reihenabstandsversuche (System Stute). In: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Herausgeber): Versuchsbericht Ökologischer Landbau 1998.
- Hochmann, J., 2003: Winterweizen-Reihenabstandsversuche (System Stute). In: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Herausgeber): Versuchsbericht Ökologischer Landbau 2003. Internet 26.4.2004: http://www.lwksh.de/fachinfo/ackerbau/oeko_landbau/winterweizen.html.
- Holle, R., Untiedt, H., 1999: Crop rotations on organic farms in Northern Germany and development of the wide row system. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Köpke, U. (Editors): Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an international workshop. Danish Research Centre for Organic Farming, 159-162.

- Holliday, R., 1963: The effect of row width on the yield of cereals. *Field Crop Abst.* 16, 71-81.
- Honecker, L., 1934: Aussaatmenge und Reihentfernung bei Hafersortenversuchen. *Pflanzenbau* 11.
- Horn, M., Vollandt, R., 1995: *Multiple Tests und Auswahlverfahren*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Johnson, J. W., Hargrove, W. L., Moss, R. B., 1988: Optimizing row spacing and seeding rate for soft red winter wheat. *Agron. J.* 80, 164-166.
- Joseph, K. D. S. M., Alley, M. M., Brann, D. E., Gravelle, W. D., 1985: Row spacing and seeding rate effects on yield and yield components of soft red winter wheat. *Agronomy Journal* 77, 211-214.
- Kirchgeßner, M., 1997: *Tierernährung*. 10., neubearbeitete Auflage. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- Klapp, E., 1941: *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus*. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Klapp, E., 1954: *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus*. 4. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Köpke, U., 1998: Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Kontrolle der Begleitflora ohne Herbizideinsatz – Ein Beitrag zu Selbstverständnis und Perspektiven des Pflanzenbaus. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 11, 7-13.
- Köpke, U., 2000: Ökologischer Landbau. In: Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Herausgeber): *Lehrbuch des Pflanzenbaus*. Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Lafferty, J., Bistrich, H., 2000: Ungewöhnliche Proteinbanden und Überraschungen bei der Backqualität. In: Bericht über die 51. Arbeitstagung 2000 der Vereinigung österreichischer Pflanzzüchter, BAL Gumpenstein, 21. - 23. November 2000. 103-107.
- Lashin, M. H., Schrimpf, C., 1962: Analyse der Ertragsstruktur von Winterweizen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 114, 235-280.
- Marshall, G. C., Ohm, H. W., 1987: Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal* 79, 1027-1030.
- Melander, B., Cirujeda, A., Jørgensen, M. H., 2003: Effects of inter-row hoeing and fertilizer placement on weed growth and yield of winter wheat. *Weed Research* 43, 428-438.
- Mülle, G., 1979: *Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Getreide*. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Mülle, G., Heege, H. J., 1981: Kornverteilung über die Fläche und Ertrag bei Getreide. *Z. Acker-Pflanzenbau* 150, 97-112.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., in prep: Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture. I. Agronomical management and performances in the first year.
- Nieberg, H., Strohm-Lömpcke, R., Riedel, J., 2003: Wirtschaftlichkeit des Anbaukonzepts "Weite Reihe" im Getreidebau. In: Freyer, B. (Herausgeber): *Ökologischer Landbau der Zukunft*. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 85-88.
- Oberforster, M., Werteker, M., 2003: Ökonomische Bewertung von Winterweizensorten bei unterschiedlichen Qualitätsbezahlungs-schemata. In: Freyer, B. (Herausgeber):

- Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 485-486.
- Pommer, G., 2003: Auswirkungen von Saatstärke, weiter Reihe und Sortenwahl auf Ertrag und Backqualität von Winterweizen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 3, Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 21-26.
- Rademacher, B., 1932: Die Weißähigkeit des Hafers, ihre verschiedenen Ursachen und Formen. Archiv für Pflanzenbau 8, 456.
- Rasmussen, I. A., 2004: The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organically winter wheat. Weed Research 44, 12-20.
- Richter, S., Debruck, J., 2001: Einfluss der Reihenweite auf Ertrag und Qualität von Winterweizen. In: H. J. Reents (Herausgeber): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, 233-236.
- Roemer, Th., Heyl, W., 1938: Dtsch. landw. Presse 65, 489.
- Roemer, Th., Scheffer, F., 1959: Lehrbuch des Ackerbaus. 5. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Rübensam, E., Rauhe, K., 1968: Ackerbau. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Ruhe, I., 2000: Winterweizenanbau in stickstofflimitierten Produktionssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Ertragsbildung, der organischen Düngung und der mechanischen Beikrautregulierung. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 13. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Ruhe, I., Loges, R., Taube, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 97-100.
- SAS Institute, 2001: Version 8.2, SAS Institute Inc..
- Schenke, H., 1993: Anbautechnik von Winterweizen im Organischen Landbau: Unkrautaufkommen und Ertragsbildung in Abhängigkeit von mechanischer Unkrautregulierung, Saatgutqualität, Standraumzumessung und organischer Düngung. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Schimpf, E., 2000: Ökologischer Getreidebau. In: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau e.V. (AGÖL) (Herausgeber): Sortenübersicht für den Ökologischen Landbau. VAS Verlag, Frankfurt.
- Schulz, F., Leithold, G., 2004: Effekte unterschiedlicher Reihenweiten und Aussaatstärken auf den Kornertrag und Rohproteingehalt von ökologisch angebautem Winterweizen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 16, 27-28.
- Schulz, F., Leithold, G., Schmidt, H., Schimmel, A., 2003: Untersuchungen verschiedener Aussaatstermine, Aussaatstärken und Weizensorten im Anbausystem „Weite Reihe“. In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 499-500.
- Sessous, G., Schell, H., 1938: Mittlg. F. d. Landw. 53, 1183.

- Söllinger, J., 2003: Ergebnisse zum System Weite Reihe in Oberösterreich. In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 73-76.
- Steinmann, H.-H., 2002: Wirkung des Striegelns auf den Stickstoff in Boden und Pflanze. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 14, 179-180.
- Stewig, R., 1982: Landeskunde von Schleswig-Holstein. 2. Auflage. Gebr. Borntraeger, Stuttgart.
- Stöppler, H., 1989: Weizen im ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Herausgeber), Darmstadt. KTBL-Arbeitspapier 138.
- Strand, E., 1969: Radavstand ved saing av korn. Jodbruksforsk, Kopenhagen, Stockholm, 50, 429-445.
- Stute, J., 1996: Erlaubt ist, was dem Boden nützt. bio-land 3, 12-14.
- Taylor, B. R., Watson, C. A., Stockdale E. A., Mc Kinlay, R. G., Younie D., Cranstoun, D. A. S., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. HGCA Research Review 45.
- Untiedt, H., 2004: Marktfruchtanbau. In: Redelberger (Herausgeber): Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. Verfahren – Kostenrechnungen – Baulösungen. KTBL-Schrift 426. KTBL/Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Vogl, R. C., 1999: Ertragsleistung und Nährstoffabfuhr von Hanf (*Cannabis sativa* L.) und ihre Beeinflussung durch Anbaumaßnahmen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus in Niederösterreich. Dissertationsschrift, Universität Wien.
- Von Boguslawski, E., 1981: Ackerbau. Grundlagen der Pflanzenproduktion. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Von Lossow, R., 1937: Dtsch. Landw. Presse 64, 152.
- Wagentristl, H., Pietsch, G., Freyer, B., 2003: Anbauverfahren „Weite Reihe“ von Winterweizen unter den kontinentalen Anbaubedingungen Ostösterreichs. In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien, 503-504.
- Westphal, H., 1936: Standweite und Saatstärkeversuche mit Hafer in Hinsicht auf die Wenig- und Weitraumformtheorie. Pflanzenbau 1.
- Winter, S. R., Welch, A. D., 1987: Tall and semidwarf wheat response to dryland planting systems. Agronomy Journal 79, 641-645.
- Ziogas, G., 1995: Geologie und Böden der Versuchsbetriebe Lindhof und Hohenschulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Quartärgeologische und bodenkundliche Kartierung, Genese, Vergesellschaftung, Ökologie, Funktionen. Dissertationsschrift, Universität Kiel.

Anhang

Tabelle A1: F-Werte und Signifikanzniveaus (Sign.) der Varianzanalyse für den Einfluss der Faktoren Reihenweite (R), Sorte (S) und Aussaatstärke (A) auf die Parameter Kornertrag, Kornrohproteingehalt (RP), Tausendkornmasse (TKM), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m²), Anzahl Körner je Ähre (K./Ähre) sowie den Harvest-Index (HI) von ökologisch angebautem Winterweizen im Jahr 1999 (n = 108; Mittel über drei Wiederholungen)

F values and levels of significance of ANOVA for the impact of row spacing (R), variety (S) and seed rate (A) on the parameters grain yield, grain crude protein content (RP), thousand kernel mass (TKM), number of ears per m² (Ähren/m²), number of kernels per ear (K./Ähre) and the harvest index (HI) (n = 108; mean of three replicates)

Varianz- ursache	F-Wert/Sign.					
	Ertrag	RP	TKM	Ähren/m ²	K./Ähre	HI
R	13,06 ***	0,76 n.s.	0,95 n.s.	15,30 ***	1,23 n.s.	1,58 n.s.
S	17,05 ***	147,24 ***	25,43 ***	1,38 n.s.	20,32 ***	0,83 n.s.
A	2,73 n.s.	0,94 n.s.	0,64 n.s.	15,23 ***	3,71 *	1,43 n.s.
R*A	0,73 n.s.	1,13 n.s.	0,96 n.s.	2,32 n.s.	0,37 n.s.	0,57 n.s.
R*S	0,40 n.s.	0,83 n.s.	0,71 n.s.	1,66 n.s.	1,56 n.s.	1,41 n.s.
A*S	0,91 n.s.	0,15 n.s.	0,21 n.s.	2,58 n.s.	2,07 n.s.	1,08 n.s.
R*A*S	1,04 n.s.	1,09 n.s.	0,81 n.s.	0,95 n.s.	1,04 n.s.	1,74 n.s.

Tabelle A2: Einfluss der Aussaatstärke (Körner/m²) auf die Parameter Kornertrag (dt/ha), Kornrohproteingehalt (RP) (%), Tausendkornmasse (TKM) (g), Anzahl Ähren tragende Halme (Ähren/m²), Anzahl Körner je Ähre sowie den Harvest-Index von ökologisch angebautem Winterweizen im Jahr 1999 (Mittel über drei Wiederholungen)

Impact of seed rate (kernels/m²) on the parameters grain yield (dt/ha), grain crude protein content (RP) (%), thousand kernel mass (TKM) (g), number of ears per m² (Ähren/m²), number of kernels per ear (Körner/Ähre) and the harvest index (mean of three replicates)

Faktorstufe	Ertrag (dt/ha)	RP (%)	TKM (g)	Ähren/ m ²	Körner/ Ähre	Harvest- Index
100 Körner/m ²	24,1	9,7	48,7	196,4 c	25,4 ab	0,35
200 Körner/m ²	26,4	9,6	48,5	212,8 b	25,6 a	0,37
300 Körner/m ²	26,5	9,6	48,2	238,8 a	23,1 bc	0,37
SE/Sign.	2,7 n.s.	0,1 n.s.	1,0 n.s.	11,2 ***	1,2 *	0,02 n.s.

Kapitel 3

Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture

I. Agronomical management and performances in the first year

3.1 Abstract

The objective of this research was to investigate (a) whether and how it is feasible to sow winter wheat (*Triticum aestivum* L.) directly into living mulches of white clover (*Trifolium repens* L.) under the conditions of organic agriculture and (b) whether this bi-cropping system might be an alternative to common organic wheat production. As we assumed that the control of competition between wheat and white clover is the key issue for success of growing both crops together, the following factors were tested in one- to three-factorial field experiments during 2001/02 and 2002/03: sowing technique (sowing after ploughing, row rotary tilling/bi-cropping (i), laminar rotary tilling/bi-cropping (ii)), row spacing of cereal (12 cm, 36 cm), variety of white clover ('Landy', 'Milkanova', 'Rivendel').

Investigations showed that winter wheat could successfully be grown in white clover swards. Cultivation of both crops was most promising when the clover was restricted by a separate laminar rotary tillage operation directly before sowing of wheat (bi-cropping (ii)). Bi-cropping (i) resulted in higher contents of crude protein in the grain than wheat grown alone. However, grain yields produced in the wheat/clover systems could not compete with the yields obtained by sole wheat crops. Irrespective of sowing technique, cultivation of wheat with narrow row spacing caused higher grain yields and lower contents of crude protein in the grain than sowing of wheat in wider rows. Variation of clover variety had no significant impact on the performance of the bi-cropping systems. Winter wheat/clover intercropping as compared with winter wheat alone resulted in substantially lower nitrate leaching during the winter following cereal drilling. At the end of the vegetation period bi-cropping left amounts of approximately 200 kg N/ha in biomass including roots (soil depth 0-30 cm) while only 36 kg N/ha were found in the residues of the sole wheat crops.

As winter wheat/white clover bi-cropping allows to grow both a cash crop and a green manure crop in the same year, it is concluded that this no-till system might be a profitable and environmentally sound alternative to common grass/clover green manure crops in organic agriculture. The impact of the cropping systems investigated in this study on the performance of subsequent cereal crops was tested in following experiments results of which are presented in a second paper.

Keywords: direct drilling, intercropping, living mulch, plant N residues, green manure, nitrate leaching, *Trifolium repens*, *Triticum aestivum*

3.2 Introduction

Several experiments about direct drilling of cereals into living mulches of white clover have been carried out in Europe during the 1990s (Williams and Hayes, 1991; Jones, 1992; Jones and Clements, 1993; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Olesen and Askegaard, 2000; Thorsted et al. 2002; Bergkvist, 2003 a, b). Researches aimed to develop a novel row relay intercropping (Andrews and Kassam, 1976) and bi-cropping system (Bergkvist and Clements, 2002), respectively, which allows to reduce inputs of agrochemicals, especially of mineral fertilisers. (Probably) according to results determined from grass-clover leys (Chalk, 1998; Høgh-Jensen and Schjoerring, 2000), it was assumed that some of the soil nitrogen (N) which is removed from the system through the harvest of the annual cereal can be replaced by N₂ fixation of the perennial legume (Williams and Hayes, 1991; Jones, 1992; Jones and Clements, 1993; Burke et al., 1998).

With respect to the agronomical management of the system different species of cereal crops were tested to grow in companion with white clover. Williams and Haynes (1991) and Jones and Clements (1993) reported that direct tillage was not appropriate to spring sown species (wheat, oats, barley), because the cereal crops failed to compete with the clover, unless it was strongly depressed by a herbicide (Williams and Haynes, 1991). Jones (1992) and Thorsted et al. (2002) showed that intercropping with spring oats or spring barley resulted in similar grain yields to a corresponding cereal monoculture. However, in the experiments of Jones (1992) growth of clover was temporarily repressed by herbicides, and in the study of Thorsted et al. (2002) the white clover was cut with a brush weeder in between the cereal rows. Thorsted et al. (2002) also gave mineral fertilizer (50 kg N/ha) in spring, which is known as an effective measure to reduce competition of clover in bi-cropping stands (Jones and Clements, 1993; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003 b; see below).

Bi-cropping of winter wheat and white clover resulted in yields of whole-crop silage comparable to single grown wheat (Clements and Donaldson, 1997; Clements, 1998), whereas grain yields of bi-cropped wheat were mostly smaller than known from conventional winter wheat production with higher N-Inputs (Jones and Clements, 1993; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al, 1998; Bergkvist, 2003 b). Over all cereal species, experiments indicated that the reduction in grain yield was mainly caused by a strong competition of white clover (Jones and Clements, 1993; Bergkvist, 2003 b). Therefore different strategies were tested to reduce competition from clover and to enhance the competitive ability of the cereal, respectively. Treatments which (at least annually) resulted in an increase of cereal grain yield were (a) the application of a herbicide in spring (Williams and Hayes, 1991; Bergkvist, 2003

b), (b) the choice of a less competitive white clover variety (Thorsted et al., 2002; Bergkvist, 2003 a), (c) drilling with higher cereal seed rates (Jones and Clements, 1993; Bergkvist, 2003 a) and (d) the application of a mineral nitrogen fertilizer dressing in spring (Jones and Clements, 1993; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003 b).

Based on results determined under conditions of conventional agriculture it was concluded that cereal/clover bi-cropping might have high potential for organic farming (Clements, 1998; Wolfe et al., 2000; Taylor et al., 2001; Bergkvist and Clements, 2002). Especially on stockless organic farms production of cash crops depends on a sufficient supply of N delivered from preceding legumes, as there is usually no source to supplement the soil N with organic manure on this type of farms (e. g. Stopes et al., 1996; Mueller and Thorup-Kristensen, 2001; Taylor et al., 2001). Therefore, from an economic point of view it is beneficial if the green manure crops also can provide income, particularly as they can occupy 20-40 % of the rotation (Cuttle et al., 2003). Assuming that cereal/clover bi-cropping provides a well performing white clover sward after grain is harvested, the system might allow to grow both a cash crop and a green manure crop in the same year, which may present a profitable alternative to common organic green manure and wheat cropping systems. On mixed organic farms the bi-cropping system gives the flexibility of usage for forage production and might be an alternative to sole cereal crops and intercrops grown for whole crop silage.

Apart from economy, the no-till living mulch system should be linked with environmental benefits, like efficient control of soil erosion, reduction of nitrate leaching, improvement of soil structure and beneficial impacts on soil life (Clements et al., 1999; Feil and Liedgens, 2001; Schmidt et al., 2001).

No scientific studies how to manage cereal-clover bi-cropping in organic farming systems are available to date. Therefore, the objective of the research presented in this paper was to test (a) whether and how intercropping of winter wheat and white clover can be realized under the restrictions of organic agriculture and (b) whether this novel system might be an alternative to common practise. Due to results of the above mentioned conventional studies it was concluded that the control of competition between cereal and clover is also the key for success of bi-cropping in organic agriculture. It was assumed that the main determining factors for levels of clover depression might be (a) sowing technique of cereal, (b) row spacing of cereal and (c) variety of white clover. The effects of these factors were measured for yield and quality parameters of grain and whole-crop silage. Furthermore, N leaching over winter and the amount of plant N left after grain harvest were investigated.

While the present paper focuses on the direct effects of bi-cropping on yield and quality parameters of wheat and white clover, a second paper (Neumann et al., in prep a) highlights the medium-term effects of bi-cropping from the crop rotation perspective.

3.3 Materials and methods

3.3.1 Experimental site

The field experiments were conducted at the ‘Lindhof’, the research farm for organic agriculture of Kiel University in northern Germany. The farm is located close to the shoreline of the Baltic Sea (53° 40,3′ N; 10° 34,9′ E). Soils at the site were formed by ground moraines during the last glaciote. Soil types of the experimental areas are Luvisols and Cambisols. The soil textures in the upper layers were mainly determined to be sandy loams (Ziogas, 1995). Climate is humid temperate with a mean air temperature of 8,7° C and a mean annual precipitation of 774 mm (Table 1). Weather data measured during the experimental years are shown in Figure 1 and Table 1. The first winter period 2001/02 was characterised by higher precipitation and higher mean temperatures than the second winter period. During the vegetation period 2002 unusual heavy rainfalls occurred shortly before grain harvest, whereas precipitation during the growing season of the second experimental year 2003 was much lower than in the long term average.

Table 1: Cumulative precipitation (mm) and mean temperature (°C) at the experimental site during the years 2001 to 2003 in comparison to the mean values of 1980 to 2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)

Year	Cumulative precipitation (mm)		Mean temperature (°C)
	Year total	Cultivation period*	Year total
2001	810,3	558,9	8,8
2002	960,9	808,2	9,7
2003	524,1	514,4	9,6
1980-2003	774,0	641,6	8,7

*: 1. October (time of drilling winter wheat) till 31. July (time of grain harvest)

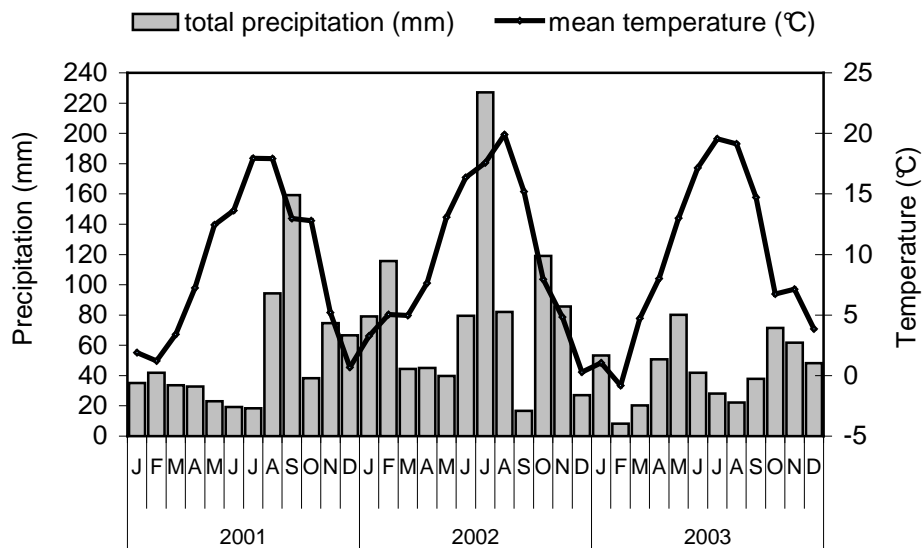


Figure 1: Sum of precipitation (mm) as well as mean of average daily temperature (°C) during the experimental years 2001-2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)

3.3.2 Experimental design

Five two-year field-experiments were conducted from 2001 to 2003. Due to limitation in experimental area and manpower it was not feasible to test all combinations of factors in one orthogonal experiment and to take samples in all experimental plots, respectively. Therefore, the project was divided into several experiments examining one to three factors each (Table 2).

Experiment (1) was arranged in a split plot design with three sowing techniques randomly assigned to main plots and two row spacings (12 cm, 36 cm) randomly assigned to sub-plots. The sowing techniques differed in the intensity of soil tillage and as a consequence in the intensity of suppression of white clover during the process of drilling wheat, respectively. Bi-cropping (i) ('extensive' suppression) consisted of direct sowing of wheat into clover swards with a Howard Roto-matic, which works with powered rotating blades and normally is used for resowing of grassland. The Howard Roto-matic is comparable to the Hunter Rotary Strip-Seeder, which was used in most of the cited experiments of bi-cropping in conventional agriculture (Williams and Hayes, 1991; Jones, 1992; Jones and Clements, 1993; Thorsted et al., 2002). Bi-cropping (ii) ('intensive' suppression) consisted in sowing wheat with a common seed drill directly after shallow tillage of white clover with a rotary tiller. The aim of this technique was to weaken the white clover as much as possible without killing it. Both bi-cropping techniques were compared with common sowing of winter wheat (ploughing of white clover swards, control condition). In experiment (1) yield and quality parameters of

winter wheat were collected at grain harvest as well as three weeks before at a relevant stage for harvesting whole crop for silage.

Experiment (2) considered the bi-cropped plots of experiment (1) with three different varieties of white clover randomly arranged as sub-sub-plots (split split plot design). The varieties of clover were chosen due to (potential) differences in growth height and leave size (in ascending order after Anonymus, 2001: ‚Rivendel‘, ‚Milkanova‘, ‚Landy‘). Parameters estimated in experiment (2) were grain yield, yield structure of wheat and grain crude protein content.

The impact of the named clover varieties on the yields and quality of whole-crop silage was investigated in experiment (3).

Experiment (4) was conducted to investigate the impact of sowing techniques from experiment (1) on the amount of plant N left in residual biomass above and below ground after grain harvest of wheat. Investigations were conducted on the plots employed in experiment (1) using the white clover variety ‚Milkanova‘ as well as wide row spacing of wheat.

As little work has been done in the past on the effects of bi-cropping on the losses of nitrogen via leaching (Clements and Donaldson, 1997) an additional experiment (5) was conducted to investigate the impact of sowing techniques (bi-cropping (i) and ploughing) on the N leached during the winter following cereal drilling as well as on the amount of soil N at the beginning and at the end of the period of soil water sampling. Experiments (4) and (5) were designed as a randomised one-factor block.

Table 2: Factors, factor levels and investigated parameters of the field experiments during 2001/02 and 2002/03

Experiment	Factors and factor levels								Investigated parameters							
	Sowing technique wheat			Row spacing wheat		Variety clover			Clover	Wheat			Soil			
	Bi-cropping (i)	Bi-cropping (ii)	Ploughing	12 cm	36 cm	Rivendel	Milkanova	Landy	W _{CS}	Residual plant N	Yield (structure)	N content grain	W _{CS}	Residual plant N	NO ₃ -N leachate	NO ₃ -N soil
Exp. (1)	x	x	x	x	x*	/			x		x	x	x			
Exp. (2)	x	x		x	x*	x	x	x			x	x				
Exp. (3)	/				/	x	x	x	x				x			
Exp. (4)	x	x	x		/	/				x				x		
Exp. (5)	x		x		/	/									x	x

Bi-cropping (i): 'extensive', direct drilling of winter wheat into white clover with a rotary strip seeder (Howard Roto-matic); Bi-cropping (ii): 'intensive', direct drilling of winter wheat into white clover after laminar tilling of white clover with a rotary tiller; Ploughing: traditional sowing of winter wheat after ploughing of white clover

/: no factor, standard; * including inter row mulching of clover twice in May (bi-cropped plots)

W_{CS}: whole-crop silage (crude protein content, NEL content, NEL yield); Residual plant N: residual N in above ground biomass and roots after grain harvest of wheat; NO₃-N-leachate: NO₃-N losses with the leachate in the winter following drilling of wheat; NO₃-N soil: NO₃-N in the soil (0-90 cm) at the start and at the end of the leachate sampling period

Before drilling winter wheat, pure white clover stands were established after ploughing in mid of May (seed rate 6 kg/ha). In order to prevent the invasion of weeds and to stimulate growth of white clover, respectively, swards were mulched for four (2001) and two (2002) times before drilling wheat. Mulching cuts were carried out less frequently in the second year as clover growth was poorer than in the first cultivation period. Last mulching was carried out directly before the sowing of winter wheat. The final re-growth of clover was free of weeds in both experimental years. Drilling of wheat (variety 'Bussard') was carried out at the beginning of October with 330 kernels/m². Bi-cropping plots with wide rows (Experiment (1) and (2)) were mulched by hand with a motor scythe in between the cereal rows at the beginning and end of May. The date of first mulching was chosen with regard to growth height of clover. Grain was harvested in the first decade of August with a Haldrup plot combine, harvesting a 1,75 m x 6,00 m area from the centre of each plot. In 2002 white clover swards were mulched following grain harvest to prevent invasion of weeds in subsequent crops. Post-harvest mulching was not carried out in 2003 because of small clover growth.

3.3.3 Field data and analyses

Grain yield, crude protein content in the grain and yield structure

Grain yield and thousand kernel weight (TKW) were determined from the mechanically cleaned samples of grain harvest. Above ground biomass of wheat was taken from sampling areas of 0,25 m² of the field plots before grain harvest and tiller density was counted. Representative sub-samples were oven dried for 48 hours at 65 °C to determine percentage of dry matter of biomass. The number of kernels per ear was calculated from the parameters grain yield, TKW and number of ears per m². Dry material was milled for analyses of nitrogen content, which was identified by a Foss NIRS 5000 near-infrared reflection spectroscope. Samples for NIRS-calibration and -validation were analysed in the laboratory with an elemental analyser Elementar vario MAX CN. The content of grain crude protein was generated by multiplication of the nitrogen content with the factor 5,71 (Kirchgeßner, 1997). Values of grain yields were converted to zero percent moisture in grain.

Whole-crop silage

In addition to the parameters surveyed at the time of grain maturity the suitability for harvest of whole-crop silage was analysed at EC 85 of wheat (Zadoks et al., 1974). In experiments (1) and (3) samples of cereal and white clover were cut 10 cm above ground from 0,25 m² large areas of the field plots respectively. Wheat and clover biomass were analysed separately. The N content in harvestable biomass was estimated via NIRS. The crude protein content was calculated from the N content by multiplication with the factor 6,25 (Kirchgeßner, 1997). Net energy for lactation (NEL) of wheat and clover was assessed from metabolisable energy (ME) (Weißbach, 1996), which was calculated from enzymatically insoluble organic matter (ELOS; De Boever et al., 1986) as:

$$\text{ME} = 3,0886 + 0,0114 * \text{ELOS} \text{ [g/kg]} \quad (\text{Suedekum in Wichmann, 2004}).$$

Residual plant N

The amount of plant N in residues of bi-cropping and sole wheat crops was determined before sowing of subsequent crops at the beginning of October. Total biomass above ground (halm, stubble, mulch) was cut from 0,25 m² large areas of the adequate field plots. Root mass was determined from soil cores (diameter 8 cm) taken at a soil depth of 30 cm with a boring rod (two cut-ins per plot) (Boehm, 1979). Roots were washed out from the cores with a strainer (diameter 1 mm). Dry matter of biomass was determined as described above, N content and C/N ratio in biomass were estimated via NIRS.

NO₃-N leaching losses

Nitrogen losses with the drainage water were determined for bi-cropping (i) and traditional sowing of wheat (ploughing) during the winter following sowing of wheat (experiment (5), see Table 2). Leaching water was collected with porous ceramic suction cups. Each plot of the experiment was equipped with three cups, which were installed at a soil depth of 75 cm as soon as possible following sowing of wheat. Subsequent to each sampling of soil water, a tension of 300 to 400 mbar was applied to the cups. Sampling was carried out weekly from the beginning of November to the end of March 2001/02 and 2002/03, respectively (see results, Figure 4). Samples from the cups of one plot were pooled and frozen for further analysis. The concentrations of NO₃-N in the soil water were determined with a Shimadzu photometer at a wavelength of 210 nm. The amount of NO₃-N load (kg/ha) occurring between two sampling dates was calculated by multiplication of the appropriate concentration of NO₃-N in the soil water (ppm) with the corresponding drainage water volume (mm). Total losses were calculated by adding these values over the whole sampling period. The drainage water volume was estimated by a climatic water balance model (DVWK, 1996). Calculation took account weather and soil data determined at the experimental site (Ziogas, 1995), a reduction function for actual evapotranspiration (Wendling et al., 1984) and specific crop coefficients (k_{crop}) which compared the potential evapotranspiration (ET_p) of bi-cropping and sole wheat crops to ET_p of grassland ($k_{\text{grassland}} = 1,0$; $k_{\text{bi-cropping}} = 1,0$; $k_{\text{ploughing}} = 0,4$; DVWK, 1996). Calculations were started for the first date when leachate occurred in the sampling cups, assuming that water storage of soil had reached field capacity.

NO₃-N in the soil

Soil mineral NO₃-N was determined at the beginning and end of the leachate sampling periods. Samples were collected from the plots which had been provided with suction cups. Soil cores were taken in 30 cm levels from the upper 90 cm of the soil profile with a Puerckhauer boring rod (two samples per plot). Samples of each plot were pooled before further analysis. Soil cores were extracted with 0,0125 mol CaCl₂, and NO₃-N was measured with a Hitachi photometer at a wavelength of 210 nm.

3.3.4 Statistical analyses

Statistical analyses were performed with SAS (SAS Institute, 2001). Due to experimental design calculations were performed with mixed models, which considered the fixed factors listed in Table 2 and the random factor block within year. Significances were verified at a

probability of error of 5 %. Data was tested for GAUSS distribution and for homogeneity of variance before further analyses. Multiple comparisons of means were carried out using the Bonferroni-Holm test (Horn and Vollandt, 1995). Time profiles of soil mineral NO₃-N were statistically evaluated using a repeated-measures model. In the case of significant interactions between factors, tests of effect slices were carried out to analyse differences between factor levels within one factor.

3.4 Results

3.4.1 Experiment (1)

Grain harvest

The grain yield was mostly affected by the factor sowing technique (Table 3). Averaged over both experimental years bi-cropping (i) and bi-cropping (ii) resulted in lower grain yields than ploughing (-22,8 dt/ha and -12,8 dt/ha, respectively) (Table 4). The differences in grain yield between sowing techniques were substantially larger in 2002 than in 2003 (Figure 2). While the thousand kernel weight was higher with white clover as an understorey than without, the parameters ears/m² and kernels per ear were reduced by bi-cropping. 'Extensive' bi-cropping (i) resulted in higher grain crude protein contents than bi-cropping (ii) and ploughing. Sowing with wider row spacing resulted in 3,4 dt/ha lower grain yields and 0,9 % (absolute) higher contents of grain crude protein related to cultivation with normal row spacing. While the parameters thousand kernel weight and number of kernels per ear were not significantly affected by the variation of row spacing, tiller density was 25 % lower when wheat was cultivated in wide rows.

Table 3: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R) and sowing technique (S) on grain yield, grain crude protein content and yield structure of winter wheat (experiment (1); n = 181; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance													
	Yield		Crude protein		Ears/m ²		Tkw		Kernels/ear		Grain N yield		Harvest-Index	
Y	30,7	**	5,6	n.s.	10,4	*	20,3	**	0,2	n.s.	28,5	**	0,0	n.s.
R	8,4	**	27,7	***	15,5	***	0,4	n.s.	1,8	n.s.	1,6	n.s.	0,3	n.s.
S	122,8	***	39,6	***	5,2	*	11,0	***	19,4	***	91,8	***	4,0	*
Y*R	5,3	*	0,4	n.s.	11,1	**	0,2	n.s.	3,3	n.s.	5,1	*	0,2	n.s.
Y*S	25,5	***	14,4	***	2,2	n.s.	31,6	***	1,5	n.s.	16,4	***	1,2	n.s.
R*S	0,5	n.s.	2,1	n.s.	0,5	n.s.	4,1	*	0,6	n.s.	0,2	n.s.	0,1	n.s.
Y*R*S	0,3	n.s.	0,1	n.s.	0,5	n.s.	3,4	*	0,1	n.s.	0,3	n.s.	0,1	n.s.

n.s.: not significant ($p \geq 5,0 \%$), *: significant ($5,0 \% > p \geq 1,0 \%$), **: high significant ($1,0 \% > p \geq 0,1 \%$), ***: very high significant ($p < 0,1 \%$)

Table 4: Impact of sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and yield structure of winter wheat (experiment (1); mean of two years and four replicates)

Factor	Factor level	Yield (dt/ha)	Crude protein (%)	Ears/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear	Grain N yield (kg/ha)	Harvest-Index (%)
Sowing technique	'Bic' (i)	15,2 c	13,8 a	268,5 b	45,6 a	12,8 c	35,6 c	0,25 b
	'Bic' (ii)	25,2 b	12,1 b	319,3 ab	44,5 a	18,7 b	52,9 b	0,34 ab
	Ploughing	38,0 a	12,2 b	358,6 a	42,9 b	25,9 a	80,7 a	0,36 a
	SE/Sign.	1,0 ***	0,2 ***	19,7 *	0,4 ***	1,5 ***	2,4 ***	0,03 *
Row spacing	12 cm	27,8	12,2	360,3	44,5	18,0	58,1	0,31
	36 cm	24,4	13,1	270,6	44,2	20,3	54,7	0,33
	SE/Sign.	0,8 **	0,1 ***	16,1 ***	0,3 n.s.	1,3 n.s.	1,9 n.s.	0,02 n.s.

Bic: Bi-cropping; SE/Sign.: standard error/level of significance (see Table 3); different letters mark significant differences between factor levels

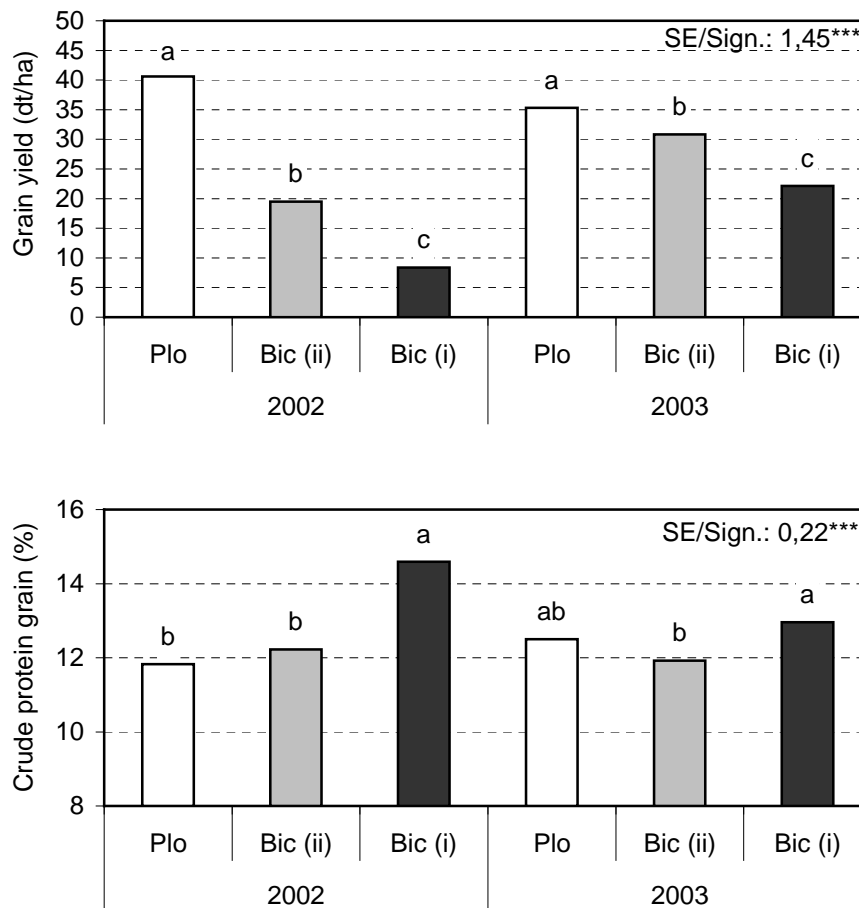


Figure 2: Impact of the interaction year*sowing technique on grain yield (dt/ha) (top) and grain crude protein content (%) (bottom) of winter wheat (experiment (1); mean of four replicates; Plo: Ploughing; Bic: Bi-cropping; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction, different letters mark significant differences between sowing techniques within each experimental year; test of effect slices, slice = year)

Whole crop silage

The results of experiment (1) for the parameters determined at the whole-crop silage stage are presented by the interaction row spacing*sowing technique (Table 5 and 6). Cereal/clover bi-cropping achieved lower dry matter yields but higher contents of crude protein in the harvestable biomass than single grown winter wheat crops. The NEL-content in biomass was not affected by the factors sowing technique and row spacing. Bi-cropping (ii) with narrow rows effected NEL-yields similar to winter wheat grown after ploughing.

Table 5: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R) and sowing technique (S) on dry matter yield (DM), crude protein content, NEL content, NEL yield and percentage of clover in total DM at the whole-crop silage stage (experiment (1); n = 48; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance									
	Total								Clover	
	Dry matter		Crude protein content		NEL content		NEL yield		% in total DM ¹	
Y	39,81	***	0,15	n.s.	1,68	n.s.	31,82	**	19,45	**
R	24,05	***	1,95	n.s.	0,26	n.s.	24,14	***	1,39	n.s.
S	26,20	***	38,00	***	2,68	n.s.	19,10	***	2,02	n.s.
Y*R	5,90	**	2,44	n.s.	0,06	n.s.	5,01	*	0,01	n.s.
Y*S	4,28	**	22,44	***	0,19	n.s.	3,80	*	0,02	n.s.
R*S	5,33	**	1,44	n.s.	1,06	n.s.	5,53	**	7,84	*
Y*R*S	1,97	n.s.	1,52	n.s.	1,70	n.s.	1,10	n.s.	4,01	n.s.

¹ Analyses to the exclusion of sowing technique 'ploughing' and single grown wheat, respectively (n = 32)

Table 6: Impact of the interaction row spacing*sowing technique on dry matter yield (DM) (g/m²), N uptake (kg/ha), crude protein content (%), NEL content (MJ/kg DM), NEL yield (MJ/ha) and percentage of clover in total DM (%) at the whole-crop silage stage (experiment (1); mean of two years and four replicates)

Factor level	Total										Clover				
	DM (g/m ²)			Crude protein content (%)			NEL content (MJ/kg DM)			NEL yield (MJ/ha)			% in total DM ³		
	12 cm	36 cm	Sig. ¹	12 cm	36 cm	Sig. ¹	12 cm	36 cm	Sig. ¹	12 cm	36 cm	Sig. ¹	12 cm	36 cm	Sig. ¹
Bi-cropping (i)	746,2	542,4	**	9,5	10,3	n.s.	5,6	5,7	n.s.	41593	30773	**	15,1	19,1	n.s.
	b	b		a	a					b	b				
Bi-cropping (ii)	878,3	583,1	***	8,9	8,6	n.s.	5,8	5,6	n.s.	50295	32383	***	18,5	8,7	*
	ab	b		a	b					a	b				
Ploughing	956,6	937,8	n.s.	6,5	7,2	n.s.	5,5	5,4	n.s.	52045	50697	n.s.	-	-	
	a	a		b	c					a	a				
Sig. ²	**	***		***	***		n.s.	n.s.		*	***		n.s.	**	

¹ Levels of significance for comparisons between row spacings (test of effect slices, slice = sowing technique); ² Levels of significance for comparisons between sowing techniques (test of effect slices, slice = row spacing), different letters mark significant differences between sowing techniques; ³ Statistical analysis was carried out for bi-cropping techniques only

3.4.2 Experiment (2)

Variation of white clover variety had neither a significant impact on the crude protein content in the grain nor on the grain yield (Table 7). Averaged over clover varieties the sowing technique bi-cropping (ii) resulted in higher grain yields and higher N yields than bi-cropping (i) (Table 8). Ears/m², thousand kernel weight and number of kernels per ear were significantly reduced by bi-cropping (i). Wide row spacing caused 3,2 dt/ha lower grain yields than drilling in narrow rows, but resulted in a 0,9 % higher content of crude protein in the grain (see experiment (1)).

Table 7: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), row spacing (R), sowing technique (S) and white clover variety (V) on grain yield, grain crude protein content and yield structure of winter wheat (experiment (2); n = 108; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance													
	Yield		Crude protein		Ears/m ²		Tkw		Kernels/ear		Grain N yield		Harvest-Index	
Y	122,32	***	73,66	***	8,57	*	27,47	**	18,79	**	116,50	***	9,58	*
R	15,19	***	48,66	***	14,82	***	12,85	***	0,77	n.s.	2,26	n.s.	0,90	n.s.
S	167,01	***	175,99	***	10,15	**	5,08	*	23,08	***	82,12	***	19,53	***
V	2,00	n.s.	0,84	n.s.	0,81	n.s.	0,44	n.s.	0,08	n.s.	1,76	n.s.	0,01	n.s.
Y*R	11,73	**	0,1	n.s.	9,21	**	2,43	n.s.	1,70	n.s.	6,35	*	0,01	n.s.
Y*S	2,28	n.s.	20,67	***	0,01	n.s.	0,79	n.s.	6,16	*	3,39	n.s.	5,33	*
Y*V	4,82	*	1,55	n.s.	1,98	n.s.	2,37	n.s.	3,16	n.s.	4,75	*	4,86	*
R*S	0,92	n.s.	5,46	*	4,40	*	3,37	n.s.	1,53	n.s.	0,02	n.s.	0,83	n.s.
R*V	0,39	n.s.	0,52	n.s.	0,47	n.s.	0,71	n.s.	0,13	n.s.	0,17	n.s.	0,19	n.s.
S*V	2,11	n.s.	1,13	n.s.	0,10	n.s.	0,65	n.s.	0,47	n.s.	3,21	n.s.	1,13	n.s.
Y*R*S	0,06	n.s.	0,93	n.s.	0,33	n.s.	15,92	***	0,00	n.s.	0,01	n.s.	0,71	n.s.
Y*S*V	0,07	n.s.	0,83	n.s.	1,67	n.s.	1,17	n.s.	0,75	n.s.	0,05	n.s.	0,03	n.s.
Y*R*V	1,21	n.s.	0,58	n.s.	2,53	n.s.	0,05	n.s.	1,24	n.s.	1,26	n.s.	0,29	n.s.
R*S*V	0,00	n.s.	0,81	n.s.	0,71	n.s.	1,21	n.s.	0,32	n.s.	0,08	n.s.	0,54	n.s.

Table 8: Impact of sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain crude protein content (%) and yield structure of winter wheat (experiment (2); mean of four replicates)

Factor	Factor level	Yield (dt/ha)	Crude protein (%)	Ears/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear	Grain N yield (kg/ha)	Harvest-Index (%)
Sowing technique	‘Bic’ (i)	14,6	13,9	260,8	45,2	13,0	34,5	0,24
	‘Bic’ (ii)	25,0	12,2	319,5	44,5	18,9	52,9	0,35
	SE/Sign.	0,7 ***	0,1 ***	13,1 **	0,4 *	0,9 ***	1,5 ***	0,02 ***
Row spacing	12 cm	21,4	12,6	325,7	44,2	15,4	45,2	0,28
	36 cm	18,2	13,5	254,7	45,4	16,5	42,2	0,31
	SE/Sign.	0,7 ***	0,1 ***	13,1 ***	0,4 ***	0,9 n.s.	1,5 n.s.	0,10 n.s.
Variety	‘Landy’	18,7	13,1	274,3	44,7	15,8	41,1	0,3
	white	20,2	12,9	293,9	45,0	15,7	44,3	0,3
	‘Milkanova’	20,5	13,1	302,3	44,8	16,3	45,7	0,3
	‘Rivendel’	20,5	13,1	302,3	44,8	16,3	45,7	0,3
	SE/Sign.	0,8 n.s.	0,1 n.s.	16,0 n.s.	0,4 n.s.	1,1 n.s.	1,8 n.s.	0,02 n.s.
Year	2002	13,6	13,7	263,2	43,0	13,3	31,4	0,26
	2003	26,0	12,4	317,2	46,7	18,6	56,0	0,33
	SE/Sign.	0,8 ***	0,1 ***	13,1 *	0,5 **	0,9 **	1,6 ***	0,02 *

3.4.3 Experiment (3)

Yields of dry matter were not affected by the variation of white clover varieties at the harvest time of whole-crop silage (Table 9 and 10), whereas bi-cropping with ‘Landy’ resulted in higher contents of crude protein in dry matter biomass than cultivation with ‘Milkanova’ or ‘Rivendel’. The NEL contents showed similar figures, but differences between varieties were smaller. The parameters total NEL yield and percentage of clover in total biomass were not significantly affected by the variation of clover varieties.

Table 9: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y) and variety of white clover (V) on dry matter yield (DM), N uptake, crude protein content, NEL content and NEL yield of total harvestable biomass as well as on dry matter yield, clover content, crude protein content and NEL content of bi-cropped clover alone at the whole-crop silage stage (experiment (3); n = 24; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance							
	Total				Clover			
	DM	Crude protein content	NEL content	NEL yield	DM	% in total DM	Crude protein content	NEL content
Y	5,86 n.s.	70,31 ***	14,51 **	3,74 n.s.	11,15 *	18,02 **	5,94 n.s.	0,01 n.s.
V	0,59 n.s.	11,59 **	8,09 **	0,17 n.s.	2,50 n.s.	2,98 n.s.	4,35 *	5,89 *
Y*V	0,53 n.s.	2,55 n.s.	1,75 n.s.	0,36 n.s.	1,14 n.s.	1,94 n.s.	3,59 n.s.	1,01 n.s.

Table 10: Impact of variety of white clover on dry matter yield (DM) (g/m²), N uptake (kg/ha), crude protein content (%), NEL content (MJ/kg DM) and NEL yield (MJ/ha) of total harvestable biomass as well as on dry matter yield (g/m²), clover content (%), crude protein content (%) and NEL content (MJ/kg DM) of bi-cropped clover alone at the whole-crop silage stage (experiment (3); mean of four replicates)

Factor	Factor level	Total				Clover			
		DM (g/m ²)	Crude protein content (%)	NEL content (MJ/kg DM)	NEL yield (MJ/ha)	DM (g/m ²)	% in total DM	Crude protein content (%)	NEL content (MJ/kg DM)
Variety white clover	La	493,8	12,3 a	6,0 a	29313	103,1	23,4	20,8 a	6,4 a
	Mi	542,4	10,3 b	5,7 b	30773	64,45	13,1	20,2 ab	6,3 ab
	Ri	522,8	11,1 b	5,9 ab	30478	69,7	14,5	18,8 b	6,1 b
	SE	40,4	0,3	0,1	2310	13,2	3,2	0,5	0,1
	Sign.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	*
Year	2002	445,0	12,7	6,1	26844	104,6	24,9	20,8	6,2
	2003	594,4	9,7	5,6	33531	53,6	9,1	19,1	6,3
	SE	43,6	0,3	0,2	2445	10,8	2,6	0,5	0,1
	Sign.	n.s.	***	**	n.s.	*	**	n.s.	n.s.

La: Landy, Mi: Milkanova, Ri: Rivendel

3.4.4 Experiment (4)

Cereal/clover bi-cropping clearly effected higher total yields of residual dry matter and residual plant N than ploughing of white clover and cultivation of wheat alone, respectively (Table 11 and 12). Plant N left with aerial biomass plus roots of wheat/clover bi-cropping was larger in 2002 than in 2003 (Table 13). The C/N ratio was significantly wider in residues of single grown wheat than in residues of winter wheat/white clover bi-cropping.

Table 11: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y) and sowing technique (S) on residual dry matter (DM), N amount and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); n = 24; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance								
	Biomass above ground			Roots			Total		
	DM	N amount	C/N	DM	N amount	C/N	DM	N amount	C/N
Y	1,11 n.s.	11,22 *	0,28 n.s.	1,71 n.s.	0,40 n.s.	1,01 n.s.	0,10 n.s.	9,75 *	0,21 n.s.
S	27,71 ***	78,89 ***	179,02 ***	9,50 **	14,01 ***	9,69 **	36,85 ***	87,86 ***	148,93 ***
Y*S	3,23 n.s.	9,18 **	11,66 **	1,32 n.s.	2,13 n.s.	2,54 n.s.	4,92 *	10,64 **	12,48 **

Table 12: Impact of sowing technique on residual dry matter (DM) (g/m^2), N amount (g/m^2) and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); mean of two years and four replicates)

Sowing Technique	Biomass above ground			Roots			Total		
	DM (g/m^2)	N amount (g/m^2)	C/N	DM (g/m^2)	N amount (g/m^2)	C/N	DM (g/m^2)	N amount (g/m^2)	C/N
'Bic' (i)	654,4 a	15,6 a	19,9 b	209,3 b	4,2 a	22,3 b	863,7 a	19,9 a	20,5 b
'Bic' (ii)	625,9 a	14,7 a	20,7 b	320,8 a	5,3 a	24,8 b	946,6 a	19,8 a	22,1 b
Ploughing	168,1 b	1,7 b	37,3 a	150,6 c	1,9 b	31,0 a	318,8 b	3,6 b	34,8 a
SE	51,8	0,9	0,9	28,1	0,5	1,4	56,2	1,0	0,7
Sign.	***	***	***	**	***	**	***	***	***

Table 13: Impact of the interaction experimental year*sowing technique on residual dry matter (g/m^2), N amount (kg/ha) and C/N ratio in dry matter of above ground biomass and roots (soil depth 0-30 cm) (experiment (4); mean of four replicates)

Sowing technique	Total dry matter (g/m^2)			Total N amount (kg/ha)			Total C/N		
	2002	2003	Sig. ¹	2002	2003	Sig. ¹	2002	2003	Sig. ¹
Bi-cropping (i)	950,3 a	777,1 a	n.s.	239,9 a	157,1 a	**	19,2 b	21,7 b	n.s.
Bi-cropping (ii)	1024,4 a	868,9 a	n.s.	230,5 a	166,4 a	**	21,2 b	23,1 b	n.s.
Ploughing	185,3 b	452,3 b	*	16,6 b	55,2 b	n.s.	37,6 a	32,0 a	**
Sig. ²	***	**		***	***		***	***	

¹ Levels of significance for comparisons between experimental years (test of effect slices, slice = sowing technique); ² Levels of significance for comparisons between sowing techniques (test of effect slices, slice = year), different letters mark significant differences between sowing techniques

3.4.5 Experiment (5)

NO₃-N in soil

The factor sowing technique and the interaction year*date of sampling had the most substantial effect on the amount of NO₃-N in the soil (Table 14). Averaged over the two sampling dates (beginning, end of leaching period) the amount of soil NO₃-N was 32,8 kg/ha higher after ploughing of white clover compared with bi-cropping (Table 15). The difference between soil NO₃-N at the beginning and at the end of the leaching period was only significant in the first experimental period (Figure 3).

Table 14: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), sowing technique (S) and date of sampling (D) on the amount of NO₃-N in the soil (0-90 cm) (experiment (5); n = 16)

Effect	F-Value/level of significance
Y	9,45 *
S	14,97 **
D	9,91 **
Y*S	0,26 n.s.
Y*D	16,86 **
S*D	2,84 n.s.
Y*S*D	0,18 n.s.

Table 15: Impact of sowing technique on the amount of NO₃-N in the soil (0-90 cm) (experiment (5); mean of two years and two sampling dates (beginning, end of leaching period); see Figure 4)

Factor level	Soil NO ₃ -N (kg/ha)
Bi-cropping	51,9
Ploughing	84,7
SE/Sign.	6,3 **

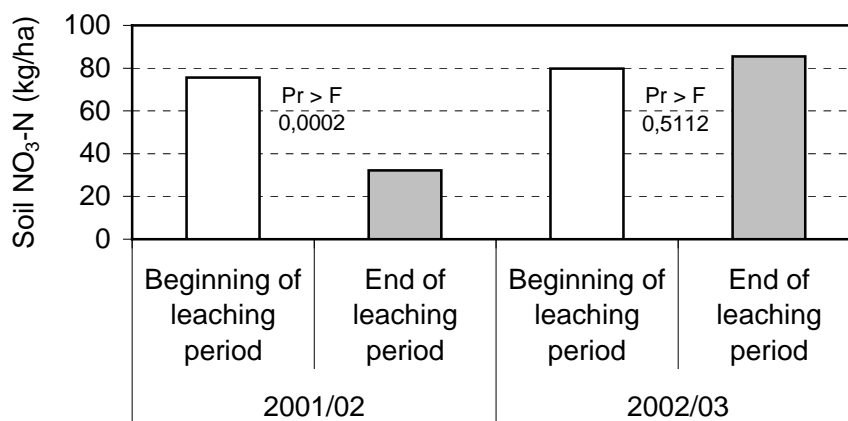


Figure 3: Impact of the interaction year*date of sampling on the amount of NO₃-N in the soil (kg/ha) (0-90 cm) (experiment (5), mean of two sowing techniques (bi-cropping (i); ploughing); levels of significances refer to test of effect slices, slice = year)

NO₃-N losses with the leachate

As the NO₃-N losses via leaching were estimated from the calculated amounts of leaching water and the measured concentrations of NO₃-N, apparent data is presented in Figure 4 to illustrate the pattern of nitrate concentrations and amounts of leachate in the two sampling periods. Longer periods with deeply frozen soil occurred more often in 2002/03 than in 2001/02. Calculations of leachate for the periods 2001/02 and 2002/03 resulted in amounts of 273 mm and 137 mm for bi-cropping, and 310 mm and 165 mm for ploughing.

Nitrate N leaching in period 2001/02 exceeded losses of period 2002/03 by 31,5 kg/ha (Table 16 and 17). In the mean of both sampling periods bi-cropping resulted in 18 kg/ha lower amounts of NO₃-N losses with the leakage than wheat cultivation after ploughing.

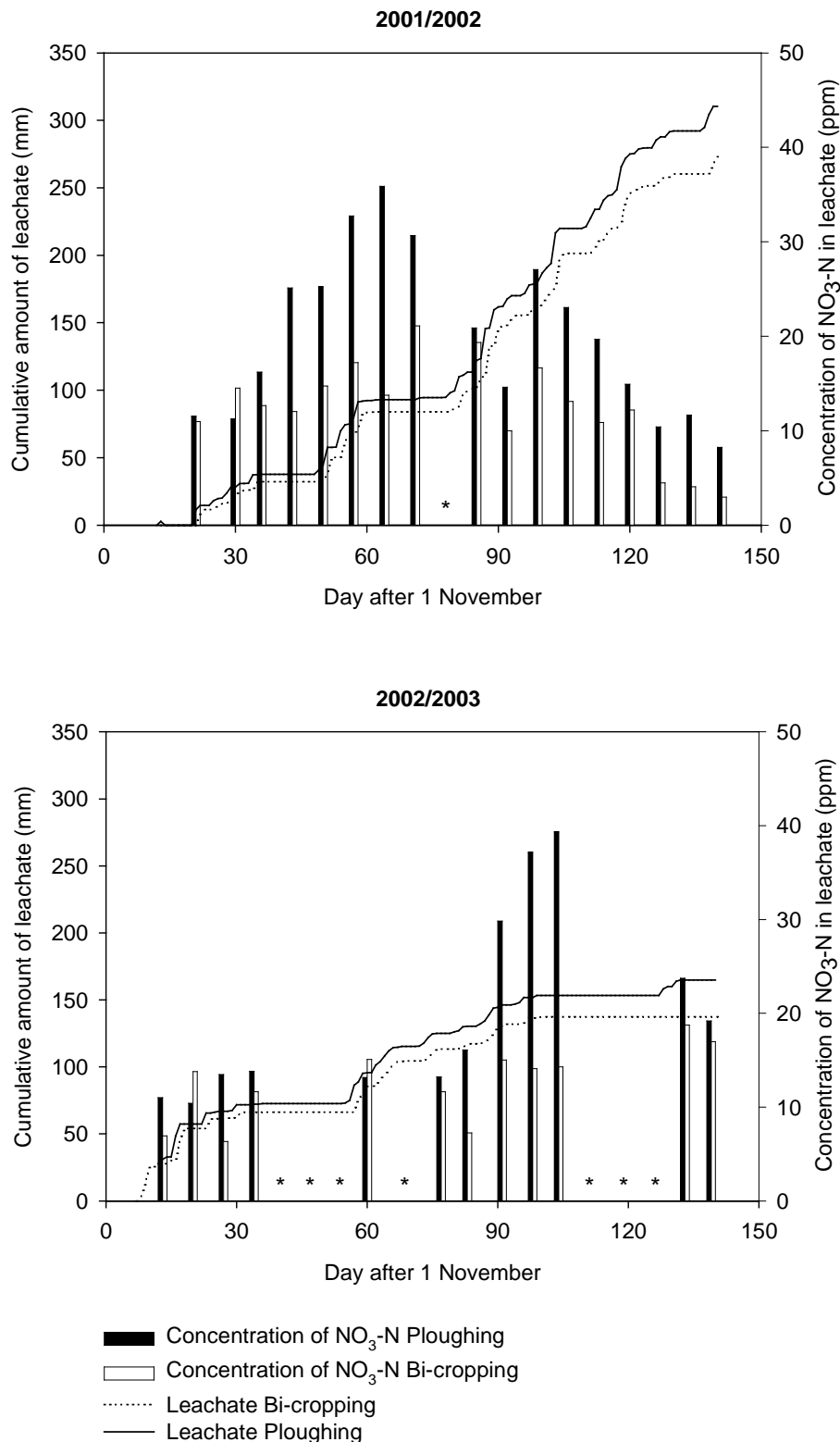


Figure 4: Calculated cumulative amounts of leaching water (mm) and weekly measured concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ in the leachate (ppm) during the sampling periods 2001/02 (20.11. to 20.3.) and 2002/03 (13.11. to 18.3.) subject to sowing after ploughing and bi-cropping technique, respectively (experiment (5); *: no data due to frozen soil)

Table 16: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and sowing technique (S) on the amount of NO₃-N leaching losses (experiment (5); n = 16; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance
LP	69,35 ***
S	22,64 ***
LP*S	4,56 n.s.

Table 17: Impact of leaching period and sowing technique on the amount of NO₃-N leaching losses (kg/ha) (experiment (5); mean of four replicates)

Factor	Factor level	NO ₃ -N leaching (kg/ha)
Leaching period	2001/02	50,1
	2002/03	18,6
	SE/Sign.	2,7 ***
Sowing technique	Bi-cropping	25,4
	Ploughing	43,4
	SE/Sign.	2,7 ***

3.5 Discussion

3.5.1 Whole crop silage

In agreement with results determined in conventional farming (Jones, 1992; Clements et al., 1996, Clements et al., 1997; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al., 1998) cereal/clover bi-cropping in our experiments was appropriate to produce as large dry matter yields of whole crop silage as achieved by single grown wheat. Furthermore, intensive bi-cropping (ii) with narrow row spacing resulted in yields and contents of NEL similar to sole cereal crops. At the same study site Wichmann (2004) investigated the development of forage quality of typical organic cereal/grain legume intercrops. In his study faba bean/oats and lupin/barley mixtures obtained NEL yields and NEL contents at the whole-crop silage stage comparable to our data of the wheat/clover system. Whereas unfertilised grass/clover leys usually achieve higher NEL values than those found in the presented bi-cropping experiments (e. g. Wachendorf, 1995; Loges, 1998). When comparing wheat/white clover intercropping with single grown wheat crops, bi-cropping produced up to (absolute) three percentage points higher contents of crude protein in biomass. However, with maximal 10,3 % CP the contents were generally low in comparison to corresponding values known from named alternative organic forage production systems, which usually show higher fractions of legumes than determined for

wheat/clover bi-cropping in presented experiments (Loges, 1998; Loges et al., 1999; Wichmann, 2004).

3.5.2 Grain yield

In agreement with studies dealing with winter wheat/white clover intercropping in conventional agriculture (Clements et al., 1996; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003 b), in our study cultivation of wheat after ploughing showed higher grain yields than both tested bi-cropping techniques. Jones and Clements (1993) as well as Clements and Donaldson (1997) did not consider ploughing in their experiments but found bi-cropping grain yields which were much lower than known for common conventional wheat production in their region. Corresponding to the findings of Burke et al. (1998) the minor grain yields of bi-cropping crops in the presented experiments were associated with reduced numbers of ears/m² and fewer grains per ear. The thousand kernel weight was raised by cultivation in the bi-cropping system but failed to compensate the decline of the other two yield structure parameters. Bergkvist (2003 b) found fewer ears/m², whereas the number of grains per ear and the thousand kernel weights were not affected by bi-cropping in his study. As the number of ears/m² and grains/ear are determined during the early stages of crop development in spring (e. g. Kirby and Appleyard, 1982), it can be concluded that lack of nitrogen during this critical phase inhibited formation of tillers and ear primordial (Jones and Clements, 1993; Burke et al., 1998). Presented results support this hypothesis as bi-cropping (i) in comparison to ploughing was associated with less nitrate leaching during the winter, but also with less NO₃-N available in the soil in autumn and in spring. Bergkvist (2003 b) found that winter wheat-white clover intercrops were not able to empty the soil profile of inorganic N as efficiently as wheat directly sown in bare soil. Furthermore, grain yield response to N fertiliser was almost equal with or without white clover. Therefore, Bergkvist (2003 b) concluded that not N availability, but competition from the clover due to shading as well as inadequate placement of seeds due to sowing through crop residues kept bi-crop grain yields lower than in wheat alone stands. Clements (1998) determined a lower soil water availability throughout much of the growing season for bi-cropping stands than for wheat grown alone. Based on this finding he assumed that competition for soil water between clover and cereal might be as important for lower cereal grain yields as competition for nutrients. Limitation of growth factors (nitrogen, water, light) is regarded as the primary reason for reduction of grain yields in living mulch systems in general (Feil and Liedgens, 2001).

In our study the differences between the grain yields of the bi-cropped wheat and the sole wheat crops were more distinct in the first of both experimental years which might have been caused by several factors. In 2002 unusual heavy rainfalls occurred shortly before grain harvest (see Figure 1) which to a certain extent resulted in lodging in the weaker bi-cropping stands. Furthermore, competition from clover was probably stronger in 2001/02 than in 2002/03 as indicated by significantly higher dry matter yields and percentage of clover at EC 85 of wheat in the first year. The minor fraction of clover in 2003 can be explained by lower mean temperatures and less precipitation during winter 2002/03 (see Figure 1), as this climatic conditions are known to reduce overwintering potential of white clover (Wachendorf et al., 2001).

In agreement with results of experiments published by Clements (1998), Thorsted et al. (2002) and Bergkvist (2003 b), bi-cropping compared with pure wheat resulted in higher contents of N and crude protein in the grain, respectively, whereas this finding was only valid for bi-cropping (ii) in our experiments. However, all cultivation systems tested achieved crude protein contents above 10,5 %, which often is set as the required minimum level to sell organically grown wheat with mark-ups to mills (Taylor et al., 2001; Oberforster and Werteker, 2003).

3.5.3 Control of competition

As bi-cropped clover has a competitive advantage due to earlier establishment than winter wheat (Bergkvist, 2003 a), prior bi-cropping experiments considered factors that aimed to control growth of clover and support development of wheat, respectively (see introduction). The most effective measure to effect competition in the present study was to repress the clover mechanically by a laminar rotary tillage operation directly before the sowing of wheat. Bergkvist (2003 c) found similar results in a one-year complementary experiment conducted in Sweden. While winter wheat sown into white clover in connection with stubble cultivation achieved acceptable grain yields, the strip seeded wheat lodged and was not possible to harvest at all.

In agreement with results of our experiments Clements (1998) and Thorsted et al. (2002) found fewer differences between clover variety and grain yield of the main crop than expected. However, in a study of Bergkvist (2003 a) wheat bi-cropped with the clover variety ‘AberCrest’ showed higher grain yields than wheat grown with ‘Sonja’ or ‘S184’, which both are known as more winter hardy and competitive varieties than ‘AberCrest’.

At the harvest time of whole crop silage bi-cropping with wide cereal row spacing produced less dry matter- and NEL-yields of biomass than cultivation at a closer row width. Regardless of the type of sowing technique the increase of row spacing was also associated with less grain yields, whereas the grain crude protein content was increased by wheat cultivation in wider rows. Both effects correspond with results of studies dealing with variation of row spacing in common organic winter wheat production (Neumann et al., in prep b). Minor grain yields associated with wider row width are also well known from several studies conducted in conventional farming (Holliday, 1963; Muelle and Heege, 1981; Joseph et al., 1985; Marshall and Ohm, 1987; Winter and Welch, 1987; Johnson et al., 1988). In agreement with our results the negative relationship between grain yield and row distance was predominantly caused by reduction of ears/m² (Muelle and Heege, 1981; Joseph et al., 1985; Marshall and Ohm, 1987; Winter and Welch, 1987; Johnson et al., 1988). Widening of row spacing at constant seeding rate causes a smaller distance of seeds within the cereal row and, therefore, a worse distribution of seeds in the field and an increase of intraspecific competition for nutrients, water, light and space between single plants (Holliday, 1963; Joseph et al., 1985; Muelle and Heege, 1981). Jones and Clements (1993) varied seed rate of bi-cropped winter wheat at a row distance of 22 cm. A plant population of about 250 plants/m² was suitable, while at 120 and 300 plants/m² grain yield was limited by reduced tiller population and tiller death resulting from intra-row competition, respectively.

In our experiments bi-cropping with wide rows was combined with two mulching cuts in between the cereal rows during spring. Inter row mulching was developed for organic cereal production in order to adjust growth of understoreys and weeds (Becker and Leithold, 2003). According to results of Koepke and Weber (1996) it was assumed that mechanical regulation of clover might (a) enhance N availability for the cereal due to mineralization of mulched clover biomass and (b) repress the competitiveness of clover. The results presented in this paper can not proof this hypothesis. The clover crops recovered very fast after inter row mulching in both years which limited a possible 'competition reducing' effect of this measure. This finding is also underlined by results from Becker and Leithold (2003).

In conventional land use systems the clover could successfully be controlled by herbicides (Williams and Hayes, 1991; Jones, 1992; Bergkvist, 2003 b). Furthermore, an application of 50-100 kg/ha of mineral nitrogen fertilizer in spring turned out to be a successful measure to decrease the proportion of clover and increase the grain yield of winter wheat (Jones and Clements, 1993; Bergkvist, 2003 b). Bergkvist (2003 b) also tried to control bi-cropped clover

mechanically by spring harrowing or mowing at the emergence of winter wheat, but both measures failed in terms of increasing the cereal grain yield.

3.5.4 Residual N in stubbles, stolons and roots

Averaged over both experimental years wheat/clover bi-cropping left amounts of residual plant N of approximately 200 kg N/ha. Grass/clover crops, which are commonly used for green manure especially in stockless organic agriculture (Mueller and Thorup-Kristensen, 2001; Cuttle et al., 2003), can leave similar amounts. Under conditions of north-western Germany maximal N amounts in residual above ground biomass plus roots (soil depth 0-30 cm) of grass/red clover swards of 182 to 230 kg N/ha were found (Heß, 1989; Piorr, 1992; Lopotz, 1996; Loges, 1998; Dreymann, in prep). In studies conducted under similar conditions to our work Loges et al. (1999) and Kaske (2000), respectively, determined residual N amounts of 178 to 215 kg/ha in biomass plus roots (0- 30 cm) of pure white clover swards and ryegrass/white clover mixtures, which both were sown in August and mulched for two times till sampling in October of the following year. However, as residual N amounts of grass/clover crops can substantially be influenced by type and management of swards, also much lower values than the above-mentioned were determined (Loges, 1998; Kaske, 2000; Dreymann, in prep).

3.6 Conclusions

Results from our experiments demonstrated that it was feasible to establish winter wheat/white clover bi-cropping under terms and conditions of organic agriculture. Bi-cropping was most successful if white clover competition was restricted by a separate laminar rotary tillage operation carried out directly before sowing of winter wheat (bi-cropping (ii)). As this cultivation method requires no special equipment, it easily can be applied in practical organic farming. On mixed farms bi-cropping can alternatively be grown for whole-crop silage as an alternative to other winter grain species. 'Intensive' bi-cropping (ii) achieved yields and quality of whole crop silage comparable to values determined from sole wheat crops. If grain production becomes a more attractive option than silage, bi-cropping gives the flexibility that wheat can be left to grow on for grain harvest (Clements and Donaldson, 1997). However, as clover in the case of grain production is a competitor and not part of the output product (Clements, 1998), grain yields of bi-cropped wheat were lower than grain yields of wheat which was sown after ploughing of white clover in presented experiments. According to Feil and Liedgens (2001) a wider implementation of living mulch systems in

practical farming is unlikely if minor grain yields are not compensated by subsidies. Irrespective of appropriation of funds organic cereal/clover bi-cropping might be profitable, if the system is placed in crop rotation to replace a grass/clover green manure crop. In our experiments bi-cropping left amounts of plant nitrogen at least similar to green manuring with grass/clover, but additionally produced grain of high quality (crude protein content >12 %), which can be sold with mark-ups (Taylor et al. 2001).

3.7 References

- Andrews, D. J., Kassam, A. H., 1976: The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. In: Multiple cropping, American society of agronomy, Special publication No. 27. Madison, 1-10.
- Anonymus, 2001: Beschreibende Sortenliste 2001. Graeser, Klee, Luzerne. Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Becker, K., Leithold, G., 2003: Praxiseinfuehrung des Anbaukonzeptes Weite Reihe unter besonderer Beruecksichtigung des Qualitaetsaspektes bei Backweizen im Oekologischen Landbau. Schlussbericht zum FuE-Projekt 98 UM 057. Universitaet Giessen. Internet 12.6.2004: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1157/>.
- Bergkvist, G., 2003 a: Influence of White Clover Traits on Biomass and Yield in Winter Wheat- or Winter Oilseed Rape-Clover Intercrops. *Biological Agriculture and Horticulture* 21, 151-164.
- Bergkvist, G., 2003 b: Effect of White Clover and Nitrogen Availability on the Grain Yield of Winter Wheat in a Three-Season Intercropping System. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 53, 97-109.
- Bergkvist, G., 2003 c: Perennial Clovers and Ryegrasses as Understorey Crops in Cereals. Doctoral Diss. Dept. of Ecology and Crop Production Science, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* Vol. 414.
- Bergkvist, G., Clements, R. O., 2002: Intercropping and Bicropping with white clover. In: Fisher, G., Frankow-Lindberg, B. (Editors): *Lowland grassland of Europe: Utilization and development*. REU Technical Series 64, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 33-43.
- Boehm, W., 1979: Methods of studying root systems. *Ecological Studies* 33. Springer Berlin, Hamburg, New York.
- Burke, J. I., Thomas, T. M., Finnan, J. M., 1998: Bi-cropping of winter wheat and white clover. Teagasc – Project report – 4316.
- Chalk, P. M., 1998: Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 303-316.
- Clements, R. O., 1998: Exploitation of a Sustainable Low-input and Reduced-output System for Arable Crops. Final Report to the European Commission, Contract no. AIR 3 CT93-0893.
- Clements, R. O., Donaldson, G., 1997: Clover and cereal: low input bi-cropping. *Farming and Conservation* 3, 12-14.

- Clements, R. O., George, S., Martyn, T., Donaldson, G., Balsdon, S., 1996: Clover: cereal bi-cropping – a low-input cost-effective method of growing whole crop winter wheat. In: Younie, D. (Editor): Legumes in sustainable farming systems. Occasional Symposium No. 30 British Grassland Society, 300-302.
- Clements, R. O., Purvis, G., Schmidt, O., 1999: The impact of a novel clover : cereal bi-cropping system for growing silage on earthworms, predatory arthropods, aphids and slugs. In: Matthiessen, J. N. (Editor): Proceedings 7th Australasian Conference on Grassland Invertebrate Ecology, Wembley, Australia, September 1999. CSIRO Centre for Mediterranean Agricultural Research, Wembley, Australia, 177-183.
- Cuttle, S., Shepherd, M., Goodlass, G., 2003: A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilisation. Defra Project OF0316 ‘The development of improved guidance on the use of fertility-building’. Organic Soil Fertility, Internet 15.10.2004: <http://www.organicsoilfertility.co.uk/reports/review.html>.
- De Boever, J. L., Cottyn, B. G., Buysse, F. X., Wainmann, F. W., Vanacker, J. M., 1986: The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 14, 203 – 214.
- Dreymann, S., in prep (English summary): N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestaende und deren Bedeutung fuer die Folgefrucht Weizen im Oekologischen Landbau. Doctoral thesis, University of Kiel.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflaechen. Deutscher Verband fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Merkblaetter zur Wasserwirtschaft 238/1996. Kommissionsbetrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- Feil, B., Liedgens, M., 2001 (English summary): Crop Production in Living Mulches – a Review. *Pflanzenbauwissenschaften* 5, 15-23.
- Heß, J., 1989 (English summary): Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras – Klee gras – Weizen – Roggen. Doctoral thesis, University of Bonn.
- Høgh-Jensen H., Schjoerring, J. K., 2000: Below-ground nitrogen transfer between different grassland species: Direct quantification by ¹⁵N leaf feeding compared with indirect dilution of soil ¹⁵N. *Plant and Soil* 227, 171-183.
- Holliday, R., 1963: The effect of row width on the yield of cereals. *Field Crop Abst.* 16, 71-81.
- Horn, M., Vollandt, R., 1995: Multiple Tests und Auswahlverfahren. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Johnson, J. W., Hargrove, W. L., Moss, R. B., 1988: Optimising row spacing and seeding rate for soft red winter wheat. *Agron. J.* 80, 164-166.
- Jones, L., 1992: Preliminary trials using a white clover (*Trifolium repens* L.) understorey to supply the nitrogen requirements of a cereal crop. *Grass and Forage Science* 47, 366-374.
- Jones, L., Clements, R. O., 1993: Development of a low input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understorey of white clover (*Trifolium repens*). *Annals of Applied Biology* 123, 109-119.
- Joseph, K. D. S. M., Alley, M. M., Brann, D. E., Gravelle, W. D., 1985: Row spacing and seeding rate effects on yield and yield components of soft red winter wheat. *Agronomy Journal* 77, 211-214.

- Kaske, A., 2000 (English summary): Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Schriftenreihe des Instituts fuer Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 17. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Kirby, E. J. M., Appleyard, M., 1982: Cereal plant development and its relation to crop management. In: Gallagher, E. J. (Editor): Cereal production. Proceedings of the second international summer school in agriculture. Royal Dublin Society, Butterworth, 161-173.
- Kirchgeßner, M., 1997: Tierernaehrung. 10., neubearbeitete Auflage. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH.
- Koepke, U., Weber, M. 1996: Qualitäts-Backweizen aus Organischem Landbau durch Streifenanbau mit Futterleguminosen: phythopathologische und herbologische Einflußfaktoren. Forschungsbericht Heft Nr. 37, University of Bonn.
- Loges, R., 1998 (English Summary): Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Schriftenreihe des Instituts fuer Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 9. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Loges, R., Kaske, A., Taube, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Koepke, U. (Editors): Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an International workshop. Danish Research Centre for Organic Farming, 181-190.
- Lopotz, H.-W., 1996: Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Doctoral thesis, University of Bonn.
- Marshall, G. C., Ohm, H. W., 1987: Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal* 79, 1027-1030.
- Muelle, G., Heege, H. J., 1981 (English summary): Seed spacing over the area and yield of grain. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 150, 97-112.
- Mueller, T., Thorup-Kristensen, K., 2001: N-Fixation of Selected Green Manure Plants in an Organic Crop Rotation. *Biological Agriculture and Horticulture* 18, 345-363.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., in prep a: Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture. II. Agronomical management and performances in the second course.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., in prep b (English Summary): Impact of row spacing, variety, seed rate and intensity of mechanical weed control on output parameters of winter wheat in organic agriculture.
- Oberforster, M., Werteker, M., 2003: Oekonomische Bewertung von Winterweizensorten bei unterschiedlichen Qualitätsbezahlungs-schemata. In: Freyer, B. (Editor): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Oekologischen Landbau - Oekologischer Landbau der Zukunft. Universität fuer Bodenkultur Wien - Institut fuer oekologischen Landbau, 485-486.
- Olesen, J. E., Askegaard, M., 2000: Crop production during the first course of an organic crop rotation trial in Denmark. *Aspects of Applied Biology* 62, 1-8.

- Piorr, A., 1992: Zur Wirkung von residualem Klee gras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Doctoral thesis, University of Bonn.
- SAS Institute, 2001: Version 8.2, SAS Institute Inc..
- Schmidt, O., Curry, J. P., Hackett, R. A., Purvis, G., Clements, R. O., 2001: Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat-clover intercropping system. *Annals of Applied Biology* 138, 377-388.
- Sørensen, J. N., Thorup-Kristensen, K., 2003: Undersowing legume crops for green manuring of lettuce. *Biological Agriculture and Horticulture* 21, 399-414.
- Stopes, C, Bulson, H., Woodward, L., Philipps, L., 1996: Legume grain crops and green manures in stockless organic rotations. In: Younie, D. (Editor): *Legumes in sustainable farming systems*. Occasional Symposium No. 30 British Grassland Society, 308-311.
- Taylor, B. R., Watson, C. A., Stockdale, E. A., Mc Kinlay, R. G., Younie, D., Cranstoun, D. A. S., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. *HGCA Research Review* 45.
- Thorsted, M. D., Olesen, J. E., Koefoed, N., 2002: Effects of white clover cultivars on biomass and yield in oat/clover intercrops. *Journal of Agricultural Science* 138, 261-267.
- Wachendorf, M., 1995 (English summary): Yield formation and changes in quality during growth of red clover and grass-clover mixtures as affected by the cutting frequency, level of nitrogen fertilizer and grass species. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Wachendorf, M., Collins, R. P., Connolly, J., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg, B. E., Ghesquiere, A., Guckert, A., Guinchard, M. P., Helgadottir, A., Luescher, A., Nolan, T., Nykaenen-Kurki, P., Noesberger, J., Parente, G., Puzio, S., Rhodes, I., Robin, C., Ryan, A., Staeheli, B., Stoffel, S., Taube, F., 2001: Overwintering and Growing Season Dynamics of *Trifolium repens* L. in Mixture with *Lolium perenne* L.: A Model Approach to Plant-environment Interactions. *Annals of Botany* 88, 683-702.
- Weißbach, F., Schmidt, L., Kuhla, S., 1996: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der umsetzbaren Energie. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 5, 117.
- Wendling, U., Mueller J., Schwede, K., 1984: Ergebnisse von Verdunstungsmessungen ueber Gras mit einem off-line-Datenerfassungssystem (2. Mitteilung). *Zeitschrift fuer Meteorologie*, 34, 190-202.
- Wichmann, S., 2004 (English summary): Yield, development of forage quality, N₂ fixation and pre-crop value of different grain legume species in monocrop and in intercropping with cereals. Schriftenreihe des Instituts fuer Pflanzenbau und Pflanzenzuechtung der Christian-Albrechts-Universitaet zu Kiel 35. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Williams, E. D., Hayes, M. J., 1991: Growing spring cereals in a white clover (*Trifolium repens*) crop. *Journal of Agricultural Science* 117, 23-37.
- Winter, S. R., Welch, A. D., 1987: Tall and semidwarf wheat response to dryland planting systems. *Agronomy Journal* 79, 641-645.
- Wolfe, M. S., Clements, R. O., Donaldson, G., 2000: Clover:cereal bi-cropping for organic farms. In Alfoeldi, T., Lockerets, W., Niggli, U. (Editors): *IFOAM 2000 - The world grows organic*. Proceedings. 13th International IFOAM Scientific Conference. Vdf Hochschulverlag, Zuerich, 147.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, C. F., 1974: A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415-421.

Ziogas, G., 1995 (English summary): Geology and soils of the research farm Lindhof (with forest Hegenwohld) and Hohenschulen (with Flemhuder operational area) of the Christian-Albrechts-University of Kiel. Quarternary geological and pedological mapping, genesis, association, ecology, functions. Doctoral thesis, University of Kiel.

Kapitel 4

Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture

II. Agronomical management and performances in the second course

4.1 Abstract

As previous studies had shown that winter wheat (*Triticum aestivum* L.) successfully can be grown in living mulches of white clover (*Trifolium repens* L.) under the conditions of organic agriculture (Neumann et al., in prep a), the objective of the present paper was to investigate whether and how the bi-cropping system can be optimised in the context of a crop rotation approach. Experiments were established on fields of preceding wheat/clover bi-cropping experiments. Tested factors were preceding crop (winter wheat, winter wheat/white clover bi-cropping) and succeeding crop (oats *Avena sativa* L., winter rye *Secale cereale* L.) as well as sowing technique (sowing after ploughing, direct drilling after row rotary tilling, direct drilling after shallow rotary tilling) and row spacing (12 cm, 36 cm) of succeeding crops.

On average of the experimental years 2003 and 2004 the tillage of cereal/clover bi-cropping by ploughing resulted in higher grain yields of subsequent cereal crops than resulting from the no-till system. The second year of bi-cropping was most successful if the clover competition was restricted by a separate shallow rotary tillage operation carried out before direct drilling of cereals. Without the whole bed rotovation, oats were overgrown by clover in one of the two experimental years. Bi-cropping with narrow row spacings resulted in higher grain yields than cultivation of cereal and clover with wide cereal rows. In the case of growing of subsequent crops after ploughing, preceding wheat/clover bi-cropping caused higher cereal grain yields than wheat grown alone. N leaching during winter was higher after bi-cropping than after single grown wheat. Continuation of winter wheat/clover intercropping by direct drilling of rye resulted in low leakage levels similar to the ones determined for no autumn tillage.

Taking account of the results found in preceding experiments, the most successful biennial cultivation method consisted of wheat/clover bi-cropping in the first year and growing of oats after spring-ploughing in the second year. With this sequence of crops total yields of grain equivalent were as high as achieved by biennial grain cultivation after an annual white clover green manure, but outputs were produced with less energy inputs if ploughing was neglected in the first year.

Keywords: intercropping, living mulch, crop rotation, preceding crop value, green manures, nitrate leaching, *Trifolium repens*, *Avena sativa*, *Secale cereale*

4.2 Introduction

A bi-cropping system which relies on repeated direct drilling of winter wheat in living mulches of white clover was developed for conventional agriculture (Jones and Clements, 1993; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al, 1998; Bergkvist, 2003 a, b). While the system was suitable to produce large and reliable yields of whole-crop silage (Clements et al., 1996, Clements and Donaldson, 1997; Burke et al., 1998), bi-crop grain yields were mostly smaller than those found for sole wheat crops (Jones and Clements, 1993; Clements et al., 1996; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003 b). However, grain production in the bi-cropping system was carried out with a restricted use of agrochemicals, especially with less or no inputs of mineral fertilizers.

In experiments by Jones and Clements (1993) and Bergkvist (2003 a, b) it was possible to grow up to three winter wheat crops in succession and maintain an understorey of white clover. Jones and Clements (1993) reported that the grain yield of the second wheat crop outyielded the first crop by 25 % when no fertiliser N was used. Bergkvist (2003 a, b) also found higher grain yields of bi-cropped wheat as compared to wheat alone in the second consecutive crops of wheat. However, the small yields in the first year could not be fully compensated by the grain yields of the second year (Bergkvist, 2003 a, b), except in one experiment in which a less winter hardy variety of white clover caused total grain yields which matched the performances of wheat grown alone (Bergkvist, 2003 a).

Experiments reported in an earlier paper demonstrated that winter wheat can be successfully cultivated in living mulches of white clover also under conditions of organic agriculture (Neumann et al., in prep a). Results were most promising if the clover competition was temporarily restricted by a separate rotary tillage operation shortly before direct drilling of wheat. With this measure winter wheat/white clover bi-cropping grown for whole-crop silage attained yields of dry matter and NEL (net energy for lactation) which were similar to those achieved by sole grown wheat. However, grain yields were smaller in the wheat/clover system than in wheat grown alone, which in agreement with Bergkvist (2003 b) was attributed to competition from clover as well as to imperfect seedbed. Despite of the disappointing grain yields the novel system was appraised to have outstanding potential especially for stockless organic farms, because bi-cropping stands left a fully adequate white clover sward after grain harvest of wheat, so that both a cash crop and a green manure crop could be grown in the same season.

With regard to the findings described above, the objective of the present research was to investigate whether, how and with what effects organic winter wheat/white clover bi-cropping

can be continued after the first harvest of grain. In contrast to previous studies conducted under the frame of conventional agriculture rye and oats were chosen as subsequent crops for the experiments due to the risk of increased infestations with plant diseases in winter wheat. Beside of cereal species, different sowing techniques and row spacings were tested. In analogy to previous studies, the chosen experimental factors focused on the control of the competition between cereal and clover (see Neumann et al., in prep a).

4.3 Materials and methods

4.3.1 Site

The field experiments were carried out at the research farm for organic agriculture of Kiel University in northern Germany (53° 40,3' N; 10° 34,9' E). Soil types of the experimental areas are Luvisols and Cambisols. The soil textures in the upper layers were mainly determined as sandy loams (Ziogas, 1995). Weather data measured during the experimental years 2002/03 and 2003/04 are shown in Table 1 and Figure 1. The winter following the beginning of experiments was dryer and colder in the first than in the second experimental year. Precipitation during the vegetation period was approximately 100 mm lower in 2003 than in 2004. In comparison with the long term average both experimental years were characterised by slightly higher annual mean temperatures.

Table 1: Cumulative precipitation (mm) and mean temperature (°C) at the experimental site during the years 2002-2004 in comparison to the mean values of 1980-2003 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenau)

Year	Cumulative precipitation (mm)		Mean temperature (°C)
	Year total	Cultivation period*	Year total
2002	960,9	808,2	9,7
2003	524,1	514,4	9,6
2004	772,9	619,4	9,3
1980-2003	774,0	641,6	8,7

*: 1. October (time of drilling winter rye) till 31. July (time of grain harvest)

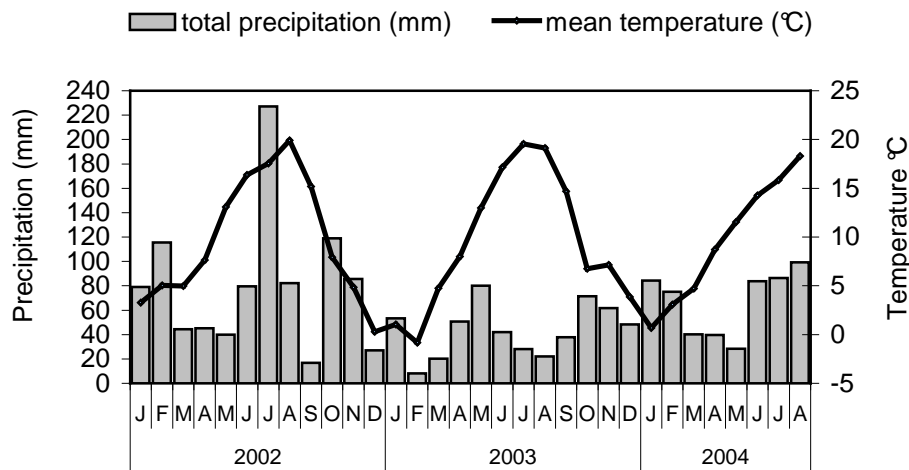


Figure 1: Sum of precipitation (mm) as well as mean of average daily temperature (°C) at the experimental site during the years 2002-2004 (data measured at the nearby meteorological station Kiel-Holtenuau)

4.3.2 Experimental design

Experiments were established on areas of preceding wheat/white clover field trials, which had left four randomised blocks covered with the residuals of the bi-crops and with the stubble of pure winter wheat crops, each (Neumann et al., in prep a). Prior studies considered different varieties of white clover ('Landy', 'Milkanova', 'Rivendel'), but as traits effected no significant effects (Neumann et al., in prep a), bi-cropping blocks were regarded as uniform when subsequent experiments were arranged. Due to limitation of experimental area and manpower not all combinations of experimental factors could be tested in one combined orthogonal experiment. Therefore, the project was divided into five smaller experiments (Table 2).

Experiments (1) and (2) were arranged in split plot designs. In experiment (1) type of preceding crop (wheat/clover bi-cropping, wheat grown alone) was assigned to main plots and type of subsequent crop (winter rye, spring oats) was randomly assigned to sub-plots. Rye (variety 'Hacada') and oats (variety 'Coach') were sown at 330 kernels/m². Row width was 12 cm. Residues of preceding crops were ploughed-in shortly before drilling of cereals at the beginning of October (rye) and at the end of April (oats), respectively. Experiment (2) was carried out to analyse how cereal/clover bi-cropping can be continued successfully in a second year. Thus, the experiment was exclusively conducted on formerly bi-cropping areas. Sowing techniques (bi-cropping (i), bi-cropping (ii), ploughing) were assigned to main plots and subsequent cereal crops (rye, oats) were arranged on sub-plots. Sowing methods differed in

the intensity of tillage in order to reduce white clover competition (see Neumann et al., in prep

a). Bi-cropping (i) ('extensive tillage') was carried out per direct drilling of cereals into white clover with a rotary strip seeder (Howard Roto-matic) which usually is used for resowing of grassland. The bi-cropping (ii) system ('intensive tillage') included sowing of cereals with a conventional drilling machine immediately after a separate shallow rotary tillage operation. Experiment (3) considered the bi-cropping systems tested in experiment (2) focusing on two different row spacings (12 cm, 36 cm) which were additionally arranged on sub-sub-plots. Parameters collected in experiment (1)-(3) were grain yield, yield structure and grain N content.

Bi-cropped plots left from prior experiments were mulched directly before sowing of cereals. In order to prevent spreading of weeds, plots sown with cereal alone were harrowed twice in spring after the three leaf stage. On bi-cropped plots wide cereal inter row spacings were mulched with a motor scythe once in the beginning of May. Grain harvest was carried out with a Haldrup plot combine in the beginning of August. A 1,75 m x 6,00 m strip was harvested from the centre of each plot.

Similar to preceding bi-cropping experiments leakage of nitrate was determined during the winter following drilling of winter cereal (see Neumann et al., in prep a). Corresponding experiments were conducted in randomised one-factor block designs and featured the factor preceding crop (experiment (4)) and the factor sowing technique (experiment (5)), respectively.

Table 2: Factors, factor levels and investigated parameters of the field experiments during 2002/03 and 2003/04

Experiment	Factors and factor levels									Investigated parameters			
	Preceding crop		Subsequent crop		Sowing technique subsequent crop			Row spacing subsequent crop		Rye, oats		NO ₃ -N losses with the leachate	
	Wheat/clover	Wheat alone	Winter rye	Spring oats	Bi-cropping (i)	Bi-cropping (ii)	Ploughing	12 cm	36 cm	Yield (structure)	N content grain	Amount of leachate**	NO ₃ -N concentration
Exp. (1)	x	x	x	x			/	/		x	x		
Exp. (2)	/		x	x	x	x	x	/		x	x		
Exp. (3)	/		x	x	x	x		x	x*	x	x		
Exp. (4)	x	x	/				/		/			x	x
Exp. (5)	/		/		x	x	x		/			x	x

Wheat/clover: winter wheat directly drilled into white clover (bi-cropping); Wheat alone: usual cultivation of winter wheat after ploughing of white clover

Bi-cropping (i): 'extensive tillage', direct drilling of winter wheat into white clover with a rotary strip seeder (Howard Rotomatic); Bi-cropping (ii): 'intensive tillage', direct drilling of winter wheat into white clover after shallow tilling of white clover with a rotary tiller; Ploughing: usual sowing of cereals after ploughing-in the residues of preceding crops in autumn (rye) or spring (oats)

/: no factor, standard; *: inter row mulching of clover for one-time in May (bi-cropped plots); **: calculated

In order to evaluate findings of this work together with results of preceding experiments about winter wheat/white clover bi-cropping (Neumann et al., in prep a), total accounts of grain equivalent (GE) (Woermann, 1944) and energy efficiency (GE/energy input) were carried out for the biennial sequences of crops listed in Table 3. The measure GE was chosen to add performances of different cereal crops to one common value. GE expresses the contribution that crops make to the nutrition of monogastric animals and humans. 1 GE is defined as the feeding value of 100 kg barley. Factors for calculations of GE were taken from the official tables of the German Federal Agency for Agriculture and Nutrition (BLE) ($GE_{\text{barley}} = 1,0$; $GE_{\text{oats}} = 0,85$; $GE_{\text{rye}} = 1,01$; $GE_{\text{winter wheat}} = 1,07$). GE factors were multiplied with the grain yields found in preceding experiments (Neumann et al., in prep a) and in the present study, respectively. Calculations of energy efficiency were carried out as described in Kelm et al. (2004). Energy inputs for field operations were calculated from diesel norms (l/ha) (see appendix). Indirect energy input through seeds was taken from VDLUFA (2001). Diesel use was converted into MJ by multiplication with 35,9 MJ/l, which is the energy released when 1

1 diesel is totally combusted (Reinhardt, 1993). The total energy efficiency of biennial crop sequences was calculated as the quotient of total GE and total energy input.

Table 3: Biennial cropping systems consisting of crops tested in preceding experiments (Neumann et al., in prep a) plus crops tested in present study (row spacing of cereals 12 cm, experiments with four replicates)

System	Year 1 (Neumann et al., in prep a)	Year 2 (this study)
Sys. (1)	Ploughing, winter wheat alone	Ploughing, oats alone
Sys. (2)	Bi-cropping (ii), winter wheat/white clover	Ploughing, oats alone
Sys. (3)	Bi-cropping (ii), winter wheat/white clover	Bi-cropping (ii), oats/white clover
Sys. (4)	Ploughing, winter wheat alone	Ploughing, rye alone
Sys. (5)	Bi-cropping (ii), winter wheat/white clover	Ploughing, rye alone
Sys. (6)	Bi-cropping (ii), winter wheat/white clover	Bi-cropping (ii), rye/white clover

4.3.3 Field data and analyses

Grain yield, grain protein content and yield structure

Plant samples were cut above ground from 0,25 m² large areas of the field plots shortly before grain harvest. Tiller density was counted and representative sub samples were oven dried for 48 hours at 65 °C to determine dry matter of biomass. Grain yields and thousand kernel weights (TKW) were identified from the samples of mechanical grain harvest. Number of kernels per ear was calculated. All samples were milled for analyses of nitrogen content, which was carried out with a Foss near-infrared reflection spectroscope (NIRS 5000) after individual calibration with N-analyses from an elemental analyser Elementar vario MAX CN. The grain crude protein content was calculated by multiplication of the content of nitrogen with the factor 5,71 (Kirchgeßner, 1997). Grain yields were standardized to zero percent moisture before statistical analyses were performed.

Amount of NO₃-N leaching losses

Nitrogen losses with the drainage water were determined as in the preceding bi-cropping experiments (Neumann et al., in prep a; for more details see there). Leaching water was collected with porous ceramic suction cups, which were installed at a soil depth of 75 cm. Sampling of soil water was carried out weekly from mid of November to mid of March of the following year (see Figure 5, results). The concentration of NO₃-N in the leachate was measured with a Shimadzu photometer at a wavelength of 210 nm. The NO₃-N load with the leachate (kg/ha) was calculated as the product of NO₃-N concentration in soil water (ppm) and drainage water volume (mm). The quantity of leaching water was estimated by a simple

water balance model (DVWK, 1996, supplemented) which considered specific crop coefficients (k_{crop}) to relate the potential evapotranspiration (ET_p) of different cropping systems to ET_p of grassland ($k_{\text{grassland}} = 1,0$; $k_{\text{bi-cropping (i)}} = 1,0$; $k_{\text{bi-cropping (ii)}} = 0,65$; $k_{\text{ploughing}} = 0,4$; cited after several authors in DVWK, 1996).

4.3.4 Statistical analyses

Statistical analyses were performed with the MIXED procedure of SAS (SAS Institute, 2001). Models included the fixed factors listed in Table 2 as well as the random factor block within year. Significances were verified at a probability of error of 5 % (F-Test). Data were tested for normal distribution and for homogeneity of variance before analyses of variance. Multiple comparisons of means were carried out with the procedure of Bonferroni-Holm (Horn and Vollandt, 1995).

4.4 Results

4.4.1 Experiment (1)

Experiment (1) was carried out after autumn-ploughing (subsequent crop winter rye) and spring-ploughing (subsequent crop spring oats) of preceding crops. Wheat/clover bi-cropping outyielded wheat grown alone by 16,6 dt/ha (Table 4 and Table 5). Averaged over the preceding crops oats obtained higher thousand kernel weights, larger numbers of kernels per infructescence and clearly higher grain yields than rye. Oats sown after ploughing-in bi-cropping residues were the highest yielding crop in experiment (1) and achieved a grain yield of 69,4 dt/ha (Figure 2).

Table 4: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), preceding crop (PC) and subsequent crop (SC) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats (experiment (1); n = 32, mean of four replicates; rye and oats sown after autumn- and spring-ploughing, respectively)

Effect	F-Value/level of significance											
	Grain yield		Grain N yield		Tillers/m ²		Tkw		Kernels/ear, panicle		Harvest-Index	
Y	2,02	n.s.	10,20	**	5,44	*	2,41	n.s.	6,03	*	2,40	n.s.
PC	125,08	***	33,54	***	0,94	n.s.	0,66	n.s.	24,93	***	8,12	*
SC	1468,22	***	292,60	***	2,09	n.s.	322,28	***	32,38	***	111,81	***
Y*PC	2,42	n.s.	15,78	**	0,77	n.s.	5,88	*	0,58	n.s.	0,86	n.s.
Y*SC	0,99	n.s.	270,26	***	14,02	**	323,19	***	31,67	***	1,99	n.s.
PC*SC	35,42	***	5,13	*	0,11	n.s.	35,83	***	1,26	n.s.	1,48	n.s.
Y*PC*SC	6,75	*	0,85	n.s.	0,00	n.s.	0,35	n.s.	1,48	n.s.	0,59	n.s.

n.s.: not significant ($p \geq 5,0\%$), *: significant ($5,0\% > p \geq 1,0\%$), **: high significant ($1,0\% > p \geq 0,1\%$), ***: very high significant ($p < 0,1\%$)

Table 5: Impact of preceding crop, subsequent crop and experimental year on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats (experiment (1); mean of four replicates; rye and oats sown after autumn- and spring-ploughing, respectively)

Factor	Factor level	Grain yield (dt/ha)	Grain N yield (kg/ha)	Tillers/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear, panicle	Harvest-Index (%)
Preceding crop	Wheat alone	39,2	69,4	378,9	42,3	25,1	0,37
	Bi-cropping	55,8	89,2	401,0	42,0	34,0	0,43
	SE/Sign.	1,1 ***	2,4 ***	16,2 n.s.	0,3 n.s.	1,3 ***	0,01 *
Subsequent crop	Rye	35,7	68,1	373,4	40,0	24,5	0,29
	Oats	59,3	90,4	406,5	44,4	34,6	0,50
	SE/Sign.	1,1 ***	1,8 ***	16,2 n.s.	0,2 ***	1,3 ***	0,01 ***
Year	2003	46,4	73,8	363,3	41,9	31,7	0,41
	2004	48,5	84,7	416,7	42,5	27,4	0,38
	SE/Sign.	1,1 n.s.	2,4 **	16,2 *	0,3 n.s.	1,3 *	0,01 n.s.

SE/Sign.: standard error/level of significance (see Table 4)

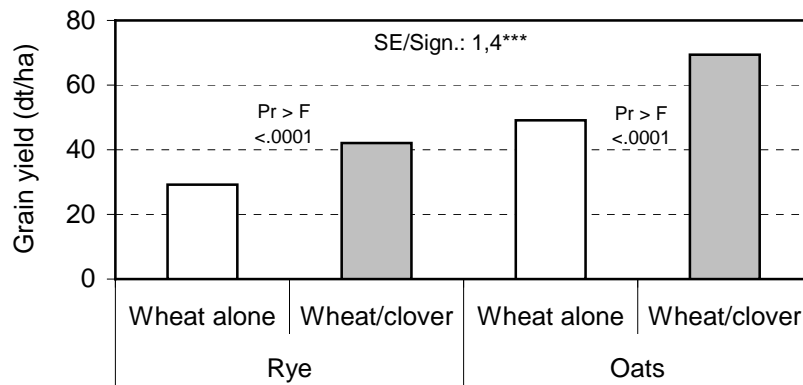


Figure 2: Grain yield (dt/ha) of rye and oats as grown after wheat/clover bi-cropping or after cultivation of pure wheat (experiment (1); interaction preceding crop*subsequent crop; mean of two years and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; $Pr > F$: level of significance of test of effect slices, slice = subsequent crop)

4.4.2 Experiment (2)

Oats which were cultivated in the bi-cropping (i) system ('extensive tillage') became completely overgrown by white clover in the second year of experiment (2). Hence, statistical analyses was carried out excluding bi-cropping (i), and results for the impact of drilling techniques are presented for bi-cropping (ii) and ploughing only.

In comparison to rye, oats obtained significantly higher thousand kernel weights, higher numbers of kernels/infructescence, higher harvest indices and by 21,1 dt/ha higher grain yields (Table 6 and Table 7). Ploughing-in the residues of the first year bi-cropping stands compared to continuing the bi-cropping system resulted in higher thousand kernel weights, larger numbers of kernels per infructescence and, therefore, by 19,5 dt/ha higher grain yields of subsequent cereal crops. The minor grain yields in the cereal/clover system were more pronounced in 2004 than in 2003 (Figure 3). Cereal/clover bi-cropping yielded 13,7 dt/ha less in the second experimental year compared to the first one, whereas the grain yields caused by ploughing of bi-cropping residues were similar in both years. Oats grown after ploughing-in of bi-cropping residues resulted in the highest grain yields in experiment (2) (Figure 4).

Table 6: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), cereal species (C) and sowing technique (S) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); n = 32, mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance											
	Grain yield		Grain N yield		Tillers/m ²		Tkw		Kernels/ear, panicle		Harvest-Index	
Y	21,12	***	1,71	n.s.	0,28	n.s.	8,95	**	3,65	n.s.	0,21	n.s.
C	195,04	***	82,59	***	3,26	n.s.	197,51	***	8,01	*	22,23	***
S	200,77	***	59,01	***	6,96	n.s.	22,18	***	13,30	**	4,63	n.s.
Y*C	0,42	n.s.	47,83	***	1,33	*	172,14	***	12,77	**	0,08	n.s.
Y*S	24,05	***	53,52	***	2,19	n.s.	2,96	n.s.	0,10	n.s.	0,75	n.s.
C*S	20,71	***	0,04	n.s.	0,42	n.s.	69,07	***	3,70	n.s.	8,38	*
Y*C*S	2,04	n.s.	1,10	n.s.	0,05	n.s.	1,93	n.s.	1,21	n.s.	1,25	n.s.

Table 7: Impact of cereal species, sowing technique and experimental year on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of four replicates)

Factor	Factor level	Grain yield (dt/ha)	Grain N yield (kg/ha)	Tillers/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear, panicle	Harvest Index (%)
Cereal species	Rye	35,5	65,3	349,2	40,1	25,9	0,32
	Oats	56,6	91,2	412,5	45,1	33,2	0,46
	SE/Sign.	1,1 ***	2,0 ***	24,8 n.s.	0,3 ***	1,8 *	0,02 ***
Sowing technique	Bi-cropping (ii)	36,3	67,3	360,7	43,2	25,0	0,36
	Ploughing	55,8	89,2	401,0	42,0	34,0	0,43
	SE/Sign.	1,0 ***	2,0 ***	24,8 n.s.	0,2 ***	1,8 **	0,02 n.s.
Year	2003	49,5	76,4	390,1	42,1	32,0	0,39
	2004	42,6	80,1	371,6	43,1	27,1	0,40
	SE/Sign.	1,1 ***	2,0 n.s.	24,8 **	0,3 n.s.	1,8 n.s.	0,02 n.s.

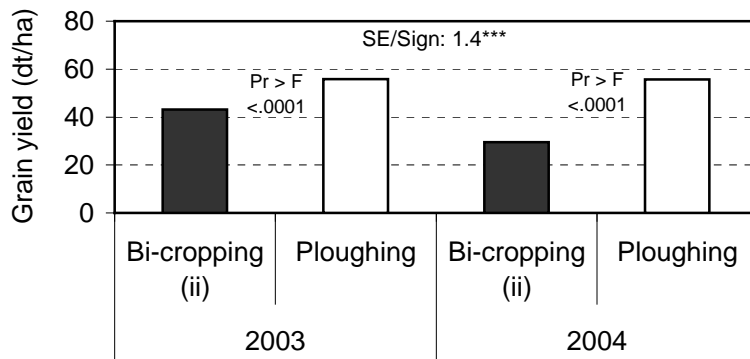


Figure 3: Impact of the interaction experimental year*sowing technique on cereal grain yield (dt/ha) after preceding winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of rye and oats and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; Pr > F: level of significance of test of effect slices, slice = experimental year)

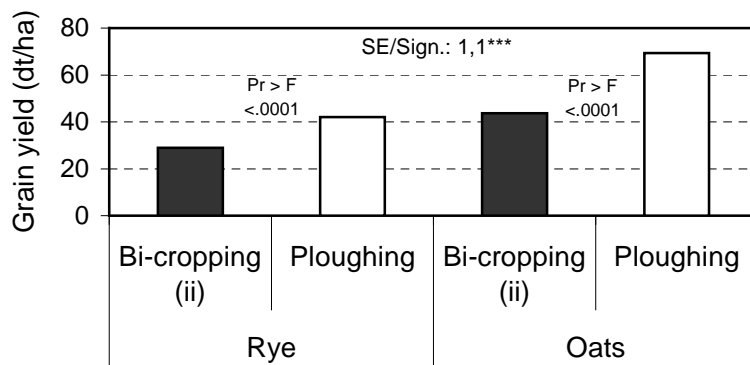


Figure 4: Impact of the interaction sowing technique*cereal crop on grain yield (dt/ha) of cereals grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (2); mean of two years and four replicates; SE/Sign.: standard error/level of significance of interaction; Pr > F: level of significance of test of effect slices, slice = cereal crop)

4.4.3 Experiment (3)

Experiment (3) was designed to test if and how wheat/clover bi-cropping can be continued by cultivation of oats and/or rye. As the grain yield of oats was reduced to nothing by bi-cropping (i) in one of the two experimental years (see experiment (2)), experiment (3) was split into two sub-experiments (a, b) for statistical analyses. In experiment (3 a) plots sown with oats were excluded and, therefore, analyses considered only the impact of sowing technique and row spacing on grain yield and yield structure of rye. In the second sub-experiment (3 b) sowing per bi-cropping (i) was eliminated, so that statistical analyses included the factor cereal species with the levels rye and oats and the factor sowing technique with the levels (continuation of) bi-cropping (ii) and ploughing in bi-cropping residues.

In experiment (3 a) bi-cropping (ii) outyielded bi-cropping (i) by 9,6 dt/ha (Table 8 and Table 9). 'Intensive' bi-cropping obtained higher thousand kernel weights and larger numbers of tillers/m² than 'extensive' bi-cropping. Drilling of rye with the usual row distance of 12 cm resulted in larger numbers of tillers per m² and higher grain yields than cultivation in wide rows of 36 cm. The increment of sowing with narrow row width was 4,5 dt/ha. On average of sowing techniques and row spacings grain yields were 13,1 dt/ha lower in 2004 than in 2003.

In agreement with experiment (1) and (2), experiment (3 b) resulted in higher grain yields of oats compared with rye (Table 10 and Table 11). Averaged over both cereal crops cultivation in narrow rows achieved 5,8 dt/ha higher grain yields than cropping with wide rows of 36 cm. Grain yields were about 15,3 dt/ha lower in 2004 than in 2003.

Table 8: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), sowing technique (S) and row spacing (R) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (3 a) (see text); n = 32; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance											
	Grain yield		Grain N yield		Tillers/m ²		Tkw		Kernels/ear		Harvest-Index	
Y	34,71	**	52,03	***	6,23	*	22,92	**	4,49	n.s.	4,62	n.s.
S	15,82	***	0,60	n.s.	8,05	*	30,03	***	2,35	n.s.	1,49	n.s.
R	8,66	**	33,17	***	13,11	**	0,82	n.s.	0,03	n.s.	0,03	n.s.
Y*S	3,79	n.s.	0,36	n.s.	0,26	n.s.	1,52	n.s.	0,13	n.s.	0,06	n.s.
Y*R	0,33	n.s.	11,97	**	13,79	**	0,80	n.s.	4,73	*	3,29	n.s.
S*R	0,31	n.s.	4,86	*	21,46	***	0,26	n.s.	6,04	*	6,61	*
Y*S*R	0,06	n.s.	1,84	n.s.	1,64	n.s.	2,51	n.s.	2,61	n.s.	1,20	n.s.

Table 9: Impact of experimental year, sowing technique and row spacing on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye grown after winter wheat/white clover bi-cropping (experiment (3 a) (see text); mean of four replicates)

Factor	Factor level	Grain yield (dt/ha)	Grain N yield (kg/ha)	Tillers/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear	Harvest-Index (%)
Sowing technique	Bi-cropping (i)	17,5	47,2	272,4	41,9	18,3	0,26
	Bi-cropping (ii)	27,1	49,3	327,6	40,0	21,3	0,30
	SE/Sign.	1,4 ***	2,3 n.s.	16,1 *	0,4 ***	1,4 n.s.	0,02 n.s.
Row spacing	12 cm	26,3	56,0	335,2	40,8	20,0	0,28
	36 cm	21,8	40,5	264,8	41,1	19,6	0,28
	SE/Sign.	1,4 **	2,3 ***	16,1 **	0,4 n.s.	1,4 n.s.	0,02 n.s.
Year	2003	30,6	61,5	331,8	42,4	21,8	0,31
	2004	17,5	35,0	268,1	39,4	17,7	0,25
	SE/Sign.	1,6 **	2,6 ***	18,1 *	0,4 **	1,4 n.s.	0,02 n.s.

Table 10: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of experimental year (Y), subsequent crop (SC) and row spacing (R) on grain yield, grain N yield and yield structure of rye and oats grown in the bi-cropping (ii) system (experiment (3 b) (see text); n = 32; mean of four replicates; preceding crop winter wheat/white clover bi-cropping)

Effect	F-Value/level of significance											
	Grain yield		Grain N yield		Tillers/m ²		Tkw		Kernels/ear, panicle		Harvest-Index	
Y	29,28	**	17,68	**	0,17	n.s.	0,27	n.s.	18,63	***	3,56	n.s.
SC	40,58	***	37,13	***	2,43	n.s.	148,50	***	2,63	n.s.	6,54	*
R	8,59	**	3,57	n.s.	1,38	n.s.	0,04	n.s.	1,97	n.s.	4,26	n.s.
Y*SC	0,17	n.s.	1,14	n.s.	6,94	*	36,85	***	5,48	*	0,25	n.s.
Y*R	0,67	n.s.	1,89	n.s.	3,84	n.s.	4,64	n.s.	6,91	*	13,13	**
SC*R	1,16	n.s.	0,06	n.s.	3,25	n.s.	1,87	n.s.	0,78	n.s.	0,11	n.s.
Y*SC*R	1,14	n.s.	6,93	*	1,27	n.s.	17,80	**	0,46	n.s.	0,51	n.s.

Table 11: Impact of experimental year, subsequent crop and row spacing on grain yield (dt/ha), grain N yield (kg/ha) and yield structure of rye and oats grown in the bi-cropping (ii) system (experiment (3 b) (see text); mean of four replicates; preceding crop winter wheat/white clover bi-cropping)

Factor	Factor level	Grain yield (dt/ha)	Grain N yield (kg/ha)	Tillers/m ²	Tkw (g)	Kernels/ear, panicle	Harvest-Index (%)
Cereal species	Rye	27,1	49,3	327,5	40,0	21,3	0,30
	Oats	39,7	76,8	379,4	46,3	25,2	0,37
	SE/Sign.	1,7 ***	3,6 ***	23,5 n.s.	0,7 ***	1,7 n.s.	0,02 *
Row spacing	12 cm	36,3	67,3	372,0	43,2	24,8	0,37
	36 cm	30,5	58,8	335,0	43,1	21,7	0,30
	SE/Sign.	1,7 **	3,6 n.s.	22,9 n.s.	0,3 n.s.	1,6 n.s.	0,02 n.s.
Year	2003	41,1	74,7	346,5	43,3	28,5	0,36
	2004	25,8	51,4	360,4	43,0	18,0	0,31
	SE/Sign.	2,0 **	3,9 **	23,5 n.s.	0,4 n.s.	1,7 ***	0,02 n.s.

4.4.4 Experiments (4) and (5)

The calculated amounts of leaching water ascended in the order bi-cropping (i)/no tillage, bi-cropping (ii), ploughing (Figure 5). Computation resulted in 137 mm/210 mm (first/second leaching period) for bi-cropping (i)/no tillage, 153 mm/220 mm for bi-cropping (ii) and 165 mm/232 mm for ploughing. Due to longer periods with frozen soil, fewer samples of soil water could be taken in 2002/03 than in 2003/04.

In the case of autumn-ploughing of the preceding crop residues, N losses with the leachate were 17,2 kg/ha higher after winter wheat/white clover bi-cropping than after cultivation of wheat grown alone (experiment (4), Table 12 and 13). In the mean of preceding crops N loads were significantly affected by the experimental period. NO₃-N losses were by 15,5 kg/ha higher during the second winter. The interaction leaching period*preceding crop was not significant.

Results of ANOVA for the impact of experimental year and sowing technique on nitrate leaching during the winter following wheat/clover intercropping (experiment (5)) are presented in Table 14 and 15. Leakage of N was twice as high in the second leaching period than in the first period. Autumn-ploughing caused 20,9 to 25,6 kg/ha higher amounts of NO₃-N losses than bi-cropping (i) and (ii), which both did not differ significantly in nitrate loads. The interaction between sampling period and sowing technique was not significant.

Table 12: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and preceding crop (PC) on the amount of NO₃-N leaching losses during the winter following autumn-ploughing of preceding crop residues (experiment (4); n = 16; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance
LP	8,58 *
PC	30,89 ***
LP*PC	0,43 n.s.

Table 13: Impact of leaching period and preceding crop on the amount of NO₃-N leaching losses (kg/ha) during the winter following autumn-ploughing of preceding crop residues (experiment (4); mean of four replicates)

Factor	Factor level	NO ₃ -N leaching (kg/ha)
Leaching period	2002/03	26,8
	2003/04	41,3
	SE/Sign.	3,5 *
Preceding crop	Wheat alone	25,4
	Bi-cropping	42,6
	SE/Sign.	2,9 ***

Table 14: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of leaching period (LP) and sowing technique (S) on the amount of NO₃-N leaching losses during the winter following wheat/clover bi-cropping (experiment (5); n = 32; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance
LP	28,23 ***
S	16,20 ***
LP*S	0,23 n.s.

Table 15: Impact of leaching period and sowing technique on the amount of NO₃-N leaching losses (kg/ha) during the winter following wheat/clover bi-cropping (experiment (5); mean of four replicates)

Factor	Factor level	NO ₃ -N leaching (kg/ha)
Leaching period	2002/03	18,0
	2003/04	35,9
	SE/Sign.	2,4 ***
Sowing technique	No tillage (control)	17,0 b
	Bi-cropping (i)	21,7 b
	Bi-cropping (ii)	26,5 b
	Ploughing	42,6 a
	SE/Sign.	2,9 ***

Different letters mark significant differences between factor levels

4.4.5 Grain equivalent yield and energy efficiency of biennial cropping systems

Results found in this study were linked to findings of preceding experiments which the present study was building on. The calculated total grain equivalent yields as well as the total energy efficiencies of the different resulting biennial cropping systems are presented in Table 16 and 17. Irrespective of the type of first the crop (wheat/clover bi-cropping, wheat alone), the total yields of GE were highest if single grown oats was chosen as the second crop. In contrast, wheat/clover bi-cropping followed by rye/clover bi-cropping resulted in the lowest GE yields. The energy efficiency was highest if wheat/clover bi-cropping was followed by oats, whereas the sowing technique of oats had no effect on the result. On the other hand, total energy efficiency was smallest if single grown winter wheat was followed by single grown rye.

Table 16: F-values and levels of significance of ANOVA for the impact of biennial cropping period (P) and biennial cropping system (S) on grain equivalent and energy efficiency (n = 48; mean of four replicates)

Effect	F-Value/level of significance			
	Grain equivalent		Energy efficiency	
P	5,15	n.s.	4,29	n.s.
S	39,39	***	41,12	***
P*S	4,67	**	4,02	**

Table 17: Grain equivalent (GE/ha) and energy efficiency (GE/GJ) of different biennial cropping systems (for definition of systems see Table 3) (mean of two biennial cropping periods and four replicates)

System	Crop year 1	Crop year 2	Grain equivalent (GE/ha)	Energy efficiency (GE/GJ)
	<i>Wheat</i>	<i>Oats</i>		
Sys. (1)	Ploughing	Ploughing	83,5 a	16,2 bc
Sys. (2)	Bi-cropping	Ploughing	88,5 a	20,3 a
Sys. (3)	Bi-cropping	Bi-cropping	66,7 b	20,0 a
	<i>Wheat</i>	<i>Rye</i>		
Sys. (4)	Ploughing	Ploughing	71,2 b	13,2 d
Sys. (5)	Bi-cropping	Ploughing	72,1 b	15,6 c
Sys. (6)	Bi-cropping	Bi-cropping	58,7 c	17,7 b
SE/Sign.			2,0 ***	0,5 ***

Ploughing: cereal alone; Bi-cropping: cereal/white clover bi-cropping (ii)

4.5 Discussion

4.5.1 Grain yield

Experiments showed that it is feasible to continue cereal/clover bi-cropping for a second year under conditions of organic agriculture. In agreement with results of preceding experiments dealing with the establishment of winter wheat/clover intercropping (Neumann et al., in prep a), bi-cropping in the present study showed highest grain yields if the clover competition was temporarily restricted by a shallow rotary tillage operation carried out shortly before direct drilling of cereals.

Oats sown with a rotary strip seeder (Howard Roto-matic, bi-cropping (i)) were overgrown by the white clover in one of the two experimental years. In studies examining cereal/white clover bi-cropping by Jones and Clements (1993) and Williams and Haynes (1991) spring sown cereals (wheat, oats, barley) also failed to compete with the legume. Jones (1992) and Thorsted et al. (2002), however, reported that bi-cropping with spring oats and spring barley resulted in grain yields similar to a corresponding cereal monoculture. However, in

experiments by Jones (1992) growth of clover was temporarily repressed by herbicides, and in studies by Thorsted et al. (2002) inorganic fertilizer (50 kg N/ha) was given in two applications in spring.

In agreement with studies about winter wheat/white clover bi-cropping (Clements et al., 1996; Burke et al., 1998; Bergkvist, 2003 b; Neumann et al., in prep a) ploughing in our experiments outyielded both tested bi-cropping systems. As grain yields increased with the intensity of temporal reduction of clover competition through drilling technique, the minor yields of the bi-cropped cereals can be explained by competition of white clover for nutrients, water and light as well as by suboptimal seed bed conditions due to direct drilling into residues of preceding crops (Bergkvist, 2003 b; Neumann et al., in prep a).

Winter wheat/white clover bi-cropping clearly outyielded wheat grown alone as a pre-crop. It is well known from literature that legumes are able to effect higher grain yields of subsequent crops than non-legumes, which usually leave less amounts of N with post harvest residues (Badaruddin and Meyer, 1994; Stopes et al., 1996 a; Loges, 1998; Cuttle et al., 2003; Wichmann et al., 2003; Jensen et al., 2004). In the experimental plots on which the field trials of this study were established on average 198,5 kg N/ha were stored in shoot and root biomass of bi-cropped white clover and wheat, while only 36 kg N/ha were found in the residues of pure wheat stands (Neumann et al., in prep a). Averaged over the two experimental years oats grown after spring-ploughing of residues of wheat/clover bi-cropping yielded 69,4 dt/ha, which is the largest cereal grain yield determined in experiments at the study site to date (Ruhe et al., 2003; Wichmann et al., 2003; Wichmann, 2004; Neumann et al., in prep b; Dreyman, in prep). Taking account of the results found in preceding experiments (Neumann et al., in prep a), the most successful biennial cultivation method consisted of wheat/clover bi-cropping in the first year and growing of oats after spring-ploughing in the second year. With this sequence of crops total yields of grain equivalent were as high as achieved by biennial grain cultivation after an annual white clover green manure, but outputs were produced with less energy inputs if ploughing was neglected in the first year (compare Kelm, 2004).

The results found for the impact of cereal row spacing on the grain yield in this study reaffirm prior findings for winter wheat/white clover bi-cropping (Neumann et al., in prep a; for detailed discussion see there).

4.5.2 N leaching

Following autumn-ploughing, NO₃-N losses with the leakage were higher after preceding winter wheat/clover bi-cropping than after wheat alone. In studies by Francis et al. (1994) the post-harvest leaching losses were also higher after different legumes than after non-leguminous grain crops.

It is well known from literature that delaying or excluding tillage operations in autumn reduces the risk of nitrogen leaching (Francis et al., 1992; Stopes et al., 1996 b; Mitchell et al., 2000; Philipps et al., 2002; Ruhe et al., 2003; Dreyman, in prep). Results of presented experiments agree with these findings as the no-till cereal/clover systems as well as the control (no autumn tillage) resulted in less NO₃-N loads than autumn-ploughing of preceding winter wheat/white clover bi-cropping.

The N losses caused by autumn-ploughing of bi-cropping residues are similar to the highest amounts of NO₃-N loads determined at the study site to date. In experiments examining the performances and N leaching losses of different managed grass/clover leys by Dreyman (in prep) only bulky red clover swards which were mulched for one time and ploughed-in at the beginning of October caused leakage of NO₃-N similar to the values determined for the autumn-ploughed bi-cropping residues in the present study. A three year on farm study about N balances and N leaching of different organic crop rotations by Ruhe et al. (2003) resulted in nitrate loads of maximal 30,3 kg/ha which were affected by mulched grass/clover crops followed by spring-ploughed oats. Overall leaching losses determined from organic farms in Europe are between 10 and 50 kg N/ha (Watson et al., 1994; Philipps and Stopes, 1995; van der Werff et al., 1995; Schlueter et al, 1997).

According to results of Stokes et al. (1992) and Francis et al. (1992), Bergkvist (2003 c) assumed that intensive tillage operations before sowing of cereals into white clover in autumn might increase mineralisation of N and, therefore, might provoke higher N leaching losses over winter. In the presented experiments the more intensive bi-cropping (ii) system with a shallow rotary tillage in comparison to bi-cropping (i) and no tillage resulted in tendential higher NO₃-N losses, but differences were not significant.

4.5.3 Risks

Several authors reported that, depending on the study site, the bi-cropping system was vulnerable to grass weeds (Clements et al., 1996; Clements and Donaldson, 1997; Burke et al., 1998; Olesen and Askegaard, 2000; Thorsted et al., 2002; Bergkvist, 2003 a, b), especially when second and third crops of cereals were grown in the same white clover sward again

(Olesen and Askegaard, 2000; Bergkvist, 2003 a, b). In experiments preceding to the present study (Neumann et al., in prep a) some areas of plots which carried winter wheat/white clover bi-cropping were overcome with creeping thistles (*Cirsium arvense* L.). Infestations did not reach a large extent, but with continuation of no-till bi-cropping for a second year spreading of thistles increased, especially where sowing was carried out most extensively (bi-cropping (i)). Therefore, a breakup of bi-cropping by ploughing can be favourable not only in view of higher grain yields of subsequent crops, but also in view of preventing spreading of weeds. However, even if the no-till system is just carried out annually, the bi-cropping-sites should be selected carefully with regard to prior infestations with thistles, as this weed species is known to be able to cause sustainable damage in practical organic farming (Taylor et al., 2001; Pekrun and Claupein, 2004). According to Jensen (1995), Bergkvist (2003 c) hypothesised that a tillage operation conducted before direct drilling of winter wheat into white clover might stimulate germination of weeds and reduce the competitive effect of white clover on pest plants. In our experiments it was not observed that the shallow tillage operation (bi-cropping (ii)) resulted in a higher dispersion of weeds than the more extensive row rotary tillage (bi-cropping (i)).

In the preceding experiments researching wheat/clover bi-cropping (Neumann et al., in prep a) a probably more substantial problem than weeds were damages caused by field mice (*Arvicola terrestris* L. and/or *Microtus arvalis* L.). Damages occurred in bi-cropped plots only and were clearly larger in the first of the two experimental periods (counting of mouse holes/m², data not presented). Problems with field mice due to converting to direct seeding were also documented in other studies (Richard et al., 1995).

4.6 Conclusions

In consideration of prior findings (Neumann et al., in prep a) as well as of results presented in this paper bi-cropping under conditions of organic agriculture can be integrated in crop rotation as follows: In order to prevent the loss of a cash crop, white clover should be established as an understorey, e.g. in spring barley (Bergkvist, 2003 c). After grain harvest of the cover crop, the white clover should be cut or mulched in order to achieve better sowing conditions and to repress weeds. First drilling of winter wheat should be carried out after a shallow laminar tillage operation (bi-cropping (ii)), which in comparison to ploughing in our studies was connected with grain losses of on average 33 %, but, however, left residual amounts of plant N comparable to common grass/clover green manures (Neumann et al., in prep a). In order to save nitrogen for subsequent (second) cereal crops and to reduce nitrate

leaching over winter, respectively, no tillage should be carried out after grain harvest of wheat, but - subject to growth - clover might be cut or mulched again to restrict dispersion of weeds. Sowing of the following spring cereal should be carried out after ploughing, which in the presented experiments resulted in substantially higher grain yields of oats than a new bi-cropping cultivation. Sowing after ploughing is also needed at this stage to restrict (further) spreading of pest plants which might already have benefited from the no-till cultivation of wheat/clover bi-cropping in the preceding year.

An organic crop rotation with annual bi-cropping integrated as a 'cost-saving grain yielding green manure crop' as described is appraised to be advantageous especially in stockless organic agriculture where leguminous green manure crops are essential, but in the case of the common cultivation of grass/clover usually do not provide any direct income in the year of green manure (Cuttle et al., 2003). On mixed farms bi-cropping stands can alternatively be harvested as whole-crop silage (Neumann et al., in prep a) and the clover might be temporarily grazed after the harvest of the cereal crop (Clements, 1998).

In addition to the observed reduction of N-leaching and energy input organic bi-cropping should provide other 'ecological services', including improved soil structure, erosion protection and positive effects on soil life (Clements et al., 1999; Feil and Liedgens, 2001; Schmidt et al., 2001). Once established, bi-cropping as described requires no further field operations during the growing season, so that the system might also function as a particularly suitable habitat for other groups of farmland wildlife, like for example ground breeding birds (Neumann and Koop, 2004; Stein-Bachinger and Fuchs, 2004).

4.7 References

- Badaruddin, M, Meyer, D. W., 1994: Grain legume effects on soil nitrogen, grain yield and nitrogen nutrition of wheat. *Crop science* 34, 1304-1309.
- Bergkvist, G., 2003 a: Influence of White Clover Traits on Biomass and Yield in Winter Wheat- or Winter Oilseed Rape-Clover Intercrops. *Biological Agriculture and Horticulture* 21, 151-164.
- Bergkvist, G., 2003 b: Effect of White Clover and Nitrogen Availability on the Grain Yield of Winter Wheat in a Three-Season Intercropping System. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 53, 97-109.
- Bergkvist, G., 2003 c: Perennial Clovers and Ryegrasses as Understorey Crops in Cereals. Doctoral Diss. Dept. of Ecology and Crop Production Science, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* Vol. 414.
- Burke, J. I., Thomas, T. M., Finnan, J. M., 1998: Bi-cropping of winter wheat and white clover. Teagasc – Project report – 4316.

- Clements, R. O., 1998: Exploitation of a Sustainable Low-input and Reduced-output System for Arable Crops. Final Report to the European Commission, Contract no. AIR 3 CT93-0893.
- Clements, R. O., Donaldson, G., 1997: Clover and cereal: low input bi-cropping. *Farming and Conservation* 3, 12-14.
- Clements, R. O., George, S., Martyn, T., Donaldson, G., Balsdon, S., 1996: Clover: cereal bi-cropping – a low-input cost-effective method of growing whole crop winter wheat. In: Younie, D. (Editor): *Legumes in sustainable farming systems*. Occasional Symposium No. 30 British Grassland Society, 300-302.
- Cuttle, S., Shepherd, M., Goodlass, G., 2003: A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilisation. Defra Project OF0316 'The development of improved guidance on the use of fertility-building'. *Organic Soil Fertility*, Internet 15.10.2004: <http://www.organicsoilfertility.co.uk/reports/review.html>.
- Dreyman, S., in prep (English summary): N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestaende und deren Bedeutung fuer die Folgefrucht Weizen im Oekologischen Landbau. Doctoral thesis, University of Kiel.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflaechen. Deutscher Verband fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Merkblaetter zur Wasserwirtschaft 238/1996. Kommissionsbetrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- Feil, B., Liedgens, M., 2001 (English summary): Crop Production in Living Mulches – a Review. *Pflanzenbauwissenschaften* 5, 15-23.
- Francis, G. S., Haynes, R. J., Sparling, G. P., Ross, D. J., Williams, P. H., 1992: Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth following cultivation of a temporary leguminous pasture in autumn and winter. *Fertilizer Research* 33, 59-70.
- Francis, G. S., Haynes, R. J., Williams, P. H., 1994: Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth after ploughing-in leguminous and non-leguminous grain crop residues. *Journal of Agricultural Science* 123, 81-87.
- Horn, M., Vollandt, R., 1995: *Multiple Tests und Auswahlverfahren*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Jensen C. R., Joernsgaard, B., Andersen, M. N., Christiansen, J. L., Mogensena, V. O., Friis P., Petersen, C. T., 2004: The effect of lupins as compared with peas and oats on the yield of the subsequent winter barley crop. *Europ. J. Agronomy* 20, 405–418.
- Jensen, P. K., 1995: Effect of light environment during soil disturbance on germination and emergence pattern of weeds. *Annals of Applied Biology* 127, 561-571.
- Jones, L., 1992: Preliminary trials using a white clover (*Trifolium repens* L.) understorey to supply the nitrogen requirements of a cereal crop. *Grass and Forage Science* 47, 366-374.
- Jones, L., Clements, R. O., 1993: Development of a low input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understorey of white clover (*Trifolium repens*). *Annals of Applied Biology* 123, 109-119.
- Kelm, M., 2004: Strategies for sustainable agriculture with particular regard to productivity and fossil energy use in forage production and organic arable farming. Schriftenreihe des Instituts fuer Pflanzenbau und Pflanzenzuechtung der Christian-Albrechts-Universitaet Kiel 34. Doctoral thesis, University of Kiel.

- Kelm, M., Wachendorf, M., Trott, H., Volkers, K., Taube, F., 2004: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science*, 59, 69-79.
- Kirchgeßner, M., 1997: Tierernaehrung. 10., neubearbeitete Auflage. Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH.
- Loges, R., 1998 (English Summary): Ertrag, Futterqualitaet, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbestaenden. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzuechtung der Christian-Albrechts-Universitaet zu Kiel 9. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Mitchell, R. D. J., Harrison, R., Russell, K. J., Webb, J., 2000: The effect of crop residue incorporation date on soil inorganic nitrogen, nitrate leaching and nitrogen mineralization. *Biol Fertil Soils* 32, 294-301.
- Neumann, H., Koop, B., 2004 (English Summary): Influence of Organic Field Cultivation on the skylark – Investigations in two areas in Schleswig-Holstein. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 35, 145-154.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., in prep a: Development of a cereal/white clover bi-cropping system for organic agriculture. I. Agronomical management and performances in the first year.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., in prep b (English Summary): Impact of row spacing, variety, seed rate and intensity of mechanical weed control on output parameters of organically grown winter wheat.
- Olesen, J. E., Askegaard, M., 2000: Crop production during the first course of an organic crop rotation trial in Denmark. *Aspects of Applied Biology* 62, 1-8.
- Pekrun, C., Claupein, W., 2004: The effect of stubble tillage and primary tillage on population dynamics of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) in organic farming. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XIX*, 483-490.
- Philipps, L., Stopes, C. E., Woodward, L., 2002: The impact of cultivation practice on nitrate leaching from organic farming systems. Soil management in sustainable agriculture. Proceedings Third International Conference on Sustainable Agriculture, Wye College, University of London, UK, 31 August to 4 September 1993, 488-496.
- Philipps, L., Stopes, C., 1995: The impact of rotational practice on nitrate leaching losses in organic farming systems in the United Kingdom. *Biological Agriculture and Horticulture* 11, 123-134.
- Reinhardt, G. A., 1993: Energie- und CO₂-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Vieweg Verlag, Braunschweig und Wiesbaden.
- Richard, G., Boiffin, J., Duval, Y., 1995: Direct drilling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) into a cover crop: effects on soil physical conditions and crop establishment. *Soil and Tillage Research* 34, 169-185.
- Ruhe, I., Loges, R., Taube, F., 2003: Stickstofffluesse in verschiedenen Fruchtfolgen des oekologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Freyer, B. (Editor): Oekologischer Landbau der Zukunft. Beitrage zur 7. Wissenschaftstagung zum Oekologischen Landbau. 24. - 26. Februar 2003 in Wien, 97-100.
- SAS Insitute, 2001: Version 8.2, SAS Institute Inc..

- Schlueter, W., Hennig, A., Bruemmer, G. W., 1997: Nitrogen transport in meadow soils under organic and conventional farming - analytical results, modelling and balances. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde* 160, 1, 57-65.
- Stein-Bachinger, K., Fuchs, S., 2004 (English summary): How can arable land in large-scale organic agriculture be optimised as a habitat for farmland birds and brown hare? In: Rahmann, G., Van Elsen, T. (Editors): Nature conservation as a task for organic agriculture. *FAL Agricultural Research*, special issue 272, 1-14.
- Stokes, D. T., Scott, R. K., Tilston, C. H., Cowie, G., Sylvester-Bradley, R., 1992: The effect of time of soil disturbance on nitrate mineralisation. *Aspects of Applied Biology* 30, 279-282.
- Stopes, C., Bulson, H., Woodward, L., Philipps, L., 1996 a: Legume grain crops and green manures in stockless organic rotations. In: Younie, D. (Editor): Legumes in sustainable farming systems. Occasional Symposium No. 30 British Grassland Society, 308-311.
- Stopes, C., Millington, S., Woodward, L., 1996 b: 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, Ecosystem and Environment* 57, 189-196.
- Taylor, B. R., Watson, C. A., Stockdale, E. A., Mc Kinlay, R. G., Younie, D., Cranstoun, D. A. S., 2001: Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. *HGCA Research Review* 45.
- Thorsted, M. D., Olesen, J. E., Koefoed, N., 2002: Effects of white clover cultivars on biomass and yield in oat/clover intercrops. *Journal of Agricultural Science* 138, 261-267.
- Van der Werff, P. A., Baars, A., Oomen, G. J. M., 1995: Nutrient balances and measurement of nitrogen losses on mixed ecological farms on sandy soils in the Netherlands. *Biological Agriculture and Horticulture* 11, 41-50.
- VDLUFA, 2001: Grundsätze von Energiebilanzen in der Landwirtschaft. Gruenentwurf. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Watson, C. A., Fowler, S. M., Wilman, D., 1994: Purchases and sales of N, P and K, soil inorganic N and nitrate leaching on an organic horticultural holding. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10, 189-195.
- Wichmann, S., 2004 (English summary): Yield, development of forage quality, N₂ fixation and preceding crop value of different grain legume species in monocrop and in intercropping with cereals. *Schriftenreihe des Instituts fuer Pflanzenbau und Pflanzenzuechtung der Christian-Albrechts-Universitaet zu Kiel* 35. Doctoral thesis, University of Kiel.
- Wichmann, S., Loges, R., Taube, F., 2003: Vergleich von verschiedenen Leguminosenarten in Reinsaat und Gemenge im Hinblick auf Ertrag, Futterqualitaet, Stickstofffixierungsleistung und Vorfruchtwirkung. Projektbeschreibung und erste Ergebnisse. In: Freyer, B. (Editor): *Beitraege zur 7. Wissenschaftstagung zum Oekologischen Landbau - Oekologischer Landbau der Zukunft*. Universitaet fuer Bodenkultur Wien - Institut fuer oekologischen Landbau, 505-506.
- Williams, E. D., Hayes, M. J., 1991: Growing spring cereals in a white clover (*Trifolium repens*) crop. *Journal of Agricultural Science* 117, 23-37.
- Woermann, E., 1944: Ernaehrungswissenschaftliche Leistungsmaßstaebe. *Mitteilungen aus der Landwirtschaft* 59, 787-792.

Ziogas, G., 1995 (English summary): Geology and soils of the research farm Lindhof (with forest Hegenwohld) and Hohenschulen (with Flemhuder operational area) of the Christian-Albrechts-University of Kiel. Quarternary geological and pedological mapping, genesis, association, ecology, functions. Doctoral thesis, University of Kiel.

Appendix

Table A1: Data used for calculations of energy efficiency of biennial cropping systems (see Table 3) (input data compiled for the conditions of the study site by Kelm (2004))

Main crop		Winter wheat (year 1)					
Drilling technique main crop		Bi-cropping (ii)		Ploughing			
Pre-crop		White clover		White clover			
<i>Operation</i>	<i>Unit Input</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>		
Seeds	dt/ha	1,4	4,2	1,4	4,2		
Mulching (1x in autumn)	l/ha	10,7	384,13	10,7	384,13		
Rotary tillage (1x before sowing)	l/ha	10,5	376,95	10,5	376,95		
Ploughing	l/ha			32,3	1159,57		
Seedbed combination	l/ha	11,4	409,26	11,4	409,26		
Curry comb (2x spring)	l/ha			3,6	129,24		
Grain harvest	l/ha	13,7	491,83	13,7	491,83		
<i>Total</i>	<i>MJ</i>		<i>1666,37</i>		<i>2955,18</i>		

Main crop		Spring oats (year 2)					
Drilling technique main crop		Bi-cropping (ii)		Ploughing		Ploughing	
Pre-crop		Bi-cropping (ii)		Bi-cropping (ii)		Ploughing	
<i>Operation</i>	<i>Unit Input</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>
Seeds	dt/ha	1,4	4,62	1,4	4,62	1,4	4,62
Stubble tillage (disc harrow)	l/ha					7,4	265,66
Mulching (1x in autumn)	l/ha	10,7	384,13	10,7	384,13		
Rotary tillage (1x before sowing)	l/ha	10,5	376,95	10,5	376,95		
Ploughing	l/ha			25,2	904,68	25,2	904,68
Seedbed combination	l/ha	11,4	409,26	11,4	409,26	11,4	409,26
Curry comb (2x spring)	l/ha			3,6	129,24	3,6	129,24
Grain harvest	l/ha	13,7	491,83	13,7	491,83	13,7	491,83
<i>Total</i>	<i>MJ</i>		<i>1666,79</i>		<i>2700,71</i>		<i>2205,29</i>

Main crop		Winter rye (year 2)					
Drilling technique main crop		Bi-cropping (ii)		Ploughing		Ploughing	
Pre-crop		Bi-cropping (ii)		Bi-cropping (ii)		Ploughing	
<i>Operation</i>	<i>Unit Input</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>	<i>Input</i>	<i>MJ</i>
Seeds	dt/ha	1,4	4,76	1,4	4,76	1,4	4,76
Stubble tillage (disc harrow)	l/ha					7,4	265,66
Mulching (1x in autumn)	l/ha	10,7	384,13	10,7	384,13		
Rotary tillage (1x before sowing)	l/ha	10,5	376,95	10,5	376,95		
Ploughing	l/ha			32,3	1159,57	32,3	1159,57
Seedbed combination	l/ha	11,4	409,26	11,4	409,26	11,4	409,26
Curry comb (2x spring)	l/ha			3,6	129,24	3,6	129,24
Grain harvest	l/ha	13,7	491,83	13,7	491,83	13,7	491,83
<i>Total</i>	<i>MJ</i>		<i>1666,93</i>		<i>2955,74</i>		<i>2460,32</i>

Kapitel 5

Zusammenfassende Diskussion

5. Zusammenfassende Diskussion

Die in den Kapiteln 2-4 dargestellten Resultate werden im Folgenden gemeinsam diskutiert. Auf umfangreiche Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Autoren wird hierbei weitgehend verzichtet, da entsprechende Angaben bereits in den vorherigen Kapiteln enthalten sind. In die Gesamtdiskussion werden einige Ergebnisse von Begleitstudien miteinbezogen, die in der Dissertationsschrift bisher nicht dargestellt wurden, jedoch bereits an anderer Stelle beschrieben worden sind (Neumann et al., 2002, 2003, 2004 a).

5.1 Anbausystem „weite Reihe“

Die Arbeitshypothese, dass sich die Produktion von Backweizen im ökologischen Anbau durch erweiterte Getreidereihenabstände optimieren lässt (vgl. Stute, 1996; Holle und Untiedt, 1999), konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Die geprüften Weitreihenverfahren (24 cm, 36 cm, 48 cm, 12 cm/36 cm Doppelreihe) führten unabhängig von der Variation weiterer Faktoren (Weizensortentyp, Aussaatstärke, Intensität der mechanischen Pflege) in allen Versuchsjahren zu Mindererträgen (Kapitel 2). Der Kornrohproteingehalt ließ sich lediglich in einem von fünf Experimenten durch die Erhöhung des Reihenabstandes auf 36 cm bzw. 48 cm steigern (Kapitel 2).

In der Versuchsserie zum „Bi-cropping“-Anbau von Winterweizen und Weißklee hatte die Reihenweite von 36 cm im Mittel von drei Getreideansaatetechniken („Bi-cropping“ (i) durch Reihenfrässaat in Weißklee, „Bi-cropping“ (ii) durch Direktsaat nach flächigem Fräsen des Klees, Pflugsaat) zwar einen signifikant positiven Einfluss auf den Rohproteingehalt im Weizenkorn, die Erweiterung des Reihenabstandes war jedoch auch hier mit starken Mindererträgen verbunden (Kapitel 3). In den Experimenten zum „Bi-cropping“ von Roggen bzw. Hafer mit Weißklee ergab der Anbau in „weiter Reihe“ (36 cm) ebenfalls in allen Experimenten Ertragseinbußen (Kapitel 4). Die Mindererträge wurden in nahezu allen Experimenten durch reduzierte Bestandesdichten hervorgerufen (Kapitel 3 und 4). Die gefundenen negativen Beziehungen zwischen der Reihenweite und dem Getreideertrag bestätigen die Kenntnisse aus dem historischen bzw. konventionellen Anbau (Übersichten in Heuser, 1954; Boekholt, 1958; Mülle, 1979; von Boguslawski, 1981; siehe Kapitel 2).

5.2 System „Bi-cropping“

5.2.1 Leistungen

Die Arbeitshypothese, dass der Erfolg des „Bi-cropping“-Verfahrens auch im ökologischen Anbau entscheidend von der Steuerung der Konkurrenz zwischen dem Getreide und Klee beeinflusst wird, wurde durch die durchgeführten Experimente bestätigt. Die Getreideansaattechnik hatte unter den geprüften Anbaufaktoren (Kleesorte, Getreidereihenweite, Ansaattechnik) den größten Einfluss auf die erzielten Leistungen. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn der Weißklee unmittelbar vor der Direktsaat des Getreides flächig gefräst wurde (Ansaattechnik „Bi-cropping“ (ii), siehe Kapitel 3). Der Klee wurde durch dieses Verfahren (erwartungsgemäß) stärker zurückgedrängt als durch die Reihenfrässaat (System „Bi-cropping“ (i), Kapitel 3 und 4). Der „Bi-cropping“-Anbau mit Winterweizen war am erfolgreichsten, wenn die flächige Frässaat mit normalem (engen) Reihenabstand erfolgte. Zum Zeitpunkt der Ernte von Ganzpflanzensilage (EC 85) ließen sich mit dieser Faktorkombination Qualitäten und Erträge erzielen, die auf einem Niveau mit den Ergebnissen der Kontrolle (Pflugsaat) lagen. Zur Druschernte erzielte die „Bi-cropping“-Frässaat zwar genauso hohe Kornrohproteingehalte wie die Pflugsaat, die Kornerträge des „Bi-cropping“-Weizens blieben jedoch deutlich hinter denen der Kontrolle zurück (Kapitel 3; vgl. Neumann et al., 2003). Der Weißklee bildete auch nach der Frässaat des Getreides im Laufe der folgenden Vegetationsperiode wieder einen geschlossenen Bestand, so dass sich die Ernterückstände der unterschiedlichen „Bi-cropping“-Systeme nach der Ernte des Weizens nicht signifikant unterschieden (Kapitel 3). Als Ursachen für die Mindererträge der „Bi-cropping“-Verfahren gegenüber der Pflugsaat wurden Konkurrenzeffekte des Klees (Nährstoffe, Wasser, Licht, Standraum), eine geringere Freisetzung von Boden-N sowie eine schlechtere Saatbettbereitung ermittelt (Kapitel 3). Das „Bi-cropping“-Verfahren zeichnete sich durch einen hohen Vorfruchtwert aus. Im Mittel der zwei Versuchsjahre wurden residuale N-Mengen von rund 200 kg N/ha ermittelt (oberirdische Sprossmasse und Wurzeln in 0-30 cm Bodentiefe, Beprobung im Herbst nach der Weizenernte, Anfang Oktober) (Kapitel 3).

In den mit Winterroggen und Hafer durchgeführten Folgeversuchen wurden die Anbaufaktoren Vorfrucht (Winterweizen, Winterweizen/Weißklee-„Bi-cropping“), Nachfrucht (Winterroggen, Hafer), Ansaattechnik („Bi-cropping“, Pflugsaat) und Reihenabstand (12 cm, 36 cm) geprüft (Kapitel 4). Die höchsten Kornerträge wurden durch die Normalsaat von Hafer (Frühjahrsunbruch, Reihenweite 12 cm) nach der Vorfrucht „Bi-cropping“ (Winterweizen/Weißklee) erzielt (Kapitel 4). Die für dieses Anbauverfahren

ermittelten (Parzellendrusch-) Erträge betragen rund 70 dt/ha (Kapitel 4). Ein ähnlich hoher Kornertrag ist für ökologisch angebautes Getreide am Versuchsstandort bisher lediglich für Hafer ermittelt worden, der nach überjährigem Rotklee gras angebaut wurde (Ruhe et al., 2003). Die Gesamterträge an Getreideeinheiten waren am höchsten, wenn dem „Bi-cropping“-Anbau (Direktsaat Winterweizen nach flächigem Fräsen des Weißklee) oder der Pflugsaat von Winterweizen die Pflugsaat von Hafer folgte (Kapitel 4). Die geringsten N-Auswaschungen über Winter ließen sich erzielen, wenn die Ansaat des Winterweizens im ersten Jahr im „Bi-cropping“-Verfahren erfolgte und die „Bi-cropping“-Residuen nach der Weizenernte im Herbst des Folgejahres nicht umgebrochen wurden (Kapitel 3 und 4). Die höchste Energieeffizienz wurde erreicht, wenn der flächigen Frässaat des Weizens in den Weißklee („Bi-cropping“ (ii)) der Anbau von Hafer per Pflugsaat oder „Bi-cropping“ folgte (Kapitel 4).

Im Hinblick auf alle drei erhobenen Parameter (Produktivität, Energieeffizienz, N-Auswaschung) stellte der „Bi-cropping“-Anbau von Winterweizen und Weißklee mit folgender Pflugsaat von Hafer (Frühjahrsumbruch) das vorteilhafteste der geprüften zweijährigen Anbausysteme dar (Kapitel 4).

5.2.2 Bewertung

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte „Bi-cropping“-System stellt aufgrund des ermittelten hohen Vorfruchtwertes trotz der Mindererträge des Weizens ein ökonomisch interessantes Verfahren für den praktischen ökologischen Anbau dar. Das „Bi-cropping“-System könnte in viehlos wirtschaftenden Ökobetrieben an Stelle des verbreiteten überjährigen Anbaus von Klee gras eingesetzt werden (siehe Kapitel 3, Neumann et al., 2004 b). Während die Gründüngung mit Klee gras im spezialisierten Marktfruchtanbau in der Regel keinen Verkaufserlös erwirtschaftet, ist es mit dem „Bi-cropping“-Verfahren möglich, ein Getreide anzubauen (hier: Backweizen), während zeitgleich durch den Weißklee Stickstoffmengen gebunden werden, die mit den Leistungen des Klee grasanbaus vergleichbar sind (Kapitel 3). Da der Weißklee bereits im Ansaatjahr des Wintergetreides etabliert wird (z. B. als Untersaat in der Vorfrucht), steht im „Bi-cropping“-Verfahren ein ähnlich langer Zeitraum für die Stickstofffixierung zur Verfügung wie im überjährigen Klee grasanbau. Bei dem Vergleich der beiden Verfahren ist zu berücksichtigen, dass der Klee grasbewirtschaftung neben der Stickstoffbindung die folgenden weiteren positiven Effekte beigemessen werden (Schmidt, 1997):

- Unterdrückung von Schädlingen und Krankheiten,

- Bodenruhe,
- Steigerung der Bodenfruchtbarkeit,
- Unkrautkontrolle.

Über das Auftreten von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten im ökologischen „Bi-cropping“-Anbau ist bisher nichts bekannt. Für den konventionellen „Bi-cropping“-Anbau wurden mehrere Untersuchungen zum Befall mit Weizenkrankheiten durchgeführt. Die Ergebnisse der Arbeiten liefern kein einheitliches Bild. Je nach Pathogen wurden gegenteilige oder auch keine signifikanten Effekte ermittelt (Soleimani et al., 1995; Deadman et al., 1996; Deadman und Cooke, 1997). In den Untersuchungen von Deadman et al. (1996) wurde das Auftreten von Krankheiten stärker durch das Niveau der mineralischen Stickstoffdüngung als durch die Wahl des Anbausystems (mit/ohne „Bi-cropping“) bestimmt.

Der ökologische „Bi-cropping“-Anbau erfordert nach den in Kapitel 3 und 4 dargestellten Ergebnissen im Anschluss an die pfluglose Getreideansaat keine weiteren Bearbeitungs- bzw. Pflegemaßnahmen. Das Verfahren dürfte somit ähnlich zur „Bodenruhe“ und „Bodenfruchtbarkeit“ beitragen wie eine überjährige Gründüngung mit Klee gras. Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ernterückstandsmengen der „Bi-cropping“-Bestände (Trockenmasse, N) liegen in einer Größenordnung, wie sie auch für praxisübliche Klee grasbestände bestimmt wurde (Heß, 1989; Piorr, 1992; Lopotz, 1996; Loges, 1998; Loges et al., 1999; Kaske, 2000; Drey mann, in prep; siehe Kapitel 3). Während die Klee grasbewirtschaftung je nach Schnitt- bzw. Mulchhäufigkeit eine Unterdrückung von Unkräutern ermöglicht, besteht im „Bi-cropping“-Verfahren durch den Verzicht auf den Einsatz des Pfluges ein erhöhtes Ausbreitungsrisiko von Beikräutern und Ungräsern. In Versuchen, die unter den Bedingungen des konventionellen Anbaus durchgeführt wurden, traten insbesondere im zweiten Jahr der Getreidedirektsaat Probleme mit Ungräsern auf (siehe Kapitel 4). In den eigenen Experimenten war der Besatz mit Unkräutern (v. a. mit Ackerkratzdisteln, *Cirsium arvense* L.) ebenfalls in den Parzellen am größten, die in zwei aufeinanderfolgenden Jahren pfluglos bestellt worden waren (Kapitel 4). Von einer wiederholten „Bi-cropping“-Ansaat ist somit abzuraten, zumal durch den Umbruch zur Bestellung der ersten „Bi-cropping“-Folgefrucht bedeutend höhere Fruchtfolgeleistungen erzielt werden können (Kapitel 4).

In Abbildung 1 ist zusammenfassend und schematisch dargestellt, wie das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte „Bi-cropping“-Verfahren im praktischen Anbau durchgeführt werden kann.

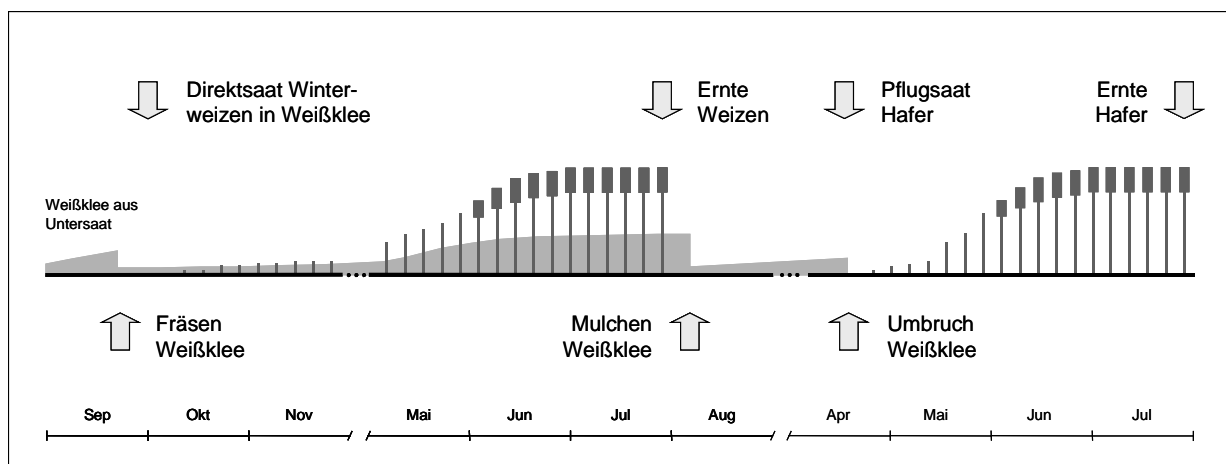


Abbildung 1: „Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee im ökologischen Anbau – Abfolge von Anbaumaßnahmen und Einordnung in die Fruchtfolge (schematische Darstellung; siehe Kapitel 3 und 4). Vor der Direktsaat des Winterweizens muss der Weißklee bis an seine Überlebensgrenze gefräst werden. Für den „Bi-cropping“-Anbau sollten nur Flächen ausgewählt werden, die frei von Problemunkräutern sind. Der Verzicht auf den Einsatz des Pfluges bedingt eine erhöhte Gefahr der Ausbreitung von Wurzelunkräutern.

5.2.3 Optimierungsversuche

Aufbauend auf den Ergebnissen des ersten Versuchsjahres zum „Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee wurden im Erntejahr 2003 mehrere Begleitstudien zur Optimierung des Anbausystems durchgeführt. Die zusätzlich geprüften Verfahren hatten zum Ziel, die Konkurrenz des Klees zu reduzieren bzw. die Konkurrenzkraft des Weizens zu stärken. In einfaktoriellen Parzellenversuchen wurden die folgenden Strategien getestet (randomisierte Blockanlagen in vierfacher Wiederholung, siehe Neumann et al., 2004 a):

- Frühsaat Winterweizen (Anfang September statt Anfang Oktober (Kontrolle); Ansaat durch Reihenfrässaat bzw. „Bi-cropping“ (i) (vgl. Bonfils, 2000),
- Ansaat mit veränderter Saatechnik: Reihenfrässaat mit Scheibensechen, die seitlich der Fräsmesser laufen (Eigenkonstruktion Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik Universität Kiel; Ziel: „sauberes“ Abschneiden der Weißkleestolonen, um a) das Wiedervordringen der Stolonen in die Getreidesaatreihen zu verzögern und b) ein verbessertes Saatbett zu erzeugen; Kontrolle: Pflugsaat bzw. Reihenfrässaat ohne Scheibenseche),
- „Bi-cropping“ (i) (Reihenfrässaat) mit Perserklee (*Trifolium resupinatum* L., nicht winterhart) statt mit Weißklee (Kontrolle).

Sowohl die Reihenfrässaat mit zusätzlichen Scheibensechen als auch die Weizenfrühsaat stellten keine Strategien dar, um den „Bi-cropping“-Anbau zu verbessern (Tabelle 1). Beide Verfahren führten im Vergleich zur Kontrolle (Pflugsaat bzw. normaler Aussattermin) zu starken Mindererträgen, da es nicht gelang, die Konkurrenzkraft des Klees zu schwächen (Ansaat mit Scheibensechen) bzw. dem Weizen einen wirksamen Entwicklungsvorsprung zu verschaffen (Frühsaat). Der gemeinsame Anbau mit dem Perserklee ergab im Vergleich zu der Direktsaat in den Weißklee hingegen signifikante Mehrerträge (Tabelle 1, Neumann et al., 2004 a). Der Perserklee starb (erwartungsgemäß) über Winter ab, während der Weißklee im Laufe des Frühjahres wieder in die Getreidereihen hineinwuchs. Die Konkurrenzsituation dürfte für den Winterweizen somit bei der Ansaat in den Perserklee vergleichsweise günstiger gewesen sein (siehe Kapitel 3). Der Vorfruchtwert für die erste „Bi-cropping“-Folgefrucht ist in Relation zu dem Anbau mit Weißklee jedoch als deutlich geringer einzuschätzen, da der Perserklee nicht wie der Weißklee bis zu dem Zeitpunkt der Ansaat potentieller Folgefrüchte erhalten blieb.

Tabelle 1: Einfluss der Ansaattechnik, des Ansaatzeitpunktes sowie des Weizenpartners auf den Kornertrag (dt/ha) von ökologisch angebautem Winterweizen im Erntejahr 2003 (Getreidereihenweite 36 cm, Mittel über vier Wiederholungen)

Faktor	Faktorstufe	Ertrag (dt/ha)
Ansaattechnik (n = 16)	„Bi-cropping“ (i) <i>mit</i> Scheibensechen seitlich der Fräsmesser	19,7 b
	„Bi-cropping“ (i) <i>ohne</i> Scheibenseche seitlich der Fräsmesser	18,7 b
	„Bi-cropping“ (ii)	27,2 ab
	Pflugsaat (Kontrolle)	33,3 a
	SE/Sign.	2,0 **
Ansaatzeitpunkt „Bi-cropping“ (i) (n = 8)	Anfang September (Frühsaat)	11,3
	Anfang Oktober (Kontrolle)	21,5
	SE/Sign.	1,8 *
Weizenpartner „Bi-cropping“ (i) (n = 8)	Perserklee (nicht winterhart)	32,9
	Weißklee (winterhart, Kontrolle)	19,7
	SE/Sign.	2,7 *

„Bi-cropping“ (i): Reihenfrässaat in Weißklee; „Bi-cropping“ (ii): Normalsaat nach flächigem Fräsen des Weißklee (siehe Kapitel 3); SE/Sign.: Standardfehler/Signifikanz (F-Test); signifikante Unterschiede multipler Mittelwertvergleiche sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

5.2.4 Alternative Lösungskonzepte

In der Diskussion über Alternativen zum (unproduktiven) Kleegrasanbau im viehlosen Ökolandbau steht das „Bi-cropping“-Verfahren in Konkurrenz zu weiteren Lösungskonzepten (vgl. Schmidt, 2004):

- Vergärung von Kleegrasaufwüchsen in einer Biogasanlage und Nutzung der Gärreste als Düngemittel (Möller, 2003 und 2004; Stinner et al., 2003),
- Verkauf von Kleegrasaufwüchsen an benachbarte Gemischtbetriebe bzw. Abgabe der Aufwüchse im Austausch gegen Wirtschaftsdünger, die eigenen Anbaufrüchten gezielt zugeführt werden können (Loges und Heuwinkel, 2004; Dreymann, in prep),
- Ersatz des überjährigen Anbaus von Klee gras in der Fruchtfolge durch wiederholte Untersaat von Leguminosen bzw. den Anbau von legumen Zwischenfrüchten (Müller und Thorup-Kristensen, 2001).

Während der Betrieb einer Biogasanlage mit Klee gras noch weiterer technischer Entwicklungen bedarf (Möller, 2004) und zudem an umfangreiche Investitionen sowie Umstrukturierungen der Betriebsabläufe gebunden ist, lässt sich der Verkauf bzw. Tausch von Klee gras aufwüchsen je nach Lage und Kooperationsbereitschaft der Nachbarbetriebe leichter und kurzfristiger umsetzen. Die Untersaat von Leguminosen und der Anbau von legumen Zwischenfrüchten stellen alt bewährte Gründüngungsverfahren dar (z. B. Klapp, 1941; Rübensam und Rauhe, 1968). Legume Untersaaten erlauben es ähnlich wie der „Bi-cropping“-Anbau Stickstoff zu binden (Schmitt et al., 1995; Bergkvist et al., 2003; Sørensen et al., 2003), ohne dass auf den Anbau einer Haupt- bzw. Marktfrucht verzichtet werden muss. Frühjahrsuntersaaten, die für eine Nutzung im Herbst vorgesehen sind, nehmen aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Wachstumszeit i. d. R. geringere Stickstoffmengen auf als überjährige Klee grasbestände (Rübensam und Rauhe, 1968; vgl. Kirchmann, 1988). Bei guter Entwicklung und später Ansaat der Folgefrucht können jedoch auch durch Untersaaten bzw. Zwischenfrüchte beträchtliche N-Mengen gesammelt werden. So ermittelten Sørensen und Thorup-Kristensen (2003) in Dänemark für verschiedene legume Frühjahrsuntersaaten zum Zeitpunkt der Beprobungen im November Gesamt-N-Aufnahmen von 100-160 kg N/ha (oberirdische Sprossmasse und Wurzeln, Deckfrucht Sommergerste). Haas (2003) bestimmte für legume Winterzwischenfrüchte, die Ende August gesät und im Mai des Folgejahres beprobt wurden, oberirdische N-Mengen von rund 100 bis 200 kg N/ha. Die höchsten N-Aufnahmen wurden im Zeitraum März bis Anfang Mai erreicht. Müller und Thorup-Kristensen (2001) säten verschiedene Leguminosen-Winterzwischenfrüchte bereits

Ende Juli/Anfang August (Vorfrucht Gerste) und bestimmten in der oberirdischen Sprossmasse zum Zeitpunkt der Probenahme im November N-Mengen von 57-194 kg N/ha. Die in den genannten Arbeiten jeweils spät gewählten Beprobungstermine (November bzw. Mai) ermöglichen eine lange Wachstums- und damit N-Fixierungszeit der Leguminosen (von Boguslawski, 1981), sie schränken das Spektrum potentieller Folgefrüchte jedoch stark ein. Untersaaten wachsen ähnlich wie der Weißklee im „Bi-cropping“-Anbau in Konkurrenz zu der Deckfrucht. Der Erfolg des Verfahrens ist somit sowohl von der „Deckfruchteignung“ als auch von der „Untersaatverträglichkeit“ abhängig (Simon, 1960; Heyland und Merkelbach, 1991; Lütke Entrup, 2000). Im Rahmen der Versuchsserie zum „weite Reihe“-Anbau (siehe Kapitel 2) wurde ein zweijähriges Zusatz-Experiment durchgeführt, in dem die Untersaat von Perserklee in Winterweizen geprüft wurde (Neumann et al., 2002 und 2003). Die Untersaat wurde im Frühjahr nach dem letzten Striegeln des Weizens in den Zwischenräumen der erweiterten Getreidereihen (36 cm) ausgebracht (Aussaatmenge 16 kg/ha, Sorte Gorby). Der Perserklee entwickelte sich in beiden Versuchsjahren nur schwach und zeigte im Vergleich zur Kontrolle („weite Reihe“ ohne Untersaat) keinen absicherbaren Effekt auf den Weizenertrag. Der Kornrohproteingehalt wurde jedoch signifikant negativ durch den Perserklee beeinflusst (-0,2 %-Punkte) (Neumann et al., 2003), was vermuten lässt, dass der Klee trotz seiner nur schwachen Entwicklung in Konkurrenz zu dem Getreide getreten ist (Heyland und Merkelbach, 1991; Schultheiß, 1991; Kvist, 1992; Ohlander et al. 1996). Für das Anbausystem der „weiten Reihe“ wurde eine spezielle Reihenmulch-Maschine entwickelt, um das Wachstum von Untersaaten bereits während der Vegetationsperiode in den Getreidereihenzwischenräumen zu regulieren (Becker und Leithold, 2003). Versuche zur Praxiseinführung des Verfahrens im Winterweizenanbau ergaben im Mittel von zwei Jahren und vier Standorten im Vergleich zur Kontrolle (weite Reihe mit Untersaat, kein Mulchen) keine signifikanten Effekte auf den Kornertrag oder Kornrohproteingehalt der Deckfrucht (Becker und Leithold, 2003). Für die Leguminosenuntersaaten (Mischungen verschiedener Arten, inkl. Unkraut) wurden im Anschluss an die Getreideernte je nach Anbauverfahren und Art der Untersaat oberirdische N-Entzüge von 28,8 bis 39,3 kg N/ha bestimmt (Becker und Leithold, 2003). Für legume Frühjahrsuntersaaten, deren Etablierung mit herkömmlichen Methoden erfolgte, wurden vergleichbare N-Mengen ermittelt (Schmitt et al., 1995; Bergkvist et al., 2003). Unter günstigen Bedingungen und bei langer Wachstumszeit können jedoch auch höhere Werte erzielt werden (siehe oben). In den Experimenten zum „Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee wurden zum Ansaatzeitpunkt potenzieller Folgefrüchte (Anfang Oktober) oberirdische residuale N-Mengen von rund 150 kg N/ha ermittelt (Kapitel 3).

5.3 Schlussbetrachtung und Ausblick

In den Experimenten zum „weite Reihe“- und „Bi-cropping“-Verfahren wurde ein weiterer Gradient an Faktoren geprüft, um den ökologischen Anbau von Winterweizen zu optimieren (siehe Kapitel 2-4). Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ der Universität Kiel wurden – z. T. zeitgleich mit den Versuchen dieser Arbeit – die folgenden weiteren Optimierungsstrategien geprüft:

- Variation der organischen Düngung (mit/ohne, Termin der Ausbringung) (Dreymann et al., 2003; Wichmann, 2004; Dreymann, in prep),
- Variation der (Leguminosen-) Vorfrucht (Loges, 1998; Loges et al., 1999; Kaske, 2000; Wichmann, 2004),
- Variation der Nutzung der Klee-grasvorfrucht (unterschiedliche Schnitt-, Mulchsysteme, Umbruch zur Folgefrucht mit/ohne Stoppelbearbeitung) (Loges, 1998; Loges et al., 1999; Kaske, 2000; Dreymann et al., 2003; Dreymann, in prep),
- Anbau von Sommer- statt Winterweizen (Dreymann et al., 2003; Dreymann, in prep).

Die Ergebnisse der bisher am Standort Lindhof durchgeführten Experimente lassen darauf schliessen, dass die Möglichkeiten zur Optimierung des Weizenanbaus im ökologischen Landbau begrenzt sind. Die in den verschiedenen Arbeiten ermittelten maximalen Korn-N-Entzüge liegen in einer jeweils ähnlichen Größenordnung von 72,4 bis 88,3 kg N/ha (Dreymann et al., 2003; Wichmann, 2004; Kapitel 2 und 3). Unter den Bedingungen des konventionellen Anbaus lassen sich bei vergleichbaren Standortverhältnissen mehr als doppelt so hohe N-Entzüge erzielen. So ermittelte Sieling (2000) je nach Höhe und Aufteilung der mineralischen N-Düngegaben (120 bis 240 kg N/ha gesamt) Korn-N-Entzüge von 140 bis 180 kg N/ha. Die in den Experimenten auf dem Lindhof erzielten Weizenerträge liegen mit maximal 38,1 bis 52,2 dt/ha (Dreymann et al., 2003; Wichmann, 2004; Kapitel 2 und 3) in einer Größenordnung, wie sie im konventionellen Winterweizenanbau in Schleswig-Holstein durchschnittlich etwa Anfang der 1970er Jahre erzielt wurde (Anonymus, 1997). Die im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ untersuchten Weizenbestände (siehe Kapitel 2-4, Dreymann, in prep) sind im Vergleich zu konventionell geführten Beständen (z. B. Christen, 1997) durch eine geringere Bestandesdichte sowie insbesondere eine geringere Anzahl an Körnern je Ähre gekennzeichnet. Eine dem konventionellen Anbau äquivalente gezielte und optimal auf die Anlage- und Reduktionsphasen der Ertrags bildenden Organe abgestimmte Stickstoffversorgung (z. B. Diepenbrock et al., 1999) ist mit den aktuell im ökologischen

Anbau zur Verfügung stehenden Verfahren nicht möglich (vgl. Stöppler, 1988). Durch das Verbot chemisch-synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel wird im System des ökologischen Landbaus bewusst auf die Erzeugung maximaler Erträge verzichtet (Köpke, 2000). Die ökologische Wirtschaftsweise soll dem Landwirt „eine sichere Existenz auf der Basis befriedigender Lebensbedingungen und angemessener Einkommen“ ermöglichen, der holistische Ansatz des ökologischen Landbaus beinhaltet jedoch weitere wichtige Ziele, die sich v. a. aus dem Anspruch einer besonderen Umwelt- und Sozialverträglichkeit ableiten (Köpke, 2000).

Aktuelle und geplante Forschungsvorhaben der Universität Kiel zielen darauf ab, Verfahren für den ökologischen Winterweizenanbau zu entwickeln, die eine Erzeugung stabiler Erträge und -qualitäten bei minimalen N-Auswaschungen über Winter (siehe z. B. Dreymann et al. 2003, Kapitel 3) ermöglichen. Aufbauend auf den Versuchen zum „Bi-cropping“ werden seit dem Anbaujahr 2002/03 Experimente zur gemeinsamen Aussaat („Beisat“, Lütke Entrup, 2000) von Winterweizen und unterschiedlichen Zwischenfrüchten durchgeführt (Interreg III a-Projekt „Ökoqualität“, siehe Loges et al., 2005). Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Hof Ritzerau“ sind im Anschluss an diese Arbeit Feldexperimente zur bodenspezifischen und bedarfsoptimierten organischen Düngung von Winterweizen vorgesehen (siehe <http://www.ecology.uni-kiel.de/ritzerau>).

5.4 Literatur

- Anonymus, 1997: Agrarreport Schleswig-Holstein 1997. Ministerium für ländliche Räume, Landwirtschaft, Ernährung und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (Herausgeber), Kiel.
- Becker, K., Leithold, G., 2003: Praxiseinführung des Anbaukonzeptes Weite Reihe unter besonderer Berücksichtigung des Qualitätsaspektes bei Backweizen im Ökologischen Landbau. Schlussbericht zum FuE-Projekt 98 UM 057. Universität Giessen. Internet 12.6.2004: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1157/>.
- Bergkvist, G., Ohlander, L., Nilsson-Linde, N., 2003: Biomass and N uptake of relay cropped mixtures and pure crops of white clover and perennial ryegrass and their effect on soil mineral nitrogen and subsequent crop. In: Bergkvist, G.: Perennial clovers and ryegrasses as understorey crops in cereals. Doctoral diss. Dept. of Ecology and Crop Production Science, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Agraria vol. 414.
- Boekholt, K., 1958: Zur Frage der Drillweite im Getreideanbau. Z. Acker- und Pflanzenbau 105, 395-408.
- Bonfils, M., 2000: How to grow winter wheat? The Fukuoka-Bonfils method. Leisa Magazine 16, 13.
- Christen, O., 1997: Untersuchungen zur Anbautechnik von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfruchtcombinationen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau

- und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 7. Habilitationsschrift, Universität Kiel.
- Deadman, M. L., Cooke, B. M., 1997: Wheat disease and cereal-clover bicrops. *Pest Management Focus* 2, 15-19.
- Deadman, M. L., Soleimani, M. J., Nkemka, P. N., 1996: Wheat disease and cereal clover bicrops - attempting to resolve the enigma. *Aspects of Applied Biology* 47, 173-178.
- Diepenbrock, W., Fischbek, G., Heyland, K.-U., Knauer, N., 1999: *Spezieller Pflanzenbau*. 3., neubearb. und erg. Aufl., Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Dreyman, S., in prep: N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- 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, B. (Herausgeber): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Ökologischer Landbau der Zukunft". Universität für Bodenkultur Wien - Institut für ökologischen Landbau, 89-92.
- Haas, G., 2003: Leistungsfähigkeit von Winter-Zwischenfrucht-Leguminosen. In: Freyer, B. (Herausgeber): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Ökologischer Landbau der Zukunft". Universität für Bodenkultur Wien - Institut für ökologischen Landbau, 515-516.
- Heß, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras – Klee gras – Weizen – Roggen. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Heuser, W., 1954: Untersuchungen über die Höhe und Struktur des Ertrages beim Wintergetreide unter dem Einfluss verschiedener Drillweiten. Zugleich ein Beitrag zur Frage der Wenig- und Weitraumformen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 98, 25-25.
- Heyland, K. U., Merkelbach, H., 1991: Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. *Bodenkultur* 42, 347-359.
- Holle, R., Untiedt, H., 1999: Crop rotations on organic farms in Northern Germany and development of the wide row system. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Köpke, U. (Editors): *Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an international workshop*. Danish Research Centre for Organic Farming, 159-162.
- Kaske, A., 2000: Leistungen unterschiedlich bewirtschafteter Futterleguminosenbestände und deren Auswirkungen auf Ertrag und ausgewählte Kenngrößen des Stickstoffhaushaltes der Folgefrucht Winterweizen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 17. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Kirchmann, H., 1988: Shoot and root growth and nitrogen uptake by six green manure legumes. *Acta Agric. Scand.* 38, 25-31.
- Klapp, E., 1941: *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus*. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Köpke, U., 2000: Ökologischer Landbau. In: Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Herausgeber): *Lehrbuch des Pflanzenbaus*. Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.

- Kvist, M., 1992: Catch crops undersown in spring barley – competitive effects and cropping methods. Diss. Department of Crop Production Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Crop Production Science 15.
- Loges, R., 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 9. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Loges, R., Heuwinkel, H., 2004: Mulchen oder Schnittnutzung von Klee-gras – Auswirkungen der Bewirtschaftung von Klee-grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. In: Schmidt, H. (Herausgeber): Viehloser Öko-Landbau – Beiträge, Beispiele, Kommentare. Verlag Dr. Köster, 21-25.
- Loges, R., Kaske, A., Taube, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Steen Jensen, E., Köpke, U. (Herausgeber): Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an International workshop. Danish Research Centre for Organic Farming, 181-190.
- Loges, R., Mauscherling, I., Taube, F., 2005: Beisat von Zwischenfrüchten als Möglichkeit zur Reduzierung der N-Auswaschung im Wintergetreide? In: Heß, J., Rahmann, G. (Herausgeber): Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005, 593-594.
- Lopotz, H.-W., 1996: Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Lütke Entrup, N., 2000: Feldfutterbau und Ackerbegrünung. In: Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Herausgeber): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- Möller, K., 2003: Systemwirkungen einer "Biogaswirtschaft" im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen. Biogas Journal 1, 20-29.
- Möller, K., 2004: Neue Möglichkeiten der Nutzung von Klee-grasaufwüchsen und Koppelprodukten in viehlosen Betrieben. In: Schmidt, H. (Herausgeber): Viehloser Öko-Landbau – Beiträge, Beispiele, Kommentare. Verlag Dr. Köster, 32-33.
- Mülle, G., 1979: Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Getreide. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Müller, T., Thorup-Kristensen, K., 2001: N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. Biological Agriculture and Horticulture 18, 345-363.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2002: Bicropping - eine Alternative zum "Weite Reihe"-System im ökologischen Winterweizenanbau? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 14, 175-176.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2003: Bicropping im ökologischen Winterweizenanbau - eine Alternative zum Anbausystem der "Weiten Reihe"? In: Freyer, B. (Herausgeber): Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24. - 26. Februar 2003 im Museumsquartier der Stadt Wien, 81-84.
- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2004 a: Neue Ergebnisse zum Bicropping von Getreide mit Weißklee: Bicropping in die Fruchtfolge eingeordnet. Landwirtschaft ohne Pflug 5, 20-23.

- Neumann, H., Loges, R., Taube, F., 2004 b: Bicropping von Getreide und Weißklee - ein alternatives Produktionsverfahren im Ökologischen Landbau. Vorträge zur Hochschultagung 2004. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, Heft 102, 101-108.
- Ohlander, L., Bergkvist, G., Stendahl, F., Kvist, M., 1996: Yield of catch crops and spring barley as affected by time of undersowing. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46, 161-168.
- Piorr, A., 1992: Zur Wirkung von residualem Klee gras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Dissertationsschrift, Universität Bonn.
- Rübensam, E., Rauhe, K., 1968: Ackerbau. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Ruhe, I., 2000: Winterweizenanbau in stickstofflimitierten Produktionssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Ertragsbildung, der organischen Düngung und der mechanischen Beikrautregulierung. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 13. Dissertationsschrift, Universität Kiel.
- Ruhe, I., Loges, R., Taube, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus - Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Freyer, B. (Herausgeber): *Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. 24. - 26. Februar 2003 in Wien*, 97-100.
- Schmidt, H., 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertationsschrift, Universität Gesamthochschule Kassel.
- Schmidt, H., 2004 (Herausgeber): *Viehloser Öko-Ackerbau. Beiträge, Beispiele, Kommentare.* Verlag Dr. Köster.
- Schmitt, L., Trinks, K., Overmeyer, U., Dewes, T., 1995: Einfluss von Leguminosen-Untersaaten auf die Leistung von Winterweizenbeständen des Ökologischen Landbaus. In: Dewes, T., Schmitt, L. (Herausgeber): *Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischem Landbau*, Wissenschaftlicher Fachverlag, Kiel, 105-108.
- Schultheiß, U., 1991: Zur Effizienz von Untersaaten für die Begrünung von Ackerbrachen. Dissertationsschrift, Universität Gießen.
- Sieling, K., 2000: Untersuchungen zu den Auswirkungen unterschiedlicher Produktionssysteme auf einige Parameter des N-Haushaltes von Boden und Pflanze. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 16. Habilitationsschrift, Universität Kiel.
- Simon, W., 1960: Luzerne, Klee und Klee gras. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Soleimani, M. J., Deadman, M. L., Clements, R. O., Kendall, D. A., 1995: Cereal-clover bicropping, could it affect our fungicide dependency? In: *Integrated crop protection: towards sustainability? Proceedings of a Symposium, Edinburgh, Scotland, 11-14 September.* Farnham, UK: British Crop Protection Council, 195-202.
- Sørensen, J. N., Thorup-Kristensen, K., 2003: Undersowing legume crops for green manuring of lettuce. *Biological Agriculture and Horticulture* 21, 399-414.
- Stinner, W., Möller, K., Leithold, G., 2003: Auswirkungen der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im ökologischen Landbau bei viehloser Wirtschaftsweise. In: Freyer, B. (Herausgeber):

Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 24. - 26. Februar 2003 im Museumsquartier der Stadt Wien, 523-524.

Stöppler, H., 1988: Zur Eignung von Winterweizensorten hinsichtlich des Anbaus und der Qualität der Produkte in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen. Dissertationsschrift, Gesamthochschule Kassel.

Stute, J., 1996: Erlaubt ist, was dem Boden nützt. bio-land 3, 12-14.

Von Boguslawski, E., 1981: Ackerbau. Grundlagen der Pflanzenproduktion. DLG-Verlag, Frankfurt.

Wichmann, S., 2004: Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 35. Dissertationsschrift, Universität Kiel.

Kapitel 6

Zusammenfassung

Summary

6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „ökologischer Landbau und extensive Landnutzungssysteme“ sowie innerhalb des interdisziplinären Forschungsvorhabens „Hof Ritzerau“ der Universität Kiel wurden in den Jahren 1999 bis 2004 zwei Versuchsserien zur Optimierung der N-Versorgung im ökologischen Getreideanbau durchgeführt.

Anlass der ersten Versuchsserie waren Berichte aus der landwirtschaftlichen Praxis, die Mitte/Ende der 1990er Jahre darauf hindeuteten, dass sich durch eine Erweiterung des Saatreihenabstandes auf bis zu 50 cm im ökologischen Winterweizenanbau höhere Kornrohproteingehalte bei konstanten Kornerträgen erzielen lassen (Anbausystem „weite Reihe“). Um diese Hypothese wissenschaftlich zu überprüfen, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit verschiedene mehrfaktorielle Feldversuche durchgeführt, in denen neben einem weiten Gradienten an Reihenabständen unterschiedliche Weizensorten, Aussaatstärken und Intensitäten der mechanischen Pflege (Striegeln, Hacken) geprüft wurden. Die Erhöhung des Reihenabstandes auf 36 cm bis 48 cm führte im Vergleich zur Kontrolle in allen Versuchsjahren zu Mindererträgen und hatte nur in einem von fünf Experimenten einen signifikant positiven Einfluss auf den Kornrohproteingehalt. Der Weitreihenbau ließ sich durch die Variation der weiteren Anbaufaktoren nicht zuverlässig optimieren. Das Anbausystem der „weiten Reihe“ stellte unter den gegebenen Standortbedingungen somit keine Alternative zu herkömmlichen Verfahren der Weizenproduktion im ökologischen Landbau dar.

Die zweite Versuchsserie beinhaltete verschiedene Experimente zur Direktsaat von Winterweizen in bereits etablierte Weißkleebestände (Anbausystem „Bi-cropping“). Die geprüften Anbaufaktoren (Ansaattechnik, Getreidereihenweite, Kleesorte) hatten zum Ziel, die Konkurrenzsituation zwischen dem Getreide und Klee so zu beeinflussen, dass möglichst hohe Getreideerträge und Kornqualitäten erzielt werden, gleichzeitig jedoch ein vollwertiger Kleebestand als Vorfrucht für folgende Kulturen erhalten bleibt. Der „Bi-cropping“-Anbau war am erfolgreichsten, wenn der Weißklee unmittelbar vor der Direktsaat des Getreides (Reihenweite 12 cm) flächig gefräst wurde. Zum Zeitpunkt der Ernte von Ganzpflanzensilage (EC 85) ließen sich mit diesem Verfahren Qualitäten und Erträge erzielen, die auf einem Niveau mit den Werten der Kontrolle (Pflugsaat) lagen. Die im „Bi-cropping“-Anbau erzielten Kornerträge konnten hingegen nicht befriedigen. Für die Mindererträge gegenüber der Pflugsaat wurden Konkurrenzeffekte des Klees, eine geringere Freisetzung von Boden-N sowie eine ungenügende Saatbettbereitung ermittelt. Das „Bi-cropping“-Verfahren zeichnete sich durch einen hohen Vorfruchtwert aus. Die „Bi-cropping“-Bestände hinterließen nach der

Ernte des Weizens residuale N-Mengen von rund 200 kg N/ha (oberirdische Sprossmasse plus Wurzeln in 30 cm Bodentiefe). In Folgeversuchen wurden die Anbaufaktoren Vorfrucht (Winterweizen, Winterweizen/Weißklee-„Bi-cropping“), Nachfrucht (Winterroggen, Hafer), Ansaattechnik („Bi-cropping“, Pflugsaat) und Reihenabstand (12 cm, 36 cm) geprüft. Die höchsten Kornerträge wurden durch die Normalsaat von Hafer (Frühjahrsunbruch, Reihenweite 12 cm) nach der Vorfrucht „Bi-cropping“ (Winterweizen/Weißklee) erzielt. Die für dieses Anbauverfahren ermittelten Erträge betragen rund 70 dt/ha. Um die Leistungen des „Bi-cropping“-Verfahrens aggregierend zu bewerten, wurden die Ergebnisse der Versuche zum „Bi-cropping“ von Winterweizen und Weißklee mit den Resultaten der Nachfolgefruchtversuche in Beziehung gesetzt. Im Hinblick auf die betrachteten Parameter Gesamtproduktivität, Energieeffizienz und N-Auswaschung erwies es sich am vorteilhaftesten, wenn dem „Bi-cropping“-Verfahren (Weizendirektsaat nach flächigem Fräsen des Klees) die Pflugsaat von Hafer folgte (Frühjahrsunbruch, Reihenweite 12 cm). Das im Rahmen der Arbeit entwickelte „Bi-cropping“-System könnte in viehlos wirtschaftenden Ökobetrieben an Stelle der verbreiteten überjährigen Gründüngung mit Klee gras eingesetzt werden. Während durch den Anbau von Klee gras im spezialisierten Marktfruchtanbau in der Regel kein Verkaufserlös erwirtschaftet werden kann, ist es mit dem „Bi-cropping“-Verfahren möglich, ein Getreide (Backweizen) zu ernten, ohne auf die Fixierung hoher Stickstoffmengen verzichten zu müssen.

6.2 Summary

Two series of experiments examining the optimisation of N supply in organic grain production were carried out during 1999 to 2004. The studies were part of the interdisciplinary research projects „organic farming and extensive land use systems” and “Hof Ritzerau” of Kiel University.

The first series of experiments was motivated by reports from practical organic farming, which during the mid/end 1990s indicated that cultivation of winter wheat with wide row spacings of up to 50 cm might result in a higher grain crude protein content without a loss of grain yield. According to this hypothesis several row spacings of winter wheat as well as different varieties, seed rates and intensities of mechanical weed control (harrowing, hoeing) were tested in multi-factorial field experiments. Sowing with wider row spacings resulted in a reduction of grain yield in all experiments. The grain crude protein content was only increased by cultivation with wide rows (36 cm, 48 cm) in one of the five experiments. The wide row systems could not reliably be optimised by the variation of the other factors and, therefore, did

not present an alternative to traditional cultivation systems of winter wheat in organic agriculture at the experimental site.

The second serial of experiments consisted of different field trials involving direct drilling of winter wheat into living mulches of white clover (bi-cropping). The tested experimental factors (sowing technique of cereal, row spacing of cereal and variety of white clover) aimed to control the competition between cereal and clover. The objective of the experiments was to develop a bi-cropping system which achieves high grain yields and high grain quality of wheat, but at the same time provides a well performing white clover sward as a preceding crop. Bi-cropping was most successful if white clover competition was restricted by a shallow rotary tillage operation carried out directly before sowing of winter wheat (row spacing 12 cm). Harvested as whole-crop for silage at EC stage 85 of wheat this bi-cropping system achieved yields and quality comparable to wheat grown alone. However, the grain yields of the wheat/clover system could not compete with the yields of the sole wheat crops. The minor grain yields of the bi-crops were attributed to competition from clover, to a lower supply of soil N and to imperfect seedbed.

The bi-cropping system was characterised by a high value for preceding crops. After grain harvest of wheat the bi-cropping stands left N amounts of approximately 200 kg N/ha in biomass including roots (soil depth 0-30 cm). In following experiments the factors preceding crop (winter wheat, winter wheat/white clover bi-cropping), succeeding crop (winter rye, spring oats), sowing technique (ploughing, bi-cropping) and row spacing (12 cm, 36 cm) were tested. Common sowing of oats (spring ploughing, row spacing 12 cm) following winter wheat/white clover bi-cropping resulted in the highest grain yields. Oats grown in this system obtained grain yields of approximately 70 dt/ha. In order to evaluate the total output of the bi-cropping system, the results of the experiments of winter wheat/white clover bi-cropping were linked to the results of the succeeding experiments. According to the parameters total productivity (yields of grain equivalent), total energy efficiency and N leaching during winter it was most successful if the bi-cropping system (direct drilling of winter wheat into white clover after rotary tillage of clover) was followed by oats sown after spring ploughing and with narrow row spacing.

On stockless organic farms the bi-cropping system developed in this study could be used as an alternative to common grass/clover green manure crops. While the cultivation of grass/clover usually provides no direct income in the year of green manure on these types of farms, the bi-cropping system allows for cultivation of both a cash crop (wheat) and a green manure crop in the same year.

Danksagung

Herrn Professor Dr. Friedhelm Taube danke ich für die Überlassung des Forschungsthemas, die fachlichen Anregungen und Diskussionen, die offene Arbeitsatmosphäre sowie den gewährten Freiraum bei der Durchführung des Projektes.

Bei Herrn Professor Dr. Henning Kage bedanke ich mich für die Übernahme des Koreferates.

Herr Dr. Ralf Loges stand mir als Betreuer stets mit Rat (und Tat) zur Seite. Für die freundschaftliche und vertrauensvolle langjährige Zusammenarbeit danke ich ihm herzlich.

Herrn Dr. Gerhard Rave gilt mein Dank für die Beratung in statistischen Fragen.

Meinen Mitdoktoranden Sonja Dreyman, Inken Mauscherning und Stefan Wichmann danke ich für die freundschaftliche und unkomplizierte Teamarbeit auf dem Lindhof und im Labor.

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Feldversuche bedanke ich mich bei Sabine Mues, Hinrich Stolzenberg, Holger Henningsen, Rüdiger Ströh sowie insbesondere Thomas Ehmsen, dessen persönlicher Einsatz wesentlich zum Gelingen der Versuche beigetragen hat.

Herrn Professor Dr. Edmund Isensee (Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik Universität Kiel) gebührt mein Dank für die Umsetzung des Umbaus einer Direktsaatmaschine, die in verschiedenen Zusatz-Experimenten eingesetzt wurde.

Die Fertigstellung dieser Arbeit wäre in der vorliegenden Form ohne die Hilfe zahlreicher weiterer Personen nicht möglich gewesen. Für die Unterstützung bei den Probenahmen und -aufarbeitungen bedanke ich mich vielmals bei den beteiligten studentischen Hilfskräften, namentlich insbesondere bei den langjährigen Hiwis Mirja Kaemper, Moritz Bitzhener und Dirk Willrodt. Für die Durchführung diverser Laborarbeiten danke ich Marita Krumbholz, Karin Makoben und Gunda Schnack. Allen weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes sei für die angenehme und hilfsbereite Arbeitsatmosphäre gedankt.

Frau Dr. Julia Beltsiou (Columbia University, New York) übernahm freundlicherweise die rasche Durchsicht der englischsprachigen Manuskripte.

Meine Eltern ermöglichten mir einen langen, frei gestalteten Ausbildungsweg. Hierfür danke ich ihnen von ganzem Herzen.

Mein größter Dank gilt Anne, die in allen Phasen der Arbeit für mich da war.

Die vorliegende Dissertationsarbeit wurde im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Hof Ritzerau“ erstellt, das von Herrn Günther Fielmann langfristig finanziert wird.

Lebenslauf

Name: Neumann
Vorname: Helge Jan
Geburtsdatum, -ort: 21.11.1971, Bad Oldesloe
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulausbildung

1978 – 1982 Carl-Orff-Grundschule Bargteheide
1982 – 1991 Kreis-Gymnasium Bargteheide,
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst

1991 – 1992 Kindertagesstätte Eckhorst Bargteheide

Studium

1993 – 1994 Grundstudium der Erziehungswissenschaften
an der Universität zu Köln,
Fächer: Biologie, Deutsch, Mathematik
1994 – 2001 Studium der Agrarwissenschaften
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Fachrichtung: Landschaftsentwicklung,
Abschluss: Diplom-Agraringenieur

Landwirtschaftliches Praktikum

1994 Gut Wulfsdorf, Ahrensburg

Berufstätigkeit

Seit 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für
Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung –
Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

