

Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdruckes im ökologischen Landbau

Novel cropping methods for increasing the N-efficiency and reducing the weedage in organic farming

FKZ: 03OE180

Projektnehmer:

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V.
Institut für Landnutzungssysteme
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
Tel.: +49 33432 82-310
Fax: +49 33432 82-387
E-Mail: jbachinger@zalf.de
Internet: <http://www.zalf.de>

Autoren:

Bachinger, Johann; Fischer, Holger; Stange, Gerlinde

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Abschlussbericht

zur Zuwendung aus dem Bundeshaushalt, Einzelplan 10 des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft u. Verbraucherschutz (BMELV), Kapitel 1002 Titel 686 19;

im Rahmen der Richtlinie zur Durchführung des „Programms des BMELV zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im ökologischen Landbau“

zum Thema

Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdruckes im ökologischen Landbau

auf Basis der Ausschreibung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Aktenzeichen 514-43.10/03OE180, Projektlaufzeit 04/2004 – 10/2007

Projektpartner:
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF e.V.
Institut für Landnutzungssysteme
(Projektleitung)
Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg

Bioland Erzeugerring Bayern e. V.
Auf dem Kreuz 58, 86152 Augsburg

Gut Wilmersdorf GbR
Hauptstraße 23, 16278 Wilmersdorf

Verfasst von:
Dr. Johann Bachinger
Holger Fischer
Gerlinde Stange
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF e.V.
Institut für Landnutzungssysteme

Müncheberg, den 26.10.2007

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung und Problemstellung	1
2.	Material und Methoden	4
2.1	Charakterisierung der untersuchten Anbauverfahren	4
2.1.1	Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten.....	4
2.1.2	Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen	4
2.1.3	Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee grasuntersaaten.....	4
2.2	Versuchsstandorte.....	5
2.2.1	Geografische Lage	5
2.2.2	Geologie und Boden	6
2.2.3	Klimatische und naturräumliche Zuordnung.....	7
2.2.4	Wetterdaten.....	9
2.3	Versuchsdurchführung.....	11
2.3.1	Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten.....	11
2.3.1.1	Praxisversuche	11
2.3.1.2	Exaktversuche.....	14
2.3.2	Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen	14
2.3.2.1	Praxisversuche	14
2.3.2.2	Exaktversuche.....	16
2.3.3	Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras und Klee grasuntersaaten	17
2.3.3.1	Praxisversuche	17
2.3.3.2	Exaktversuche.....	17
2.4	Untersuchungen	18
2.4.1	Bodenanalysen.....	18
2.4.2	Pflanzenuntersuchungen	18
2.4.2.1	Bestandesentwicklung und oberirdischer Aufwuchs.....	18
2.4.2.2	Erntegut	19
2.5	Verwendete Software	19
3.	Ergebnisse und Diskussion.....	20
3.1	Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten.....	20
3.1.1	Praxisversuche zu Winterweizen.....	20
3.1.2	Praxisversuche zu Winterroggen und Triticale	24
3.1.3	Exaktversuche zu Triticale und Winterroggen	28
3.1.3.1	Entwicklung der Triticalebestände vor Winter.....	28
3.1.3.2	Entwicklung der Winterroggen-Bestände vor dem Winter	31
3.1.3.3	Diskussion der Vorwinterentwicklung der Bestände	35
3.1.3.4	Entwicklung der Triticalebestände bis zur Ernte.....	38

3.1.3.5	Entwicklung der Winterroggen-Bestände bis zur Ernte	41
3.1.3.6	Diskussion der Nachwinter-Entwicklung der Bestände	44
3.1.3.7	Ertrags- und Qualitätsparameter bei Triticale	45
3.1.3.8	Ertrags- und Qualitätsparameter bei Winterroggen.....	46
3.1.3.9	Diskussion der Ertragsparameter.....	47
3.2	Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden legumen Beisaaten	49
3.2.1	Exaktversuche Müncheberg:	49
3.2.1.1	Biomasseentwicklung von Beisaat, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht.....	49
3.2.1.2	Einfluss der Beisaaten auf die Nmin-Gehalte der Böden.....	53
3.2.2	Praxisversuche	55
3.2.2.1	Biomasseentwicklung von Beisaat, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht.....	55
3.2.2.2	Einfluss der Beisaaten auf den Ertrag der Hauptkultur Winterraps	63
3.3	Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee grasuntersaaten.....	65
3.3.1	Untersaatenversuche Erbse (Exaktversuche).....	66
3.3.1.1	Biomasseentwicklung von Untersaat-, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht.....	66
3.3.1.2	Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Hauptkultur Erbse	71
3.3.1.3	Einfluss der Untersaaten auf die Nmin-Gehalte der Böden nach Erbsenernte....	72
3.3.1.4	Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Nachfrucht Hafer.....	75
3.3.2	Untersaatenversuche Lupine (Exakt- und Praxisversuche).....	76
3.3.2.1	Biomasseentwicklung von Hauptfrucht, Untersaat- und Ackerbegleitflora.....	77
3.3.2.2	Biomasseentwicklung von Hauptfrucht, Untersaat- und Ackerbegleitflora.....	82
3.3.2.3	Einfluss der Untersaaten auf die Nmin-Gehalte der Böden nach Lupinenernte..	83
3.3.2.4	Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Folgekultur Hafer	85
4.	Zusammenfassende Bewertungen und Anbauempfehlungen.....	87
4.1	Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten.....	87
4.1.1	Pflanzenbauliche Bewertung	87
4.1.2	Ökologische Bewertung	88
4.1.3	Ökonomische Bewertung	89
4.2	Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden legumen Beisaaten	89
4.2.1	Pflanzenbauliche Bewertung	89
4.2.2	Ökologische Bewertung	90
4.2.3	Ökonomische Bewertung	90
4.3	Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee grasuntersaaten.....	91
4.3.1	Pflanzenbauliche Bewertung	91
4.3.2	Ökologische Bewertung	92
4.3.3	Ökonomische Bewertung	92
5.	Zusammenfassung	93
6.	Abstract.....	95
7.	Literaturverzeichnis	97

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Lage der Versuchsbetriebe in Deutschland, Topographische Karte Mitteleuropa.....	5
Abb. 2: Karte der naturräumlichen Haupteinheiten.....	8
Abb. 3: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Müncheberg	10
Abb. 4: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Angermünde	10
Abb. 5: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Braunersgrün	10
Abb. 6: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Gablingen....	11
Abb. 7: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Helmstadt....	11
Abb. 8: Versuchsplan der Praxisversuche im Anbauverfahren 1.....	12
Abb. 9: Väderstad Rapid 300 C mit geteiltem Saatguttank.....	15
Abb. 10: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Beisat sowie N_{\min} von 0-60cm Anfang November 2004, Versuchsstandort Müncheberg.	30
Abb. 11: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Beisat sowie N_{\min} von 0-90cm Anfang November 2005, Versuchsstandort Müncheberg.	30
Abb. 12: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Beisat sowie N_{\min} von 0-60 cm Anfang November 2004, Versuchsstandort Müncheberg.	33
Abb. 13: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Beisat sowie N_{\min} von 0-90cm Anfang November 2005, Versuchsstandort Müncheberg.	34
Abb. 14: Wachstumswirksame Temperatursumme und Niederschlagssumme im Herbst 2004 von der Frühsaat bis zur Probennahme im November. Werte der Wetterstation auf den Versuchsflächen in Müncheberg.....	36
Abb. 15: Wachstumswirksame Temperatursumme und Niederschlagssumme im Herbst 2004 von der Frühsaat bis zur Probennahme im November. Werte der Wetterstation auf den Versuchsflächen in Müncheberg.....	36
Abb. 16: Spät- und Frühsaatvariante Winterroggen, 07. Okt. 2005, Versuchsstandort Müncheberg	37
Abb. 17: Triticale (früh, ohne US), 27. Feb. 2006, Versuchsstandort Müncheberg,	39
Abb. 18: Deckungsgrad (DG) von Triticale, Beisat und Unkraut vom 6.4.06 bis zum 27.06.06, getrennt nach der Beisat. Versuchsstandort Müncheberg.....	40
Abb. 19: N_{\min} -Mengen im Boden unter Triticale am 07.04.06, Versuchsstandort Müncheberg.....	41
Abb. 20: Winterroggen mit abgefrorenen Pflanzenmaterial der Beisat Peluschke, 27. Feb. 2006, Versuchsstandort Müncheberg,	42
Abb. 21: Deckungsgrad (DG) von Winterroggen, Beisat und Unkraut 6.04. bis 23.05.06, Versuchsstandort Müncheberg	42
Abb. 22: N_{\min} -Mengen im Boden unter Winterroggen am 07.04.06, Versuchsst. Müncheberg.	44
Abb. 23: Bestandesentwicklung von Winterraps mit Beisatvariante Erbse, starke Verunkrautung, 7.10.2004 Müncheberg.....	50
Abb. 24: Herbstentwicklung der Deckungsgrade und Bestandeshöhen von Winterraps, Beisat, und Unkraut Rapsversuch in Müncheberg, 2004/05,	51

Abb. 25: Stickstoff in der Biomasse des oberirdischen Aufwuchs von Winterraps und Leguminosen, am 6.10.05, unterschieden nach Art der Beisat, Müncheberg, 2005/06.....	52
Abb. 26: Deckungsgrade von Kultur, Beisat und Unkraut, Rapsversuch Müncheberg 2005/06 vom 18. 11.05, getrennt nach Art der Beisat	52
Abb. 27: N _{min} -Mengen im Boden unter Raps am 06.10.04 und am 04.11.04 unterschieden nach Beisat, Versuchsstandort Müncheberg	54
Abb. 28: N _{min} -Mengen im Boden von 0-90 cm. Mittelwerte der Proben von Ende Oktober 2005 und Anfang April 2006, getrennt nach Art der Beisat, Versuchsstandort Müncheberg.	54
Abb. 29: Winterraps-Beisatenversuch Wilmersdorf , 26.10.04.....	55
Abb. 30: Deckungsgrade von Winterraps, Beisat und Unkraut im Herbst, Wilmersdorf, 2004/05 und 2005/06	56
Abb. 31: Bestandeshöhen von Winterraps, Beisat und Unkraut im Herbst, Wilmersdorf, 2004/05 und 2005/06	56
Abb. 32: Winterraps-Beisatenversuch Wilmersdorf , Beisatvariante Erbse, 24.10.05	58
Abb. 33: Rapsschlag mit abgefrorenen Beisaten, Aufnahme vom 07.01.2005, Versuchsstandort Wilmersdorf.....	59
Abb. 34: Rapsversuch in Wilmersdorf, 2004/05, Frühjahrsentwicklung der Deckungsgrade und Bestandeshöhen von Hauptfrucht, Beisat, und Unkraut	60
Abb. 35: Aufwuchs [dt TM ha ⁻¹] von Raps, Unkraut und Leguminosenstroh zum Zeitpunkt der Rapsblüte am 19.05.05, Standort Wilmersdorf	61
Abb. 36: Winterraps-erträge Erntejahr 2005, Standort Gut Wilmersdorf, getrennt nach Beisat	61
Abb. 37: Winterraps am 11.04.2006, Parzelle mit Erbsen-Beisat, Versuchsst. Wilmersdorf,	62
Abb. 38: Deckungsgrade (DG) von Winterraps und Unkraut zu fünf Boniturzeitpunkten, Erntejahr 2006, getrennt nach Beisat, Versuchsstandort Wilmersdorf.....	62
Abb. 39: Ertragskarte aus den beim Drusch erhobenen, DGPS-referenzierten Ertragsdaten, Erntejahr 2005, Standort Wilmersdorf (Längsparzellen 250 m)	63
Abb. 40: N _{min} -Mengen im Boden zu drei Terminen, Rapsversuch 2004/05, Wilmersdorf.....	64
Abb. 41: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2004, Ernte: 29. Juli	67
Abb. 42: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2005, Ernte: 27. Juli	67
Abb. 43: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2006, Ernte: 12. Juli	68
Abb. 44: Aufwuchs von Untersaat und Unkraut zum Zeitpunkt der Ernte, Exaktversuche Erbsen mit Untersaaten 2004 bis 2006	69
Abb. 45: Biomasse und N-Mengen in Zwischenfrucht- bzw. Untersaataufwüchse vom 14.12.2006 nach Erbse	70
Abb. 46: Untersaat- und Zwischenfruchtbestand nach Erbse (21.9.2006) (.....	71
Abb. 47: Kornerträge der Erbse der Versuchsjahre 2004 bis 2006, der Untersaatvarianten.....	72
Abb. 48: N _{min} -Mengen im Boden an zwei Terminen 2004, u	74

Abb. 49: N _{min} -Mengen im Boden am 30.11.2006 nach Erbsen mit Untersaatvarianten und Winterrübsen als Stoppelsaat.....	74
Abb. 50: Hafererträge nach Saatvarianten der Vorjahres-Erbsenversuche	75
Abb. 51: Fraßspuren von <i>Sitona spec. an Lupinus angustifolius</i> im Exaktversuch (7. Mai 2004, Standort Müncheberg)	76
Abb. 52: Deckungsgrad (DG) und mittlere Höhe von Lupine, Untersaat und Unkraut, getrennt nach Art der Untersaat 2004, Standort Müncheberg.....	78
Abb. 53: Aufwuchs von Lupine, Untersaat und Unkraut zum Zeitpunkt der Blüte der Hauptfrucht (Versuchsjahre 2004 bis 2006, Standort Müncheberg)	78
Abb. 54: Oberirdische Biomasse von Lupinen und Unkraut, Beginn bis Mitte Blüte Lupine, 2005 und 2006, Wilmersdorf.....	80
Abb. 55: Stickstoffmengen im Aufwuchses, Ernteschnitt vom 24.08.05 und Herbstschnitt vom 19.10.05, Lupinenversuch Standort Wilmersdorf.....	81
Abb. 56: Rübsen, Ausfalllupinen und Reste der Untersaat in Wilmersdorf, 19.10.05.....	82
Abb. 57: Lupinen-Kornertrag der Handerten vom 03.08.05 und 25.07.06 nach Faktorstufe Untersaat, gemittelt über beide Versuchsjahre, Standort Wilmersdorf,	83
Abb. 58: N _{min} -Mengen im Boden nach der Lupineernte 2004, der Fakturstufen Untersaat, Standort Müncheberg,.....	84
Abb. 59: N _{min} -Mengen im Boden 0-60 cm nach der Lupinenernte und Mitte Oktober 2005, getrennt nach der Faktorstufe Untersaat, Standort Wilmersdorf	85
Abb. 60: Erträge der Folgefrucht Hafer nach Saatvarianten der Lupinenversuche.....	86

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Bodenarten und Bodenbewertung der einzelnen Projektbetriebe	7
Tab. 2: Einordnung der Versuchsbetriebe in die Klimatische Gliederung der Bundesrepublik Deutschland	8
Tab. 3: Einordnung der Versuchsbetriebe in Naturräume.....	8
Tab. 4: Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag im Versuchszeitraum und im langjährigen Mittel	9
Tab. 5: Praxisversuche Wintergetreide mit legume Beisaaten.....	13
Tab. 6: Kulturdaten für die Aussaat der Wintergetreide-Exaktversuche	14
Tab. 7: Kulturdaten für die Aussaat des Winterraps-Exaktversuchs im Jahr 2004.....	16
Tab. 8: Kulturdaten für die Aussaat des Winterraps-Exaktversuchs im Jahr 2005.....	16
Tab. 9: Versuchsvarianten im Exaktversuch zum Anbauverfahren 2	18
Tab. 10: Ernteparameter Winterweizen 2005, getrennt nach früher und später (betriebsüblicher Aussaat, Betrieb 8)	21
Tab. 11: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterweizen bei verschiedenen Saatvarianten der Praxisversuche Bayern 2005 und 2006.....	23
Tab. 12: Aufwuchsbonitur *) der legumen Beisaaten in Winterweizen der Versuche 2005 und 2006 von Betrieb 6, 8 u. 10	23
Tab. 13: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Triticale bei verschiedenen Beisaatvarianten, Praxisversuche Brandenburg 2005-2006	25
Tab. 14: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterroggen bei verschiedenen Beisaatvarianten, Praxisversuche Brandenburg 2005-2006	25
Tab. 15: Aufwuchsbonitur der legumen Beisaaten, Winterroggen/Triticale, Praxisversuche Brandenburg 2005-2006,.....	26
Tab. 16: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterroggen bei verschiedenen Beisaatvarianten, Praxisversuche Bayern 2005.....	26
Tab. 17: Winterroggen Praxisversuche Bayern 2006: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte der verschiedenen Beisaatvarianten.....	27
Tab. 18: Winterroggen Praxisversuche Bayern 2005 und 2006, Aufwuchsbonitur der legumen Beisaaten.....	27
Tab. 19: Deckungsgrade von Kultur, Beisaat und Unkräutern zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005. Triticale, Versuchsstandort Müncheberg	28
Tab. 20: Aufwuchs von Kultur und Beisaat zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005. Triticale, Versuchsstandort Müncheberg.....	28
Tab. 21: N _{min} -Mengen im Boden 0-90cm, Mittelwerte der Parzellen mit spät gesäeter Triticale Herbst 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg.....	31
Tab. 22: Deckungsgrade von Winterroggen, Beisaat und Unkräutern zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg	32

Tab. 23: Aufwuchs von Winterroggen und Beisat zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg	32
Tab. 24: N _{min} -Mengen im Boden in Schichten von 30cm, Mittelwerte der Parzellen mit spät gesättem Winterroggen Herbst 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg	34
Tab. 25: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Unkraut getrennt nach Beisat. Grünschnitte vom 1. Juni 2005 und 2006. Versuchsstandort Müncheberg.....	40
Tab. 26: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Unkraut getrennt nach Beisat. Grünschnitte vom 1. Juni 2005 und 2006. Versuchsstandort Müncheberg.	43
Tab. 27: Korn- und Stroherträge Triticale 2005 u. 2006 getrennt nach Beisatvarianten. Versuchsstandort Müncheberg.	46
Tab. 28: Triticale, Rohprotein-Gehalte im Korn und TKM getrennt nach Beisatvariante, Versuchsstandort Müncheberg.	46
Tab. 29: Korn- und Stroherträge Winterroggen 2005 u. 2006 getrennt nach Beisatvarianten. Versuchsstandort Müncheberg.	47
Tab. 30: Kornerträge von Winterroggen und Triticale. Ernten vom 02.08.2005 und vom 26.07.2006, gemittelt über alle Frühsaaten. Versuchsstandort Müncheberg.....	47
Tab. 31: Wassergehalte der Bodenschichten [Masse %] von 0-90 cm Tiefe zum Zeitpunkt der Entnahme der N _{min} -Proben, Versuchsstandort Müncheberg	50
Tab. 32: Aufwuchs und Stickstoffmenge in TM von Raps, Leguminosen und Unkraut, Beprobungstermin: 04.11.2004, Müncheberg, 2004/05	51
Tab. 33: Aufwuchs von Winterraps, legumen Beisaaten und Unkraut vom 08.11.2004 bzw. 24.10.05, Versuchsstandort Wilmersdorf	57
Tab. 34: Stickstoffgehalt im Aufwuchs von Winterraps, legumen Beisaaten und Unkraut vom 08.11.2004 bzw. 24.10.05, Versuchsstandort Wilmersdorf	57
Tab. 35: Stickstoffgehalte im Aufwuchs von Winterraps vom 08.11.2004 und 19.05.05, Abschätzung der N-Aufnahme von Raps nach Winter aus Leguminosenresiduen und Abschätzung der N-Fixierung der legumen Beisaaten, Versuchsstandort Wilmersdorf	58
Tab. 36: Aussaat-, Blüte- und Erntetermine und Zeitspanne zwischen Aussaat und Ernte der Erbsenversuche 2004 bis 2006	71
Tab. 37: Aufwuchs von Untersaat und Unkraut, Beginn bis Mitte Blüte Lupine, Versuchsjahre 2005 und 2006, Versuchsstandort Müncheberg	79
Tab. 38 Mittelwerte des Aufwuchses von Untersaat und Unkraut am 24.08.2005.....	81
Tab. 39: Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten für Öko-Z-Saatgut im Frühjahr 2007, sowie im Exakt- und Praxisversuch im Wintergetreide eingemischte Aussaatmengen und Saatgutkosten.....	89
Tab. 40: Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten für Öko-Z-Saatgut im Frühjahr 2007, sowie im Exakt- und Praxisversuch im Winterraps eingesetzte Aussaatmengen.....	91
Tab. 41: Preise für Öko-Z-Saatgut im Frühjahr 2007. Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten	92

1. Einleitung und Problemstellung

In Anbausystemen des ökologischen Landbaus ist Stickstoff der am häufigsten limitierende Wachstumsfaktor (Köpke, 1995; Olesen, 1996; Vereijken, 1997). Dies gilt im besonderen Maße für viehlos wirtschaftende Betriebe (Watson et al., 2002). Zum einen weisen sie durch den höheren Anteil an Marktfrüchten einen deutlich höheren Stickstoffexport auf, zum anderen verfügen sie durch das Fehlen von innerbetrieblichen Wirtschaftdüngern kaum über flexibel einsetzbare N-Ressourcen. Eine innerbetriebliche Optimierungsmöglichkeit bildet die Integration von Biogasanlagen (Möller et al., 2006), worauf an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Neben der Optimierung des Wirtschafts- bzw. Zukaufdüngereinsatzes und der Reduktion der Nährstoffkonkurrenz durch ein effektives Unkrautmanagement, besteht die Optimierung der N-Versorgung im ökologischen Landbau im Wesentlichen aus den zwei Komponenten:

1. Reduzierung der NO_3 -Auswaschungsverluste.
2. Erhöhung des N-Inputs durch die symbiotische N_2 -Fixierung der Leguminosen.

Zu 1.: Bei der Reduzierung der Auswaschungsverluste steht die pflanzenbauliche Optimierung von Zeiträumen mit hohem N-Auswaschungspotenzial innerhalb der Fruchtfolgen im Vordergrund. In diesen Zeiträumen findet eine hohe N-Mineralisation ohne entsprechende N-Aufnahme durch die Kulturpflanzen statt. Zu diesen sogenannten ‚Hot Spots‘ zählen vor allem die Zeiträume (a) nach der Ernte von Körnerleguminosen (Pommer, 2000) und (b) bei Wintergetreide nach Umbruch der Vorfrucht bis zur Hauptnährstoffaufnahme im Folgejahr. Letzteres gilt besonders nach dem Herbstumbruch von Futterleguminosen (Stopes, 1995; Heß, 1989). Zu a) liegen für Grasuntersaaten in Ackerbohne mehrjährige Ergebnisse vor. Für Erbsen und Lupinen, den Körnerleguminosen für leichte und damit auswaschungsgefährdete Standorte fehlen aber bisher mehrjährige Ergebnisse aus Anbausystemen des ökologischen Landbaus. Zum Problemzeitraum b) gibt es zu Fröhsaaten von Winterroggen erste erfolversprechende Ergebnisse (Bachinger et al., 1999).

Zu 2.: Der Hauptfruchtanbau von Futterleguminosen-Gras-Gemengen stellt bisher auch für viehlose Betriebe als Flächenstilllegung in Form der Rotationsbrache die Hauptstickstoffquelle dar, da Flächenstilllegungen infolge ihrer Prämien für die Landwirte noch wirtschaftlich tragbar sind. Wenn jedoch die Flächenstilllegung als agrarpolitisches Instrument entfällt, müssen die Landwirte andere Anbauverfahren übernehmen (Pommer, 2000). Zur Erhöhung des N-Inputs durch die symbiotische N_2 -Fixierung der Leguminosen besteht neben dem Hauptfruchtanbau von Körnerleguminosen in Rein- bzw. Mischsaaten auch die Möglichkeit des legumen Zwischenfruchtanbaus in Form von Unter- und Stoppelsaaten bis

hin zum Intercropping von Klee im Winterweizenanbauverfahren „Weite Reihe“ (Becker, 2006). Darüber hinaus stellt die Beisat von abfrierenden Körner- und Futterleguminosen in Winterungen wie Winterweizen, Winterroggen aber auch Winterraps eine weitere, bisher wenig untersuchte Möglichkeit der Integration von Leguminosen in Anbauverfahren dar.

Im ökologischen Landbau stellt neben der Quantität der N-Versorgung auch die Qualität einer bedarfsgerechten N-Versorgung der Kulturpflanzen eines der Hauptthemnisse für die Verbesserung von Ertrag und Qualität der angebauten Produkte dar. Anbaumaßnahmen, die zur Erhöhung des N-Inputs durch Leguminosen bzw. der Reduktion der N-Verluste auch von kleineren N-Mengen führen, können aus ökonomischer Sicht sinnvoll sein, da eine monetäre Bewertung von Stickstoff nach Redelberger (2004) im ökologischen Landbau mit 2,5 - 5 € betriebsintern anzusetzen ist.

- Für den Bereich der Winterungen sollte dies durch die Verbesserung der Nutzung des N-Angebots des Bodens im Herbst und durch eine zusätzliche Stickstofffixierung über den Anbau von abfrierenden Körnerleguminosen als Beisat in früh gesättem Wintergetreide und Winterraps erreicht werden. Ein um 3 Wochen früher gesättes Wintergetreide soll durch ein längeres und stärkeres Pflanzenwachstum bis zur Vegetationsruhe den im Spätsommer bis Frühherbst mineralisierten Stickstoff wesentlich besser aufnehmen. Durch die Beisat von Körnerleguminosen besteht bei früh gesättem Wintergetreide und Winterraps dazu die Möglichkeit der symbiotischen N_2 -Fixierung von Luftstickstoff. Der vor Winter im Aufwuchs eingelagerte Stickstoff soll im Frühjahr aus dem abgefrorenen Pflanzenmaterial mineralisiert werden und den Kulturpflanzen bedarfsgerecht zur Verfügung stehen.
- Für den Bereich der Sommerungen sollte eine sichere Reduktion der NO_3 -Verluste bei Körnerleguminosen aus den oftmals schon zur Ernte in der Krume vorhandenen residuellen NO_3 -Mengen durch Grasuntersaaten (bzw. Weißklee gras) erreicht werden. Die bei Grasuntersaaten beobachtete teilweise deutliche Verringerung der Spätverunkrautung erlaubt in Verbindung mit einer weitgehenden Reduzierung der N-Austräge nach Körnerleguminosen eine deutlich spätere Grundbodenbearbeitung in Verbindung mit späteren Aussatterminen von Winterweizen bzw. eine Auflockerung der wintergetreidebetonten Fruchtfolgen durch den Anbau von Sommerungen nach Frühjahrsumbruch der Grasuntersaat.

Bei der Entwicklung von Anbauverfahren sind neben den reinen Produktionszielen Ertrag und Qualität auch gleichzeitig Ziele des abiotischen und biotischen Ressourcenschutzes zu berücksichtigen. Die Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs aus Ernte- und Wurzelrückständen und die N-Aufnahme durch Winterungen im Herbst verlaufen oft diskongruent. Teilweise substanzielle N-Verluste in den Herbst- und Wintermonaten sind

auch im ökologischen Landbau gerade auf leichten Standorten die Folge. Beisaaten bzw. Untersaaten, die den Stickstoffüberhang im Herbst abschöpfen, im Winter abfrieren und den Stickstoff im Frühjahr der Kulturpflanze wieder zur Verfügung stellen, können diese N-Verluste im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise wesentlich verringern. Darüber hinaus können neben Wintergetreidefrühsaaten Bei- und Untersaaten auf den erosionsgefährdeten Standorten Nordostdeutschlands einen wesentlichen Beitrag zum Erosionsschutz leisten. Zu dem ist ein positiver Einfluss auf das Bodenleben (Colembolen, Regenwürmer etc.) durch das Bestandesmaterial der abgefrorenen Leguminosen-Beisaaten zu erwarten, wie auch auf die Bodenstruktur unter den Getreidebeständen zusammen mit der Wurzelbiomasse.

Durch die Verknüpfung von Praxisversuchen auf Schlägen verschiedener Standorte mit Exaktversuchen auf den Flächen des ‚Modellbetriebes Organischer Landbau‘ der Forschungsstation des ZALF am Standort Müncheberg und durch die Beteiligung zahlreicher Praktiker und des Bioland-Erzeugerringes sollten für die Anbauverfahren:

- Wintergetreidefrühsaat mit legumen Beisaaten
- Winterraps in ‚Weiter Reihe‘ mit legumen Beisaaten
- Erbse / blaue Lupine mit (Klee-)Gras-Untersaat.

Folgende Arbeitsziele regionalspezifisch erreicht werden:

- Empfehlungen zur Anbauverfahrengestaltung (Mischungspartner, Saatstärken, -termine und -techniken)
- Abschätzung von Ertrags- und Qualitätseffekten im Vergleich zu Standardverfahren
- Abschätzung und Bewertung von N-Input und N-Austragsreduktion
- Abschätzung der Wirkung der neuen Verfahren auf die Verunkrautung
- Abschätzung der Wirkung der einzelnen Verfahren auf die Erosionsgefährdung
- Ökonomische Bewertung der Verfahren mit besonderer Berücksichtigung der betriebseigenen Kosten pro Kilogramm N.

2. Material und Methoden

2.1 Charakterisierung der untersuchten Anbauverfahren

2.1.1 Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten

In diesem Anbauverfahren wurden Hauptfrucht und Beisaat vor der Aussaat gemischt und gemeinsam in einem Arbeitsgang möglichst früh ausgesät. Das heißt, dass die Aussaat ca. drei Wochen früher als der für diese Fruchtart regional übliche mittlere Aussaattermin war. Aussaaten zu diesem Termin ohne Beisaaten wurden als Standardanbauverfahren in die Versuche integriert. Die Saatstärke der Hauptfrucht wurde dabei gegenüber dem Standardanbauverfahren um bis zu 50 % reduziert. Die beigemischten Körnerleguminosen wurden mit der Hälfte der für eine Reinsaat im Frühjahr üblichen Menge den Saatmischungen beigefügt. Um die Beisaat nicht zu beeinträchtigen, musste nach der Aussaat im Herbst auf ein Hacken oder Striegeln verzichtet werden.

2.1.2 Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen

Wie im Anbauverfahren 1 wurden auch in diesem Verfahren Körnerleguminosen zum gleichen Zeitpunkt wie die Hauptfrucht aussät. Die Aussaat erfolgte wegen der unterschiedlichen Korngrößen der Komponenten und der unterschiedlichen Anforderungen an die Ablagetiefe getrennt nach Raps und Leguminosen zum für die Hauptfrucht üblichen Zeitpunkt direkt nacheinander. Im Rahmen der Praxisversuche konnten durch den Einsatz neuer Saatechnik in einem Arbeitsgang Raps und Körnerleguminosen abwechselnd je Drillreihe in verschiedenen Ablagetiefen ausgebracht werden.

2.1.3 Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee grasun tersaaten

Die Aussaat der Körnerleguminosen ebenso wie die der Klee grasun tersaaten erfolgte - unter Gewährleistung größtmöglicher Praxisnähe - auch auf dem ZALF-Versuchsgelände mit praxisüblicher Technik. Die Beisaat erfolgte unmittelbar nach der Aussaat der Körnerleguminosen. Im Praxisversuch wurde die Beisaat beim letzten Striegelgang mit einem umgebauten im Frontanbau betriebenen pneumatischen Exaktdüngerstreuer mit Querverteiler ausgebracht und mit einem Hackstriegel gleicher Arbeitsbreite eingestriegelt.

Im Rahmen des Projektes wurden von 2004 bis 2006 an 13 Standorten in Brandenburg und Bayern Versuche zu drei Anbauverfahren durchgeführt. Dabei wurden 10 Exaktversuche am Standort Müncheberg und 32 Praxisversuche auf den Partnerbetrieben durchgeführt.

2.2 Versuchsstandorte

2.2.1 Geografische Lage

Die Standorte der Versuchsbetriebe sind in Abb. 1 dargestellt. Die weißen Punkte lokalisieren die einzelnen Orte, an denen einer oder mehrere Partnerbetriebe liegen. Acht Partnerbetriebe befinden sich im Bundesland Bayern. Davon liegen zwei benachbarte Betriebe im Fichtelgebirge. Drei weitere Betriebe befinden sich im Umkreis von 25 km um Würzburg und einer ca. 50 km östlich davon. Die beiden südlichsten Betriebe haben ihre

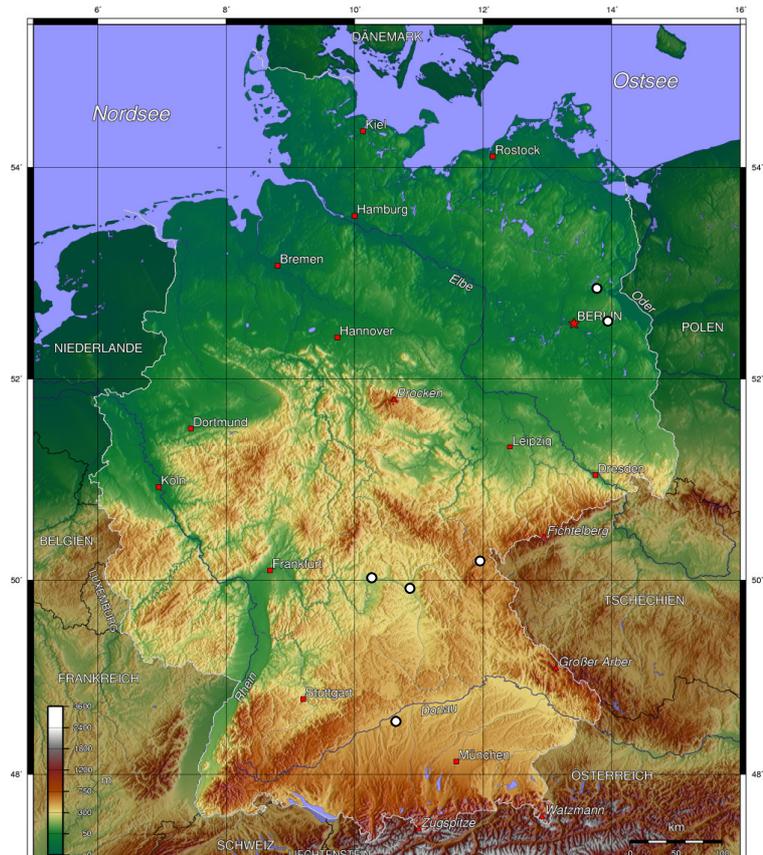


Abb. 1: Lage der Versuchsbetriebe in Deutschland, Topographische Karte Mitteleuropa. Quelle: www.mygeo.info

Flächen in der gleichen Gemarkung ca. 15 km westlich der Stadt Augsburg.

In Brandenburg liegen drei der Partnerbetriebe in der Region Müncheberg (ZALF) und einer in der Uckermark (Gut Wilmersdorf GbR).

Die Verteilung der Betriebe liegt in dem Zusammenschluss zweier regionaler Einzelprojekte a) im Nordostdeutschen Tiefland und b) in Bayern mit vergleichbaren Fragestellungen zu dem vorliegenden Verbundprojekt begründet. Die Zielsetzung des Projektes b) bestand u.a. darin, Anbauverfahren von Wintergetreide mit legumen Beisaaten auf möglichst verschiedenen Standorten innerhalb von Bayern (Maintal, Fichtelgebirge, westliche Hügellandschaft von Augsburg) zu testen.

Die Exaktversuche wurden auf den Flächen des Modellbetriebes ‚Organischer Landbau Müncheberg‘ durchgeführt, dessen Flächen Teil der Forschungsstation des ZALF in Müncheberg sind. Der Modellbetrieb besteht aus 8 Feldern von ca. 1,5 ha, die seit 1993 nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet werden. Im Rahmen pflanzenbaulich nachhaltiger Fruchtfolgen werden in der Regel folgende Fruchtarten angebaut: Hafer, Körnerleguminosen, ein- bis zweijähriges Leguminosengrasgemenge, Silomais, Winterweizen und Winterroggen. Innerhalb der einzelnen Schläge wurden in den

stehenden Bestand faktorielle Exaktversuche integriert. Durch den Einsatz weitgehend praxisüblicher Bodenbearbeitungs- und Bestelltechnik wurde ersucht, eine möglichst große Praxisrelevanz der Versuchsergebnisse zu erreichen. Die Bodengüte schwankt von 25 bis 40 Bodenpunkten, womit etwa 60 % der Brandenburger Bodenbedingungen abgedeckt sind.

2.2.2 Geologie und Boden

Betrieb 1

Der Standort Wilmersdorf in der Uckermark ist geprägt durch einen hohen Anteil an zum Teil lessivierten Braunerden aus Sand über Schmelzwassersand. Daneben sind in geringem Maße lessivierte Braunerden und Fahlerde-Braunerden aus Sand über Lehm anzutreffen.

Betriebe 2, 3, 4 und der Modellbetrieb ‚Organischer Landbau Müncheberg‘

Der Versuchsstandort Müncheberg repräsentiert die, in großen Teilen Nordostdeutschlands verbreiteten, grundwasserfernen, heterogenen Sandböden auch der benachbarten Betriebe 2, 3 und 4. Es sind hier vor allem die Bodentypen Braunerde, podsolige Braunerde, Fahlerde und Parabraunerde zu finden. Nach der Deutschen Bodenschätzung dominieren die Bodenarten anlehmgiger Sand und Sand (S14D und S4D). Die Bodenpunkte liegen zwischen 21 und 34, kleinflächig werden bis 43 erreicht. Für die Versuchsflächen weist die Bodenschätzungskarte drei Bewertungseinheiten auf: S4D (Bodenzahl 21 - 26), S14D (Bodenzahl 28 - 34) und IS4D (Bodenzahl 37 - 43).

Betriebe 5, 6

Die tertiären Schichten des Hügellandes westlich von Augsburg (Sande u. Mergel) sind meist von alteiszeitlichem Deckenschotter überzogen, die vielfach zu tiefgründigen Lehmböden verwittert sind. Darüber abgelagerter Löss führte zu teils mächtigen Lehmböden - bevorzugt Braunerden (Affalter Schotterplatte). Aus Hangschutt und Schwemmland entstanden die meisten Böden in den mehr oder weniger von Süd nach Nord verlaufenden Tälern. Die Höhenrücken (Riedel) dazwischen weisen meist mittel- bis tiefgründige teils pseudovergleyte Parabraunerden mit Bodenzahlen von 65 - 80 auf.

Betriebe 7, 8, 9

Unterfranken ist geologisch geprägt durch die Gesteine des Trias. Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper sind die bestimmenden Ausgangsgesteine. Die Betriebe verfügen teilweise über sehr gute Braunerde-Böden, die aus der Buntsandsteinverwitterung hervorgegangen sind. Braunerden sind auf allen drei Betrieben vorherrschend. Insgesamt weisen diese Betriebe die höchste Bodenheterogenität auf, was sich in der Spannweite der Bodenwertzahlen von 25 bis 75 widerspiegelt (Tab. 1).

Betrieb 10

Am Standort dominieren ebenfalls die triassischen Sedimentgesteine Buntsandstein, Muschelkalk und besonders Keuper. Der Mittlere Keuper bestimmt zum größten Teil das geologische Ausgangsmaterial des Betriebes, er lässt sich in Sandsteinkeuper sowie Gipskeuper unterteilen. Das Substrat ist vielfältig und variiert von Sand- bis zu Tonsteinlagen. Entsprechend vielfältig und heterogen sind die Böden auf dem Betrieb.

Betriebe 11, 12

Buntsandstein bildet das geologische Ausgangsmaterial der unmittelbar benachbarten Partnerbetriebe im Fichtelgebirge. Die daraus entstandenen Braunerden sind stellenweise von geringer Mächtigkeit und weisen einen mittleren bis hohen Steinanteil auf. Alle bayerischen Betriebe verfügen über verhältnismäßig ebene Flächen mit vergleichbarer Exposition. Diese wurden bei der Auswahl der Versuchsflächen bevorzugt, so dass in Bezug auf diese Kriterien auf allen Versuchsstandorten ähnliche Bedingungen herrschen.

Tab. 1: Bodenarten und Bodenbewertung der einzelnen Projektbetriebe

Betrieb Nr.	Höhe über NN [m]	Bodenart	(Bodenpunkte nach Bodenschätzung)
1	75	Schwach lehmiger – lehmiger Sand	25-50
2	50	Schwach lehmiger Sand	30
3	50	Schwach lehmiger Sand	30
4	56	Schwach lehmiger Sand – lehmiger Sand	22-40
5	490	Sandiger Lehm	45
6	490	Sandiger Lehm	45
7	230	Sandiger – toniger Lehm aus Kalkverwitterungsböden, viele Steine	25-75
8	250	Lehm	30-70
9	300	Toniger Lehm aus Muschelkalk	30-75
10	300	Lehmiger Sand	25-40
11	550	Schwach lehmiger Sand aus Buntsandstein	20-30
12	550	Schwach lehmiger Sand aus Buntsandstein	20-30

2.2.3 Klimatische und naturräumliche Zuordnung

Die Einordnung der Betriebsstandorte in die klimatische Gliederung nach Kontinentalität, Niederschlagsversorgung und Höheneinfluss ist aus der Karte von Endlicher und Hendl (2003) entnommen (Tab. 2). Die thermoklimatische und die pluvioklimatische Typisierung ergeben drei Typen bzw. Übergangsformen. Die brandenburgischen Betriebe sind alle gleich typisiert, während die Versuchsbetriebe in Bayern unterschiedlichen klimatischen Typen zuzuordnen sind.

Tab. 2: Einordnung der Versuchsbetriebe in die Klimatische Gliederung der Bundesrepublik Deutschland

Betrieb Nr.	Thermoklimatische Typisierung	Pluvioklimatische Typisierung
1-4	Subkontinental	niederschlagsbenachteiligt
5, 6	Subkontinental	niederschlagsnormal
7-10	Subkontinental-Submaritim	niederschlagsnormal
11, 12	Gebirgsklima	niederschlagsnormal-begünstigt

Tab. 3: Einordnung der Versuchsbetriebe in Naturräume

Betrieb Nr.	Landkreis	Gruppe der Naturräumlichen Haupteinheit
1	Uckermark	Rückland der Mecklenburgischen Seenplatte
2, 3	Märkisch Oderland	Ostbrandenburgische Platte
4	Oder-Spree	Ostbrandenburgische Platte
5, 6	Augsburg	Donau-Iller-Lech-Platten
7, 8, 9	Würzburg	Mainfränkische Platten
10	Erlangen-Höchstadt	Fränkisches Keuper-Lias-Land
11, 12	Wunsiedel	Thüringisches-Fränkisches Mittelgebirge

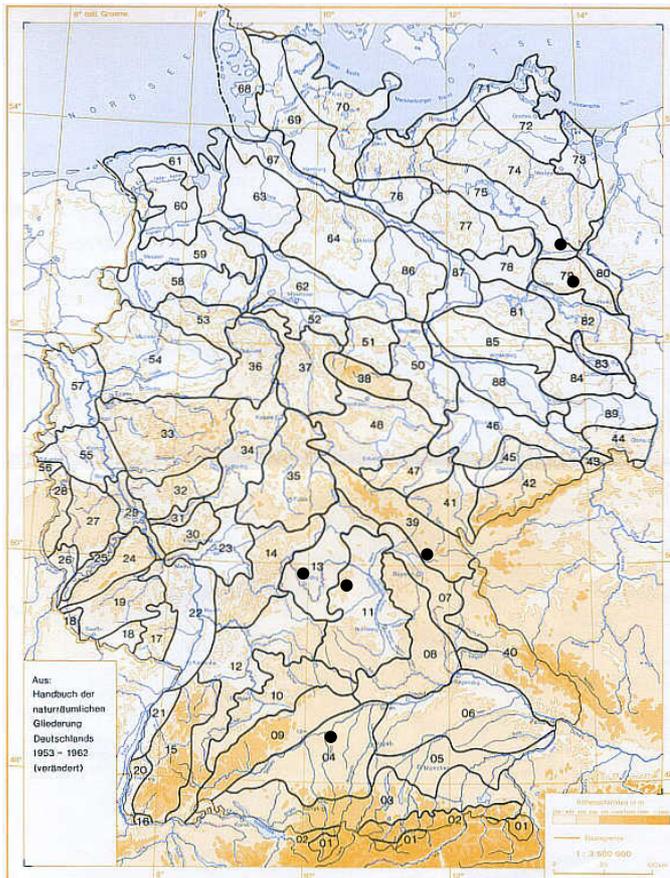


Abb. 2: Karte der naturräumlichen Haupteinheiten (www.dwd.de)

Da die Phänologie als ein Faktor des Naturraumpotenzials im klimatisch-biologischen Bereich einen ähnlichen Stellenwert wie der Boden in der physiogeographischen Betrachtung besitzt (Chen, 1994), ist die Betrachtung der Versuchstandorte unter dem Gesichtspunkt der naturräumlichen Gliederung bzw. Einordnung von grundlegender Bedeutung für die Beurteilung der Versuchsergebnisse. Die Versuchsbetriebe sind verschiedenen Naturräumen zuzuordnen (Abb. 2, Tab. 3).

Hinsichtlich der phänologischen Entwicklung der untersuchten Kulturpflanzen ist diese unterschied-

liche Einstufung in soweit von Bedeutung, dass die Unterschiede zwischen den Naturräumen ausreichend groß sind, um eine regional differenzierte Betrachtung der Versuchsergebnisse zu ermöglichen.

Der Modellbetrieb ‚Organischer Landbau Müncheberg‘ als Standort der Exaktversuche weist die gleiche naturräumliche Zuordnung wie die Betriebe zwei und drei auf.

2.2.4 Wetterdaten

Für den Standort am ZALF und den Standort im Fichtelgebirge waren Wetterstationen unmittelbar an den Versuchsflächen bzw. direkt auf dem Betrieb vorhanden. Für die anderen Standorte wurde auf die nächstgelegene, verfügbare Station des DWD zurückgegriffen:

Über den Witterungsverlauf während des Versuchszeitraumes Herbst 2004 bis Herbst 2006 lässt sich übereinstimmend für alle Standorte feststellen, dass die Temperaturen im Jahresmittel höher und die Niederschläge niedriger als im langjährigen Mittel waren (Tab. 4).

Tab. 4: Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag im Versuchszeitraum und im langjährigen Mittel

	Dreijähriges Mittel 2004 bis 2006 zu langjährigem Mittel (1992 – 2006)	
	Niederschlag [mm]	Temperatur [°C]
Braunersgrün (Fichtelgeb.)	677 (780)	7,1 (6,5)
Müncheberg	483 (531)	9,3 (8,2)
Angermünde (Wilmsdorf)	476 (515)	9,2 (9,1)
Gablingen (Augsburg)	694 (767)	8,1 (7,6)
Helmstadt (Würzburg)	619 (705)	9,6 (9,0)

Betrachtet man die einzelnen Monatswerte ausgesuchter Stationen (Müncheberg; Abb. 3, Braunesgrün; Abb. 5 und Gablingen; Abb. 6) so wird deutlich, dass Temperaturentwicklung und Niederschlagsverteilung in den jeweiligen langjährigen Mittelwerten durchaus Ähnlichkeiten aufweisen. Von Bedeutung für die Exaktversuche sind insbesondere die große Differenz der Absolutwerte im Temperaturverlauf und die deutlich geringere Niederschlagsmenge von September bis Oktober am Standort Müncheberg.

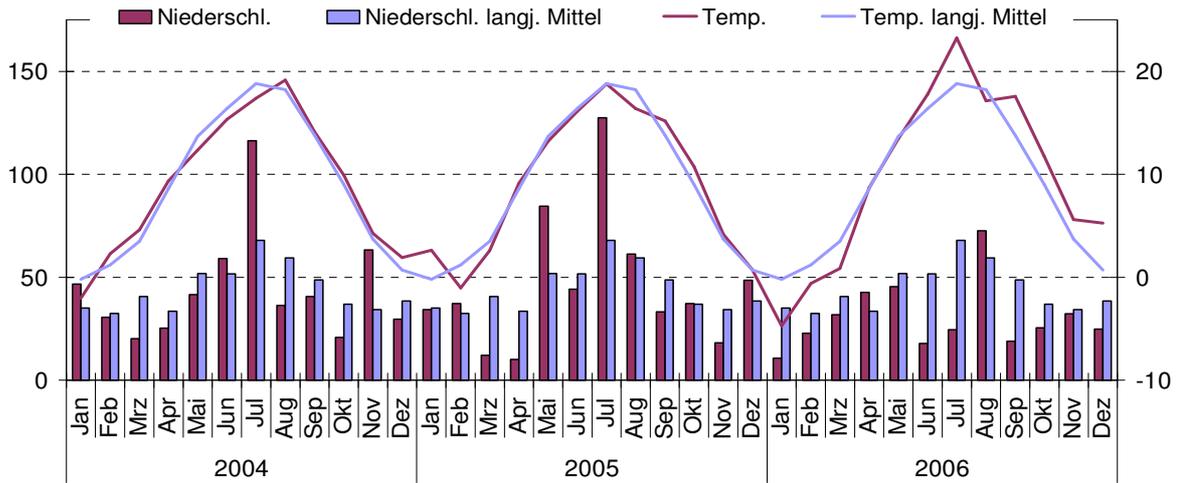


Abb. 3: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Müncheberg

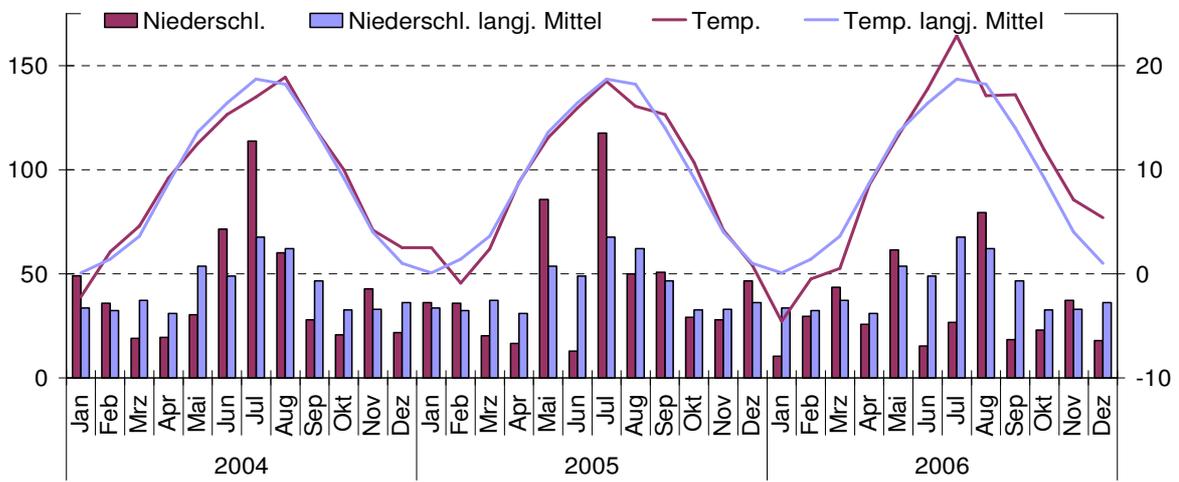


Abb. 4: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Angermünde

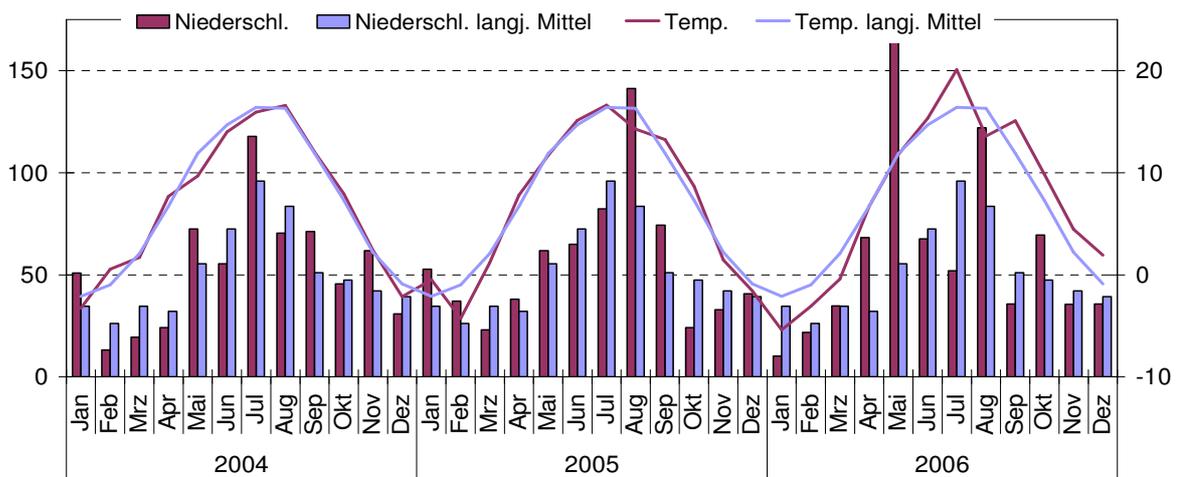


Abb. 5: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Braunersgrün

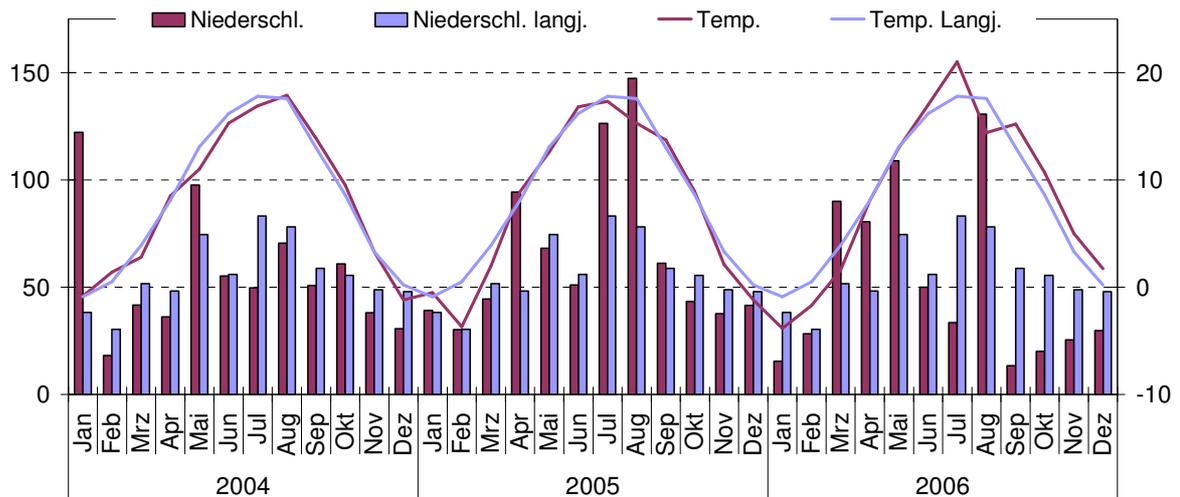


Abb. 6: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Gablingen

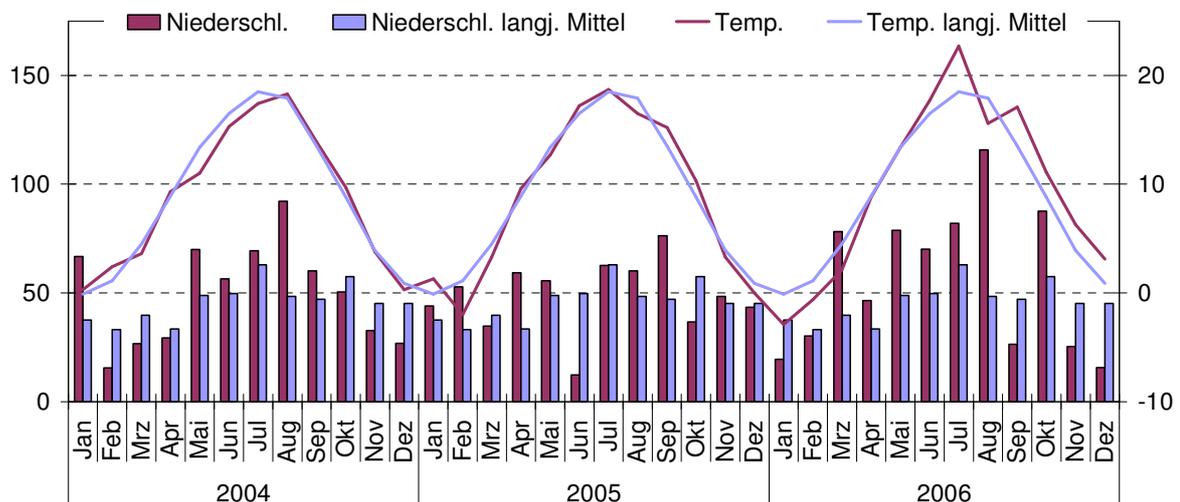


Abb. 7: Monatswerte von Niederschlag und Durchschnittstemperaturen der Station Helmstadt

2.3 Versuchsdurchführung

2.3.1 Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten

2.3.1.1 Praxisversuche

Zur Vorbereitung der Aussaat der Wintergetreide-Versuche wurden alle Partnerbetriebe jeweils vor der Aussaat besucht. Bei diesen Treffen wurden gemeinsam mit den Betriebsleitern Versuchsanlage, Aussaatparameter (Mengen, Mischungsverhältnisse, Ablagetiefen, Reihenabstände, voraussichtliches Aussaatdatum usw.) und die genaue räumliche Anlage der Versuche in den Flächen festgelegt.

Die Anlage der Versuche erfolgte im Beisein von Projektmitarbeitern.

Die Praxisversuche auf den Betrieben wurden als Langparzellenversuche in Streifenanlage ausgeführt. Für diese Anlageform sprachen insbesondere die leichte Ausführbarkeit der Versuchsanlage durch die Betriebsleiter, der vertretbare Zeitaufwand und die leichte Integrierbarkeit in die Versuchsschläge. Die Anlage entsprach auf allen Betrieben dem in Abb. 8 gezeigten Schema.

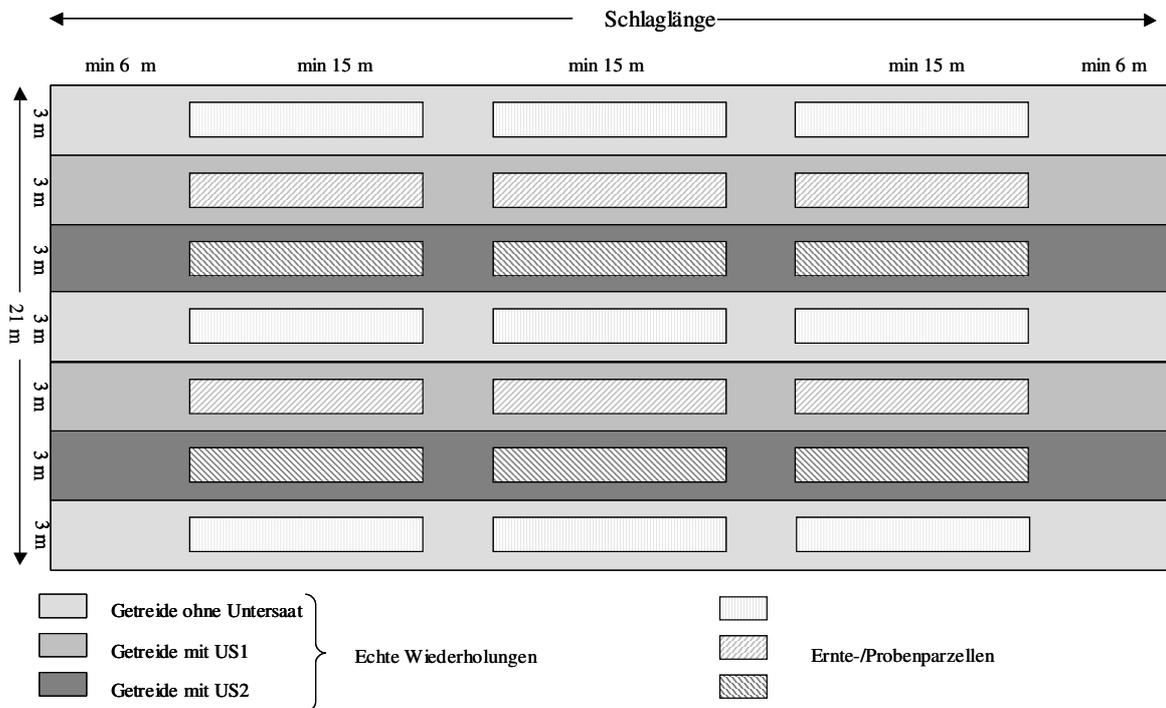


Abb. 8: Versuchsplan der Praxisversuche im Anbauverfahren 1

Es wurden insgesamt sieben Langparzellen je Versuch angelegt. Die Versuchslänge betrug mindestens 100 m und lag in der Regel über 200 m.

Im ersten Versuchsjahr (früh gesätes Wintergetreide) wurden pro Versuch drei verschiedene Beisatvarianten getestet: zwei unterschiedliche Leguminosenbeisaaten sowie ohne Beisat als Kontrolle. Im zweiten Versuchsjahr wurde in zwei zusätzlichen Parzellen die betriebsübliche Anbauvariante (i. d. R. späterer Saattermin mit einer höheren Saatstärke) der Hauptfrucht ausgesät.

Im Herbst erwiesen sich für Nieder- und Hochwild die legumen Beisaaten als eine hochattraktive Äsung, was zu teilweise großflächigem Wildverbiss führte. In der Uckermark wurden die Versuche daher bis zum Abfrieren der Leguminosen generell mit einem Wildschutzzaun umgeben. Auch auf den ZALF Versuchsflächen mussten Wildschutzmaßnahmen ergriffen werden. Der Verbiss war auf den anderen Versuchsstandorten von

minderer Stärke. Vereinzelt stark geschädigte kleinere Teilstücke wurden im Rahmen der regelmäßigen Versuchsbegehungen erfasst und von einer Beerntung ausgenommen.

Die Wintergetreidearten Winterroggen, Triticale und Winterweizen wurden auf ihre Eignung für die Anbauverfahren Frühsaat und Leguminosenbeisat geprüft. Die Verteilung der Fruchtarten auf die einzelnen Versuchsbetriebe erfolgte gemäß ihrer standörtlichen Eignung. Entsprechendes gilt für die Auswahl der legumen Saatpartner. Der Tab. 5 ist die betriebsspezifische Auswahl der Fruchtarten, deren Vorfrüchte und Saatmischungspartner zu entnehmen:

Tab. 5: Praxisversuche Wintergetreide mit legume Beisaaten

Betr. Nr.	Erntejahr	Aussaat-termin	Vorfrucht	Fruchtart	Beisatvarianten			
6	2006	16. Sept	KGR	WWE	ABO	SWI		
7	2005	24.Sept.	DIN	WWE	FER	SWI		
7	2006	26.Sept.	KGR	WWE	FER	SWI		
8	2005	08.Sept.	SKA	WWE	FER	SWI		
8	2006	19.Sept.	SKA	WWE	FER	SWI		
10	2005	26.Sept.	KGR	WWE	ABO	SWI		
10	2006	24.Sept.	KGR	WWE	ABO	SWI		
3	2005	27.Aug.	KGR	TRI	FER	BLU		
3	2006	26.Sept.	KGR	TRI	FER	BLU		
4	2005	28.Sept.	WRO	TRI	FER	BLU	PEL ^{*)}	
1	2005	2.Sept.	WRO	WRO	FER	BLU	PEL ^{*)}	SWI
1	2006	7.Sept.	WRO	WRO	FER	BLU		
2	2005	2.Sept.	WRA	WRO	FER	BLU		
2	2006	20.Sept.	WRO	WRO	FER	BLU		
5	2005	14.Sept.	WWE	WRO	ABO	SWI		
5	2006	20.Sept.	WWE	WRO	ABO	SWI		
9	2005	21.Sept.	DIN	WRO	FER	SWI		
9	2006	16.Sept.	DIN	WRO	FER	SWI		
11	2005	15.Sept.	SGE	WRO	FER	SWI		
11	2006	12.Sept.	SGE	WRO	FER	SWI		
12	2005	15.Sept.	DIN	WRO	FER	SWI		
12	2006	12.Sept.	FER	WRO	FER	SWI		

ABO = Ackerbohne	SKA = Speisekartoffel
BLU = blaue Süßlupine	SMA = Silomais
DIN = Dinkel	SWI = Sommerwicke
FER = Futtererbse	TRI = Triticale
KGR = Klee gras	WRA = Winterraps
PEL = Peluschke (Pisum sativum convar. arvense)	WRO = Winterroggen
SGE = Sommergerste	WWE = Winterweizen

Die Fröhsaattermine lagen etwa 3 Wochen vor dem regionalen bzw. betriebstypischen Normaltermin. Die Mischung des Leguminosen-Getreide-Gemenges erfolgte manuell in großen Kunststoffbehältern, die Aussaat mit der jeweiligen Betriebstechnik. Die Parzellenbreite war durch die Drillbreite auf 3 bzw. 4,5 m festgelegt. Auf dem Betrieb Gut Wilmersdorf erfolgte die Versuchsbeerntung teilweise mit dem betriebseigenen Großmähdrescher mit DGPS-Ertrags-Monitor, weshalb die Parzellenbreite auf 18 m vergrößert wurde, um einen sicheren Kerndrusch zu ermöglichen. Die Beerntung der übrigen Versuche erfolgte mit dem Parzellenmähdrescher. In Bayern führte ein spezialisiertes Dienstleistungsunternehmen und in Brandenburg die Forschungsstation Müncheberg des ZALF die Ernten durch.

2.3.1.2 Exaktversuche

Die Exaktversuche am Standort Müncheberg wurden in randomisierter Blockanlage ausgeführt. Gegenüber den Praxisversuchen wurde die Zahl der verschiedenen legumen Beisaaten ausgeweitet. Die durch Betriebs- und Beraterbefragung ermittelten, in der Praxis üblichen späteren Saattermine wurden mit höherer Saatstärke als Vergleichsvariante in die Versuche integriert (Tab. 6). Für die Aussaat wurde praxisübliche Großtechnik eingesetzt (Amazone 3000 mit Kreiselegge, aufgesattelt). Die Aussaat für beide Getreidearten erfolgte 2004 bzw. 2005 am 3. bzw. 5. September für die Fröhsaat und am 21. bzw. 23. September für die betriebsübliche Aussaat.

Tab. 6: Kulturdaten für die Aussaat der Wintergetreide-Exaktversuche

Kultur Sorte	Winterroggen	Triticale	
	Born	Modus	
Saatstärke früh	[keimf.Kö. m ⁻²]	[keimf.Kö. m ⁻²]	
spät	240	180	
	310	310	
Beisaaten (nur frühe Aussaat); [keimf. Kö. m ⁻²]	Keine Beisaat	0	
	Futtererbse	35	
	Peluschke	40	
	Sommerwicke	50	
	Blaue Süßlupine	50	

2.3.2 Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen

2.3.2.1 Praxisversuche

Aufgrund der noch nicht erreichten Praxisreife dieses Verfahrens mit noch geringer Anbausicherheit wurde 2004 und 2005 nur je ein Praxisversuch auf den Flächen des Partnerbetriebes Gut Wilmersdorf GbR angelegt. Darüber hinaus wurde nur diesem

Betrieb die Technik der Firma Väderstad zur Verfügung gestellt, die für die Versuchsdurchführung notwendig war. Diese neuartige Sätechnik wurde für das Winterrapsanbauverfahren eingesetzt, da diese erstmalig ermöglichte, unter Praxisbedingungen in einem Arbeitsgang die beiden Saatpartner in ihren Saatreihen mit jeweils angepassten Saattiefen abzulegen (Winterraps: Reihenabstand 25 cm, Saattiefe 2 cm, Saatmenge 55/75 keimfähige Körner m^{-2} Körnerleguminosen: Reihenabstand 25 cm, Saattiefe 4 cm, Saatmenge 2004/2005, 50/35 keimf. Körner m^{-2}). Hierzu wurde eine Sämaschine der Marke Väderstad Rapid 300 C, die über einen zweiteiligen Saattank verfügt, umgebaut. Die erste Reihe von Drillscharen, die normalerweise aus dem vorderen Teil des Saatgutbehälters beschickt wird, wurde deaktiviert und die dazugehörigen Zuführungsschläuche vom Saatgutbehälter auf die mittlere Drillschar-Reihe ummontiert, so dass die mittlere und hintere Reihe aus verschiedenen Teilen des Saatguttanks beschickt wurden. Da die hintere und die mittlere Reihe um eine Reihenbreite versetzt arbeiten, konnten so Leguminosen und Raps in wechselnden Reihen ausgebracht werden. Durch ein schräges Anstellen der Sämaschine konnte zusätzlich eine unterschiedliche Ablagetiefe für die mittlere und die hintere Scharreihe erreicht werden. (s. Abb. 9).



Abb. 9: Väderstad Rapid 300 C mit geteiltem Saattank

Der Versuch wurde als Langparzellenversuch entsprechend der Praxisversuche im Verfahren 1 angelegt. Im ersten Jahr konnten aufgrund eines Defektes des Sämaschinengetriebes nur vier der sieben geplanten Langparzellen angelegt werden (Raps ohne Beisat, Raps mit Erbsen, Raps mit Lupinen, Raps ohne Beisat). Die Aussaat erfolgte am 17. August 2004 und am 16. August 2005. Saatstärke und Saatgut wurden in den Praxis- und Exaktversuchen gleich gehalten.

2.3.2.2 Exaktversuche

Die Aussaat erfolgte in Müncheberg mit Kleinparzellenversuchstechnik. Im ersten Arbeitsgang wurden die Körnerleguminosen auf einen Reihenabstand von 25 cm ausgesät und unmittelbar anschließend zwischen diese Reihen der Raps mittig eingedrillt. Dieses Verfahren ermöglichte es, die verschiedenen Komponenten analog zum Praxisversuch in unterschiedlichen Tiefen abzulegen. Nach der Aussaat konnten keine Pflegemaßnahmen mehr durchgeführt werden. Im Jahr 2004 erfolgte die Aussaat am 20. August. Die Kulturdaten und Angaben zu den Faktorstufen sind in Tab. 7 wiedergegeben.

Tab. 7: Kulturdaten für die Aussaat des Winterraps-Exaktversuchs im Jahr 2004

Saatpartner	Sorte	Saatstärke [keimf. Kö. m ⁻²]
Winterraps mit Beisaat	OASE	55
ohne Beisaat		75
Erbse	Harnas (halbblattlos)	35
Blaue Süßlupine	Bora (Verzweigungstyp)	35

Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit sechs Wiederholungen angelegt. Aufgrund der lang anhaltenden Trockenheit bei hohen Temperaturen nach der Aussaat entwickelte sich der Bestand nur sehr zögerlich und verunkrautete stark. Darüber hinaus wurden die Bestände durch Auswinterungs- und Fraßschäden zusätzlich soweit geschädigt, dass der Versuch vor der Beerntung im Mai 2005 abgebrochen werden musste, um die Fläche nicht durch eine extreme Verunkrautung für Folgeversuche unbrauchbar werden zu lassen (s. Ergebnisse). Das Versuchsdesign wurde überarbeitet und der Versuch im Folgejahr erweitert (Tab 8). Die Aussaat im Jahr 2005 wurde am 19. August vorgenommen.

Tab. 8: Kulturdaten für die Aussaat des Winterraps-Exaktversuchs im Jahr 2005

Saatpartner	Sorte	Saatstärke [keimf. Kö m ⁻²]
Winterraps mit Beisaat	OASE	55
ohne Beisaat		70
Serradella	288	290
Perserklee	Ciro	490
Erbse	Harnas (halbblattlos)	35
Blaue Süßlupine	Bora (Verzweigungstyp)	50

Aufgrund von starkem Wildverbiss im Keimblattstadium an der Süßlupine wurde diese Anfang September auf sämtlichen Parzellen dieser Faktorstufe nachgesät.

2.3.3 Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras und Klee grasuntersaaten

2.3.3.1 Praxisversuche

2005 und 2006 wurden Praxisversuche zum Anbauverfahren 2 beim Projektpartner Gut Wilmersdorf durchgeführt. Die Versuche wurden als Streifenanlagen entsprechend dem Versuchsdesign im Anbauverfahren 1 ausgeführt. Es wurden sieben Langparzellen angelegt. Da die Beerntung in Wilmersdorf mit dem zum Betrieb gehörenden Mähdrescher mit DGPS-Ertragsmonitor erfolgte, war es notwendig, die Parzellenbreite für einen Kerndrusch in den Langparzellen anzupassen. Die Parzellen hatten eine Breite von 18 m, die Versuchslänge betrug etwa 250 m. Im Vergleich zum Exaktversuch in Müncheberg verfügte der Praxisversuch in Wilmersdorf über eine reduzierte Anzahl an Faktorstufen. Untersucht wurde die Hauptkultur Lupinen, als Untersaaten wurden Deutsches Weidelgras und ein Gemisch aus Deutschem Weidelgras und Weißklee wie im Exaktversuch eingesetzt. Um ein praxisnahes Untersaatverfahren zu testen, wurden in diesem Versuch die Untersaaten mittels eines umgebauten pneumatischen Exaktdüngerstreuers mit Querverteiler während der letzten Striegelmaßnahme ausgebracht. Der Streuer befand sich im Frontanbau des für die Striegelarbeit eingesetzten Schleppers, so dass die vor dem Schlepper ausgestreute Untersaat im gleichen Arbeitsgang eingestriegelt werden konnte.

Auf den Betrieben 4, 6 und 12 erfolgte in 2005 eine Aussaat von Erbsen mit Gras und Klee grasuntersaaten. Die Untersaaten wurden bei einer zweiten Überfahrt mit den betriebseigenen Drillmaschinen auf den Flächen ausgebracht. Es wurden Langparzellen mit drei Saatvarianten (Leguminose ohne Untersaat, mit Grasuntersaat und mit Klee grasuntersaat) angelegt.

2.3.3.2 Exaktversuche

Die Aussaat der Körnerleguminosen mit Klee grasuntersaaten erfolgte am 01.04.2004 auf den Versuchsflächen des ZALF in Müncheberg. Die in den Versuch mit einbezogenen Versuchsvarianten für die Fruchtarten Erbsen und Lupinen sind in Tab 9 dargestellt.

Die Aussaat erfolgte mit praxisüblicher Technik (Amazone 3000 mit Kreiselegge, aufgesattelt) in zwei Arbeitsgängen: am ersten Tag die Hauptkultur und am zweiten Tag die Untersaat (flacher und ohne Einsatz der Kreiselegge). Dieser Exaktversuch wurde 2005 und 2006 im gleichen Parzellenumfang wiederholt. Da sich die im ersten Versuchsjahr gewählten Grasarten unter den Witterungsbedingungen des warmen und niederschlagsreichen Sommers (vgl. Abb. 4) in den Lupinen als zu konkurrenzstark erwiesen, wurde 2006

statt Knaulgras (*Dactylis glomerata*) der ‚Härtlicher Schwingel‘ (*Festuca ovina duriuscula*) als schwachwüchsiger Grasart eingesetzt. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit den zwei Hauptfruchtarten mit je fünf Saatvarianten in fünf Blöcken angelegt. Die Kernparzellengröße betrug 2 auf 12 m.

Tab. 9: Versuchsvarianten im Exaktversuch zum Anbauverfahren 2

Kultur	Erbse	Blaue Süßlupine
Sorte	Harnas	Bora
Saatstärke	90 keimf. Kö. m ⁻²	125 keimf. Kö. m ⁻²
Untersaatvarianten	Keine Untersaat Deutsches Weidelgras, Sorte Pedro, (15 kg/ha) Knaulgras, Sorte Lidaglo, (10 kg/ha) Deutsches Weidelgras, Sorte Pedro + Weißklee Sorte Lirepa (12+4 kg/ha) Knaulgras, Sorte Lidaglo + Weißklee Sorte Lirepa (9+3 kg/ha)	

2.4 Untersuchungen

2.4.1 Bodenanalysen

Je nach Bodenverhältnissen und Freigabe durch den Munitionsräumdienst des Bundes wurden die Proben zur N_{min}-Bestimmung bis 60 bzw. 90 cm entnommen. Grabungen von mehr als 60 cm Tiefe sind in Brandenburg per Landesgesetz erst nach Freigabe der Grabungsstelle durch den Munitionsräumdienst zulässig. An Krumenproben wurden folgende bodenchemische Parameter erfasst: pH-Wert, N_t, C_t; P_{DL}, K_{DL} und Mg_{DL}.

2.4.2 Pflanzenuntersuchungen

2.4.2.1 Bestandesentwicklung und oberirdischer Aufwuchs

Die Bestandesentwicklung wurde anhand folgender Parameter erfasst:

- Feldaufgang
- Entwicklungsstadien nach BBCH-Code
- Deckungsgrad der Kulturpflanzen
- Deckungsgrad der Untersaat
- Deckungsgrad der Unkräuter
- Mittlere Wuchshöhe der Kulturpflanzen
- Mittlere Wuchshöhe der Untersaat
- Mittlere Wuchshöhe des Unkrautes

In den Exaktversuchen erfolgte die Bonitur des Pflanzenbestandes je zweimal pro Probenparzelle, in den Praxisversuchen drei- bis fünfmal pro Langparzelle. Die Erfassung des Deckungsgrades erfolgte durch visuelle Bonituren nach Ujvarosi (1973). Zum Ende der Vegetationsperiode im Herbst, zum Beginn der Blüte und zur Ernte wurde von allen Fruchtarten der gesamte oberirdische Aufwuchs ermittelt und die N-Mengen getrennt nach Hauptfrucht, Untersaat und Unkraut bestimmt.

2.4.2.2 Erntegut

Die Ertragsermittlung bei den Exaktversuchen erfolgte sowohl durch Handschnitte als auch durch Parzellenmähdusch. Zur Bestimmung des Korn-Stroh-Verhältnisses wurden Korn und Stroh geerntet und auf die Inhaltsstoffe N, P und K untersucht. Einzelne Getreideproben wurden zur Ermittlung der Eiweiß- und Klebergehalte sowie des Sedimentationswertes an ein zertifiziertes Labor weitergegeben. Außerdem wurden die Qualitätsparameter TKM und Siebsortierung erfasst.

2.5 Verwendete Software

Zur Ertragsdatengewinnung aus den Datenfiles der Onlineertragserfassung wurde die Software Agromap verwendet

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS 12.0 und SAS 9.1

Für die anschließende varianzanalytische Auswertung wurde die Beschaffenheit der Datenqualität hinsichtlich Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. War die Normalverteilung nicht gegeben, wurden nichtparametrische Tests (Kruskal-Wallis) eingesetzt. Als Post Hoc Test wurde der Tukey HSD Test verwendet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten

3.1.1 Praxisversuche zu Winterweizen

Ziel der Winterweizenversuche mit abfrierenden Körnerleguminosen war es, mit einer Vorverlagerung des Saatzeitpunktes den legumen Beisaaten eine längere Wachstumsphase und damit N₂-Fixierung zu ermöglichen und bei gleichzeitig angepasster, das heißt reduzierter Aussaatstärke, die Anbausicherheit von Winterweizen bei gleichbleibender oder verbesserter Qualität zu erhöhen.

Zu Winterweizen wurden ausschließlich auf den Praxisbetrieben mit besseren Böden (> 45 Bodenpunkte) Versuche in Bayern durchgeführt (siehe Tab. 5). Insgesamt wurden acht Versuche angelegt. Davon konnten vier mit dem Parzellenmähdrescher beerntet werden (2005: 1 Versuch; 2006: 3 Versuche). Bei weiteren drei Winterweizenversuchen in 2005 konnte kein Parzellendrusch durchgeführt werden. Hauptursache war parasitäres Lager, das bei den Frühsaatvarianten ab Mitte Juni auftrat und bis zur Ernte teils die gesamte Parzellenfläche befiel.

Bonituren der betreffenden Versuchspartellen ergaben starken Befall mit verschiedenen Halmbasierkrankungen, insbesondere *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* und *Pseudocercospora herpotrichoides*. Sie sind als eine Hauptursache für die ungenügende Standfestigkeit der früh gesäten Bestände anzusehen. In den betriebsüblich später gesäten Versuchspartellen sowie auch in den anderen Weizenbeständen auf den Praxisbetrieben kam es nicht oder nur zu geringen (<5%) Schäden durch Lagern. Gutteridge und Hornby (2003) fanden in drei von fünf Versuchsjahren einen statistisch signifikanten Einfluss des Saatzeitpunktes auf den Infektionsgrad von Weizenbeständen mit einer höheren Infektionsrate mit *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* bei früh gesäten Pflanzen.

Tischner und Bauer (2000) weisen andererseits darauf hin, dass im Zeitraum von 1995-2000 in Bayern an der Mehrzahl der von der Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau in einem Monitoring-Programm untersuchten Weizenschläge kein einziges Mal die Bekämpfungsschwelle von 20 % Befallshäufigkeit für den Erreger des parasitären Halmbruchs erreicht wurde. Einen im Vergleich zum Landesmittel erhöhten Befallsdruck fanden sie allerdings in den Regionen Unterfranken und Schwaben, in der zwei der vier Weizen anbauenden Betriebe des Projektes liegen (7, 8).

Im Herbst des Jahres 2005 wurden die Weizenpflanzen in den Frühsaatpartellen außerdem stellenweise stark durch das Gelbverzweigungsvirus geschädigt. Betroffen waren alle vier

Versuche. Geisler (1988) berichtet über beträchtliche Ertragseinbußen bereits bei einer nur mäßigen Infektion des Bestandes.

Eine zweite Ursache für die ungenügende Standfestigkeit der früh gesäten Weizenpflanzen war die zum Teil witterungsbedingte sehr hohe Stickstoffversorgung der Bestände aus den Vorfruchtresiduen. So wiesen alle Frühsaatvarianten im Versuch von Betrieb 8 zu Vegetationsende 80-90 kg N_{min} in der Bodenschicht 0-60 cm auf. Dies führte bei den Frühsaaten zu sehr üppiger Bestandesentwicklung im Herbst und infolgedessen zu erhöhter Halmzahl bzw. -länge mit erhöhter Krankheitsanfälligkeit. Timmermann (2006) und Bachinger et al. (1999) berichten über eine Verschiebung des Korn-Strohverhältnisses zugunsten des Strohs bei Frühsaaten von Winterweizen im ökologischen Landbau. Timmermann (2006) beobachtete ebenfalls im Rahmen von Saatzeitversuchen 2004/05 gerade auf besseren Böden bei Frühsaaten das Auftreten von Lager. Auf leichteren Böden bei geringem Ertragsniveau 2005/06 schnitten die Frühsaaten ertraglich besser und ohne das Auftreten von Lager ab.

Bei den Versuchen, in denen durch großflächiges Lager keine Kleinparzellenbeerntung mehr möglich war, wurde eine Erhebung der Erntemengen mit dem Betriebsmähdrescher durchgeführt. So wurden auf Betrieb 8 zumindest die Frühsaat-Parzellen und die Spätsaat-Parzellen gesondert beerntet (Tab. 10). Beide Varianten wurden separat gedroschen und die Erntemengen getrennt auf einer geeichten, stationären Waage gewogen. Der Versuch entsprach damit in seiner Ausprägung einem Tastversuch, dem nur eine geringe Aussagekraft zugesprochen werden kann (Stein-Bachinger et al., 2000). Dennoch können deutlich auftretende Unterschiede als Wirkungen der Versuchsvarianten interpretiert werden.

Die erheblichen Differenzen in Ertrag und Qualität zwischen früh und spät gesättem Weizen zeigten, dass an diesem Standort für das Jahr 2005 die frühe Saat von Weizen unvorteilhaft war. Der im Herbst weniger üppig entwickelte Spätsaatbestand konnte die bereits erwähnte hohe N-Versorgung besser in Ertrag umsetzen. Mit 71 dt ha⁻¹ (Tab. 10) erreichte die in der beschreibenden Sortenliste mit sehr geringer Standfestigkeit eingestufte Sorte Achat unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus (Verzicht auf Halmstabilisatoren) die Grenze ihrer ertraglichen Leistungsfähigkeit.

Tab. 10: Ernteparameter Winterweizen 2005, getrennt nach früher und später (betriebsüblicher Aussaat, Betrieb 8)

Saatzeitpunkt	Ertrag [dt ha ⁻¹]	Protein [%]	Feuchtkleber [%]	Kleberindex	Sediment. -wert [Eh]	Fallzahl [s]
Früh (8.Sept.)	42	13,9	30,8	72	47	71
Spät (30.Sept.) ^{*)}	71	13,2	27,1	91	57	245

^{*)} Betriebsüblicher Aussaattermin zu beiden Seiten der Frühsaat/Beisaatvarianten

Die Beerntung der Fläche konnte für beide Teilflächen nur zum gleichen Termin erfolgen, obwohl der früh gesäte Weizen nach Beobachtung des Betriebsleiters etwa eine Woche früher druschreif war. Eine frühere Beerntung wurde aber durch starke Regenfälle verhindert, wodurch es zu Auswuchsschäden und infolgedessen zu einer für Backweizen deutlich zu geringen Fallzahl des früh gesäten Weizens kam. Dieser Zusammenhang wurde bereits von King und Chadim (1983) beschrieben. Bis auf den Sedimentationswert schnitt der Frühsaatweizen bei den weiteren Qualitätsparametern besser ab, da optimale Kleberindices zwischen 70 und 85 liegen.

Im einzigen in 2005 kleinparzellenweise beernteten Versuch erbrachte die Saatvariante ‚Beisaat mit Futtererbse‘ einen um 2 dt ha⁻¹ tendenziell höheren Ertrag als die Variante ‚ohne Beisaat‘ (Tab. 11). Dagegen erreichte die Variante mit ‚Beisaat mit Sommerwicke‘ keinen gesicherten Mehrertrag. Aufgrund der Ergebnisse von 2005 wurden ab 2006 Spätsaatvarianten in die Praxisversuche integriert.

Die Ergebnisse sämtlicher mit Parzellendrusch beernteten Versuche sind in Tab. 11 wiedergegeben. Wie schon 2005 bei Betrieb 7 erbrachte in zwei der drei Versuche eine der Beisaatvarianten im Vergleich zur Kontrollvariante ohne Beisaat einen signifikanten Mehrertrag. Im Gegensatz zu 2005 Betrieb 7 erbrachte die Variante mit ‚Beisaat mit Sommerwicke‘ auf den Betrieben 8 und 10 signifikant höhere Erträge. Wie auch bei Timmermann (2006) ergaben sich im Erntejahr 2006 zwischen früh und spät gesäten Weizenvarianten keine signifikanten Ertragsunterschiede. Wenn man die qualitativen Aufwuchsbonituren vor Winter (Tab. 12) bei der Erklärung der Ertragseffekte in den einzelnen Versuchen (Tab. 11) in Betracht zieht, wird deutlich, dass die z. T. deutlich unterschiedlich entwickelten legumen Beisaaten eine Erklärung für die verschiedenen Ertragseffekte bei den einzelnen Versuchen liefern.

Zur genaueren Untersuchung des Qualitätseinflusses der einzelnen Saatvarianten wurde 2006 beim Erntegut von Betrieb 6 und 10 parzellenweise der Rohproteingehalt ermittelt. Darüber hinaus wurde an den Ernteproben aller Betriebe eine Bestimmung der Tausend-kornmasse (TKM) vorgenommen (Tab. 11). Bei den TKM-Werten ergaben sich auf Betrieb 6 und 8 bei den Spätsaaten die geringsten Werte, wobei nur auf Betrieb 8 die Beisaatvarianten besser abschnitten. Dagegen erreichte bei Rohprotein die Spätsaatvariante bei Betrieb 10 ein signifikant besseres Abschneiden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von Timmermann (2006).

Tab. 11: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterweizen bei verschiedenen Saatvarianten der Praxisversuche Bayern 2005 und 2006

Betriebsnr.:	7		6			8		10		
Beisaat-variante	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	RP [%]	TKM [g]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	RP [%]	TKM [g]
SWi ¹⁾	18,9 b	38,0	44,3	11,7	42,7 b	57,6 b	46,1 b	61,0 b	11,8 a	45,9
ABO/FER ²⁾	20,4 b	37,2	45,1	11,7	43,5 b	54,0 ab	45,7 b	57,2 b	12,3 ab	44,5
ohne	18,6 a	38,5	45,4	11,7	42,2 b	50,2 a	44,1 ab	55,3 a	11,7 a	45,3
Spät			45,5	12,0	37,3 a	52,8 ab	42,5 a	56,8 ab	12,7 b	43,0
HSD ($\alpha=0,05$) ($\alpha=0,1$)	n.s. 1,8	n.s.	n.s.	n.s.	1,9	5,5	2,6	5,4	0,8	n.s.

1) SoWi = Sommerwicke ; 2) ABO = Ackerbohne (Betrieb 6 u. 10) FER = Futtererbse (Betrieb 8);

Tab. 12: Aufwuchsbonitur ^{*)} der legumen Beisaaten in Winterweizen der Versuche 2005 und 2006 von Betrieb 6, 8 u. 10

Erntejahr :	2005		2006		2005		2006		2006	
Betriebsnr.:	7		6		8		8		10	
	SoWi	0	SoWi	0	SoWi	0	SoWi	++	SoWi	+++
	FER	++	ABO	+/0	FER	+	FER	0	ABO	+

^{*)} Boniturschema: - = kaum entwickelt; 0 = schlecht entwickelt; + = entwickelt; ++ = gut entwickelt; +++ = sehr gut entwickelt; Die Boniturnoten geben den visuellen Gesamteindruck aus Bestandesdichte und -höhe des Projektdurchführenden bei einer mehrtägigen Rundreise wieder.

Die vorliegenden zweijährigen Versuchsergebnisse lassen noch keine abschließende Bewertung zu, jedoch können folgende Tendenzen abgeleitet werden:

Eine Vorzüglichkeit des Verfahrens ‚Winterweizen-Frühsaat mit legumen Beisaaten‘ gegenüber ‚Frühsaat ohne legume Beisaaten‘ lässt sich bei gut entwickelten Beisaaten erkennen. Das deutet darauf hin, dass gut entwickelte Beisaaten durch eine höhere N₂-Fixierung den Weizenbeständen im Frühjahr eine ertragsrelevant bessere N-Versorgung zur Verfügung stellen konnten. Somit können auch in Jahren mit einem besseren Abschneiden späterer Saattermine, bei Frühsaaten durch legume Beisaaten teilweise Ertrags- und Qualitätseinbußen verhindert werden. So zeigten sich 2006 bei den Beisaaten gegenüber den betriebsüblichen späten Aussaatterminen kaum Ertrags- bzw. Qualitätseinbußen.

Folgende Vorteile sprechen für das Verfahren: Die zeitliche Flexibilisierung des Aussaattermins und ein deutlich verbesserter Erosionsschutz (Wind- und Wassererosion) im Herbst und im zeitigen Frühjahr, da mit Frühsaaten auch bei Weizen Deckungsgrade über 50 % sicher zu erreichen sind, die nach Frielinghaus et al. (1997) für einen sicheren

Erosionsschutz notwendig sind. Durch die verbesserte N-Aufnahme vor dem Winter sind auf leichteren Böden geringere N-Austräge zu erwarten.

Innerhalb des Verfahrens bietet sich noch eine Reihe von Verbesserungsmöglichkeiten, mit denen bisher erkannten Schwächen begegnet werden kann. Eine gezielte Auswahl von besonders standfesten und resistenten Sorten gerade für bessere Böden ist bei Fröhsaaten im Weizen unbedingt zu empfehlen. Timmermann (2006) findet deutliche Effekte der Sorte auf die Neigung zu Lager bei Fröhsaaten in Weizen. U.a. empfiehlt die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg., 2007) deshalb, für bessere Standorte allgemein den Einsatz standfesterer Sorten zu bevorzugen.

Möglichkeiten, das Verfahren weiter zu verbessern, bieten sich im Bereich der Aussaatstärken und der gewählten Beisaaten sowie hinsichtlich des Aussaattermins und der Aussaattechnik noch an. Von Landwirten angeregt wurden unter anderem eine weitere Reduzierung der Saatstärke der Hauptfrucht sowie ein Abmulchen von besonders wüchsigen Beständen im Herbst kurz vor Vegetationsende. Auf den Problemkreis „Leguminosenmüdigkeit“ wird in der zusammenfassenden Diskussion eingegangen.

3.1.2 Praxisversuche zu Winterroggen und Triticale

Wie schon wiederholt gezeigt (Bachinger und Stein-Bachinger, 2000; Pauly und Bachinger, 1997), kann eine Saatzeitverfröhung bei Winterroggen im Gegensatz zu Winterweizen unter den klimatischen Bedingungen Brandenburgs zu deutlichen Ertragssteigerungen führen. Die längere Wachstumsperiode vor Winter bedingt eine deutlich stärkere Biomasseentwicklung, die zum einen durch eine bessere Ausnutzung der N-Mineralisation das Risiko von N-Austrägen reduziert und zum anderen durch schneller erreichte und deutlich höhere Deckungsgrade einen effektiven Erosionsschutz gewährleistet.

Der Hauptuntersuchungsschwerpunkt der Praxis- wie auch der Exaktversuche zu Winterroggen und Triticale war, inwieweit abfrierende Körnerleguminosen durch eine zusätzliche N-Bindung und Biomassebildung den positiven Ertragseffekt der Fröhsaaten verstärken können.

Dazu wurden in den Jahren 2004 und 2005 in Brandenburg und Bayern Praxisversuche sowie auf den Versuchsflächen des Modellbetriebes ‚Organischer Landbau Müncheberg‘ Exaktversuche angelegt. Sowohl diese Exaktversuche als auch die Praxisversuche in Bayern enthielten im zweiten Versuchsjahr 2005/06 zusätzlich zu den Beisaatvarianten die Differenzierung in Fröhsaat (mit/ohne Beisaaten) und Spätsaat.

In Tab. 13 und Tab. 14 sind die Triticale- und Winterroggenversuche in Brandenburg 2004/05 und 2005/06 dargestellt. Durch die legumen Beisaaten ergaben sich keinerlei Ertrags erhöhungen. Bei Triticale zeigten sich allerdings an den Qualitätsparametern des

Erntegutes wie Rohproteingehalt oder TKM keine positiven Einflüsse der Beisaatvarianten. Auch gut entwickelte Beisaaten (Tab. 15) bewirkten keinen positiven Ertragseffekt.

Tab. 13: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Triticale bei verschiedenen Beisaatvarianten; Praxisversuche Brandenburg 2005-2006

Erntejahr:	2005		2005			2006		
Betriebsnr.	4		3			3		
Aussaattermin	28.Sept.		27.Aug.			26.Sept.		
Beisaatvariante	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	RP [%]	TKM [g]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	RP [%]	TKM [g]
ohne	11,9	34,9	35,3	8,9	37,7 ab	18,5	8,7 a	36,1
BLU	11,9	30,9	37,2	8,6	38,3 b	20,7	9,3 b	36,3
ERB	15,4	34,7	35,5	8,8	36,0 a	19,5	9,1 ab	37,3
PEL	13,9	32,0						
HSD ($\alpha=0,05$)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,68	n.s.	n.s.	n.s.
($\alpha=0,1$)							0,08	

Tab. 14: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterroggen bei verschiedenen Beisaatvarianten; Praxisversuche Brandenburg 2005-2006

Erntejahr:	2005			2006		
Betriebsnr.:	1	2		1	2	
	2.Sept.	2.Sept.		7.Sept.	20.Sept.	
Beisaatvariante	Ertrag [dt ha ⁻¹]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]	TM ^{*)} [dt ha ⁻¹]	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]
ohne	31,2	25,1	26,1	84,9	32,1	28,3
BLU	35,3	22,7	26,5	85,9	32,6	27,7
ERB	32,7	21,9	26,0	81,6	33,2	27,8
PEL	37,3			78,7		
SWI	29,6			84,9		
HSD ($\alpha=0,05$)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^{*)} Trockenmasse des Grünschnittes vom 6. Juni 06; Da zu diesem Termin keine Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen war, wurde auf eine Druschernte verzichtet.

Bei der blauen Süßlupine zeigte sich vor allem an den Feldrändern, wie schon in den Winterrapsversuchen, bei dieser Fruchtart das Problem des selektiven Wildverbisses, auf das später noch näher eingegangen wird. Ohne dieses Problem wäre u. U. ein deutlich besseres Abschneiden dieser Variante möglich gewesen. Die in Tab. 15 dargestellten Aufwuchsbonituren der einzelnen Beisaatvarianten spiegeln dieses Problem durchgehend wider.

Tab. 15: Aufwuchsbonitur der legumen Beisaaten, Winterroggen/Triticale, Praxisversuche Brandenburg 2005-2006;

Betriebsnr	1	1	2	2	3	3	4
Erntejahr	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005
Aussaattermin	2.Sept.	7.Sept.	2.Sept.	20.Sept.	27.Aug.	26.Sept.	28.Sept.
Hauptfrucht	WRO	WRO	WRO	WRO	TRI	TRI	TRI
legume Beisaaten	FER	FER	FER	FER	FER	FER	FER
	BLU	BLU	BLU	BLU	BLU	BLU	BLU
	PEL	PEL					PEL
	SWI	SWI					
Aufwuchs- bonitur *)	+	+0	+	0	+	0	+
	0	0	0	0	0	0	-
	++	++					+
	+	+					

Boniturschema: - = kaum entwickelt; 0 = schlecht entwickelt; + = entwickelt; ++ = gut entwickelt; +++ = sehr gut entwickelt; Die Boniturnoten geben den visuellen Gesamteindruck aus Bestandesdichte und -höhe des Projektdurchführenden bei einer mehrtägigen Rundreise wieder.

Im Gegensatz zu den Brandenburger Praxisversuchen zeigten sich bei der Hälfte der in Bayern in 2005 beernteten Versuchen bei den Varianten mit legumen Beisaaten signifikant höhere Erträge (Tab. 16). Darüber hinaus war bei einem weiteren Versuch die TKM bei der Beisaatvariante mit Erbse signifikant erhöht. Ein vergleichbarer positiver Ertragseffekt trat 2006, wenn auch nur tendenziell ($\alpha = 0,1$), bei Betrieb 11 auf (Tab. 17). In diesem Versuch war es den Frühsaatvarianten mit Beisaat allerdings nur möglich, die Ertragsreduktion der Saatzeitverfrühung zu kompensieren.

Tab. 16: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte von Winterroggen bei verschiedenen Beisaatvarianten, Praxisversuche Bayern 2005

Betriebsnr.	5		9		11		12	
Aussaattermin	14.Sept.		21.Sept.		15.Sept.		15.Sept.	
Beisaat- variante	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]						
ABO*) / ERB	47,6 b	26,9	30,4 b	30,4	28,4	33,2 b	17,2	17,2
SWI	44,8 b	26,6	30,5 b	30,5	30,4	31,1 a	19,7	19,7
ohne	37,3 a	27,2	27,6 a	27,6	27,5	31,1 a	18,2	18,2
HSD ($\alpha = 0,05$)	4,8	n.s.	1,8	n.s.	n.s.	1,79	n.s.	n.s.

*) ABO bei Betrieb 5

Tab. 17: Winterroggen Praxisversuche Bayern 2006: Erträge, Rohproteingehalte und TKM-Werte der verschiedenen Beisaatvarianten

Betriebsnr.	5		9		11		12	
Aussaattermin	20.Sept.		16.Sept.		12.Sept.		12.Sept.	
Beisaatvariante	Ertrag [dt ha ⁻¹]	TKM [g]						
Früh, ABO/ERB	37,1	30,9	41,2	29,6	27,9 b	31,4 a	42,9	32,4
Früh, SWI	34,3	30,5	41,1	29,4	28,6 b	31,3 a	39,0	31,3
Früh, ohne	36,0	30,6	39,5	30,5	22,9 a	30,8 a	42,0	32,4
spät *)	36,0	31,6	37,3	29,8	30,2 b	33,9 b	37,4	31,6
HSD ($\alpha = 0,05 / 0,1^*$)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	5,0 *	1,89	n.s.	n.s.

*) 3 Wo. später was den regional/betriebsüblichen Termin entspricht

Tab. 18: Winterroggen Praxisversuche Bayern 2005 und 2006; Aufwuchsbonitur der legumen Beisaaten

BetriebsNr	5		9		11		12	
Erntejahr	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Fruchtart	WRO	WRO	WRO	WRO	WRO	WRO	WRO	WRO
Aussaattermin	14.Sept.	20.Sept.	21.Sept.	16.Sept.	15.Sept.	12.Sept.	15.Sept.	12.Sept.
legume Beisaaten	ABO	ABO	FER	FER	FER	FER	FER	FER
	SWI	SWI	SWI	SWI	SWI	SWI	SWI	SWI
Aufwuchsbonitur *)	+++ +	++ 0/-	++ +	+ +	++ 0	0/- +/0	0 ++	+ +

Boniturschema: - = kaum entwickelt; 0 = schlecht entwickelt; + = entwickelt; ++ = gut entwickelt; +++ = sehr gut entwickelt; Die Boniturnoten geben den visuellen Gesamteindruck aus Bestandesdichte und -höhe des Projektdurchführenden bei einer mehrtägigen Rundreise wieder

Bedingt durch die Mittelgebirgslage dieses Betriebes ist davon auszugehen, dass die Frühsaaten in dem Winter 2005/06 stärker durch Schneeschimmel beschädigt wurden als die Spätsaat. Deshalb dürfte der lang anhaltende Winter 2005/06 dafür verantwortlich sein, dass sich keine positiven Ertragseffekte bei Frühsaaten zur Ernte 2006 zeigten. Ähnliches konnte in den Exaktversuchen in Müncheberg beobachtet werden, auf deren Ergebnisse im Folgenden näher eingegangen wird. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Aufwuchsbonituren (Tab. 18), zeigen sich bei allen Versuchen mit positiven Resultaten gut entwickelte Beisaatbestände. Die damit verbundene höhere N-Menge in den Beisaatbiomassen dürfte zu einer verbesserten N-Versorgung im Frühjahr beigetragen haben.

3.1.3 Exaktversuche zu Triticale und Winterroggen

3.1.3.1 Entwicklung der Triticalebestände vor Winter

Der Aufwuchs der Triticale bis zur Vegetationsruhe verlief in den Anbaujahren 2004/2005 und 2005/2006 sehr unterschiedlich. Während der Bestand im Herbst 2004 nur mäßig entwickelt in den Winter ging, waren im Jahr 2005 von der Herbstaussaat bis zur Winterruhe die Wachstumsbedingungen wesentlich günstiger. Während die Triticale im November 2004 nur Deckungsgrade bis 15% erreichte und die späte Saat sogar nur 5%, zeigte im Herbst 2005 selbst die Spätsaat der Triticale schon zu einem etwas früheren Boniturtermin sogar einen Deckungsgrad über 60% (Tab. 19). Auch die Entwicklung von Beisaat und Unkraut verlief analog. Nur die Blaue Lupine konnte, mitbedingt durch Wildverbiss, in beiden Jahren keinen höheren Deckungsgrad als 5% erreichen. Die Unterschiede zwischen beiden Jahren zeigten sich analog auch in den Aufwüchsen vor Winter (Tab 20)

Tab. 19: Deckungsgrade von Kultur, Beisaat und Unkräutern zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005. Triticale, Versuchsstandort Müncheberg

Boniturdatum: Variante	1.11.2004			23.10.2005		
	Kultur	Beisaat	Unkraut	Kultur	Beisaat	Unkraut
ohne Beisaat, früh	12		2	69		15
Blaue Lupine	15	4	2	63	5	13
Erbse	10	2	3	66	23	8
Peluschke	13	12	2	66	33	7
Sommerwicke	13	4	2	63	53	8
späte Saat	5		1	66		6

Tab. 20: Aufwuchs von Kultur und Beisaat zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005. Triticale, Versuchsstandort Müncheberg (Die Unkrauttrockenmasse lag deutlich unter 0,5 dt ha⁻¹ und wird deshalb nicht getrennt aufgeführt)

Probenahmedatum:	1.11.2004		01.11.2005	
	Trockenmasse [dt ha ⁻¹]			
Variante	Kultur	Beisaat	Kultur	Beisaat
ohne Beisaat, früh	6,4 b	-	18,3 b	-
Blaue Lupine	6,6 b	0,6 a	14,8 b	1,3 a
Erbse	7,9 b	2,3 b	14,6 b	6,5 b
Peluschke	5,7 b	3,2 b	11,9 b	10,1 c
Sommerwicke	6,5 b	1,2 ab	15,2 b	7,6 bc
späte Saat	2,2 a	-	6,3 a	-
HSD ($\alpha=0,05$)	2,5	1,3	6,5	3,4

Von besonderem Interesse für die Bewertung der Anbauverfahren sind sowohl die Unterschiede in der Aufwuchsleistung vor Winter zwischen den Fröhsaatvarianten mit bzw. ohne Beisaat und als auch die Unterschiede zwischen den Fröhsaatvarianten und der Spätsaat. Weiterhin ist die unkrautunterdrückende Wirkung der einzelnen Varianten von Bedeutung.

Die späte Variante blieb in ihrer Biomasseentwicklung in beiden Jahren deutlich hinter den früh gesäten zurück und erreichte zu Vegetationsende 2004 nur ein Drittel und 2005 etwa die Hälfte der Biomasse der frühen Varianten. Dabei erreichte die Spätsaat 2005 die Biomasseentwicklung der Fröhsaaten von 2004.

In beiden Jahren war der Unkraut aufwuchs für eine quantitative Entwicklung zu gering. Dennoch sprechen die Deckungsgrade von Beisaat und Unkraut der früh gesäten Varianten mit und ohne Beisaat 2005 für eine unkrautunterdrückende Wirkung der Beisaaten.

Die N-Mengen im Aufwuchs der Triticale, der Beisaaten und die N_{\min} -Mengen im Boden von 0-60 cm im Herbst 2004 sind in Abb. 10 wiedergegeben. Vor Winter nahm die Spätsaat deutlich weniger N auf als alle Fröhsaatvarianten, was sich auch in den entsprechend höheren N_{\min} -Werten (0-60 cm Bodentiefe) vom 03. Nov. 2004 widerspiegelte. Die gesamte von der Triticale aufgenommene N-Menge addiert mit dem mineralisierten Stickstoff im Profil war bei Fröhsaat ohne Beisaat und Spätsaat gleich. Anhand der im Rahmen der N_{\min} -Analyse bestimmten Wassergehalte mit unter 10% im Unterkrumenbereich ist eine Sickerwasserbildung vor Winter auszuschließen.

Die Beisaaten erreichten im Aufwuchs N-Mengen (N_{TM}) zwischen 3 (Blaue Lupine) und 17 kg ha⁻¹ (Peluschke). Bei vergleichbaren N_{\min} -Mengen im Bodenprofil und nicht signifikant unterschiedlichen N_{TM} -Mengen in der Triticale aller Fröhsaatvarianten ergibt eine Differenz zwischen der Summe von N_{\min} , N_{TM} -Beisaat und N_{TM} -Triticale der Variante ‚früh ohne Beisaat‘ und Variante ‚Beisaat Peluschke‘ von 11kg N ha⁻¹. Diese können als N₂-Fixierungsleistung der Peluschken interpretiert werden.

Auch im Herbst 2005 war der Unterschied im Trockenmasse-Stickstoff zwischen der späten und allen früh gesäten Varianten signifikant. Entsprechend der günstigeren Wachsbedingungen war das Niveau der N-Aufnahme insgesamt höher als im Vorjahr. Während in 2004 der Aufwuchs der Fröhsaat im Durchschnitt aller Varianten etwa 20 kg ha⁻¹ (Abb. 10) mehr als die späte enthielt, waren es in 2005 etwa 30 kg ha⁻¹ (Abb. 11).

Mit etwa 20 kg N ha⁻¹ in der TM war die späte Saat im Herbst 2005 besser entwickelt als in 2004, was auch die Deckungsgraderhebungen deutlich zeigen. Die im Bodenprofil bis 60 cm Tiefe gefundenen Stickstoffmengen lagen 2004 mit 51 kg ha⁻¹ (Tab. 21) deutlich höher als 2005 mit 24 kg ha⁻¹.

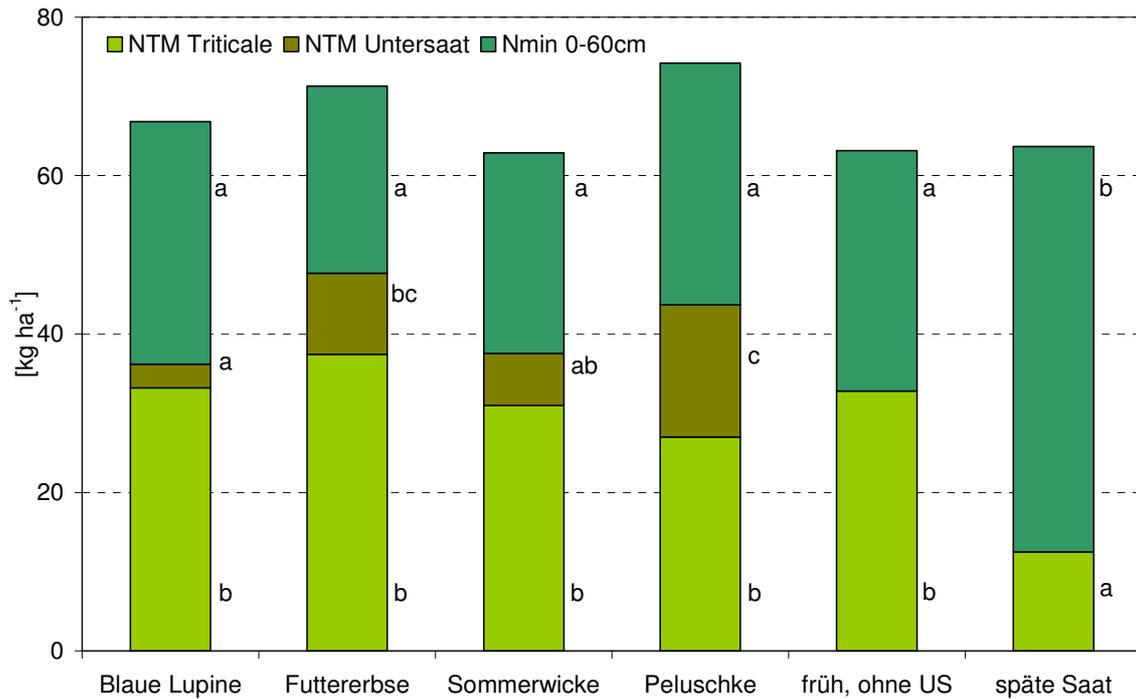


Abb. 10: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Beisat sowie N_{min} von 0-60cm Anfang November 2004, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha=0,05$)

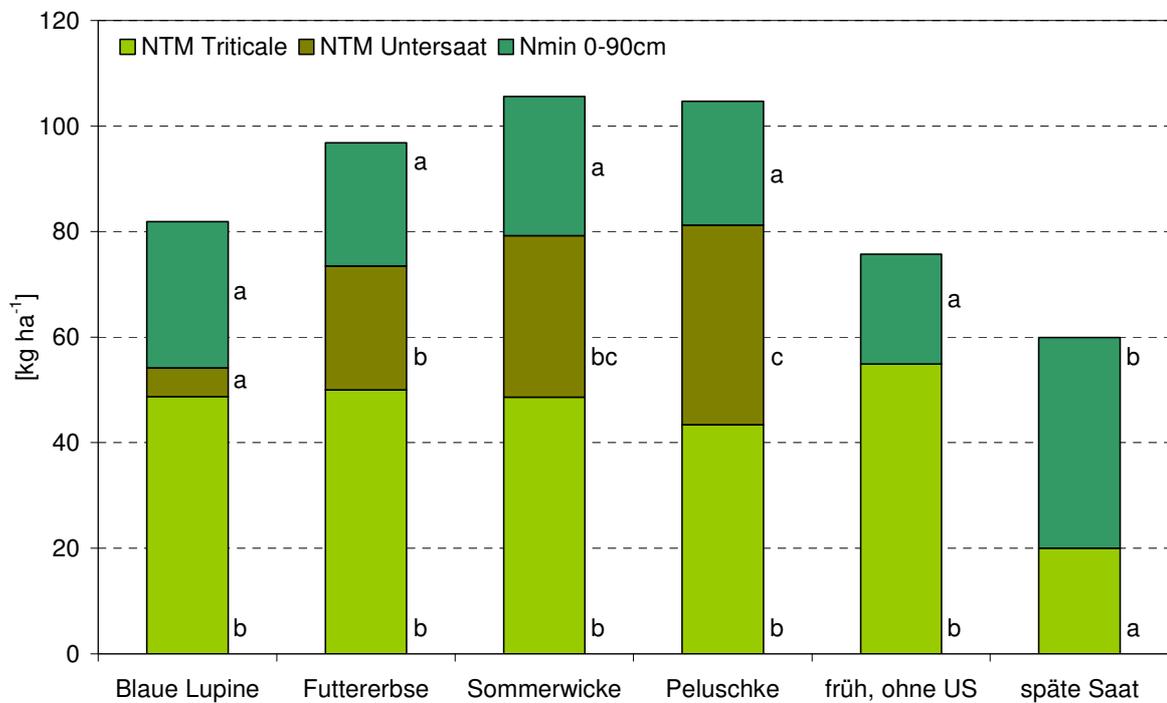


Abb. 11: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Beisat sowie N_{min} von 0-90cm Anfang November 2005, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha=0,05$)

Tab. 21: N_{\min} -Mengen im Boden 0-90cm, Mittelwerte der Parzellen mit spät gesäter Triticale Herbst 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg

Bodentiefe	0-30 cm	30-60 cm	60-90cm
Probennahmedatum	[kg ha ⁻¹]		
03.11.2004	35,9	15,3	5
02.11.2005	8,3	15,5	16,2

Die sehr milde Witterung des Herbstes 2005 begünstigte wesentlich das Wachstum der Beisaaten, die im Mittel dreimal soviel N im oberirdischen Aufwuchs aufnehmen konnten wie im Herbst 2004 (11,2 zu 30,6 kg ha⁻¹ im Mittel von Peluschke, Futtererbse und Sommerwicke).

Bei gleichen N_{\min} -Werten und ähnlichen N-Mengen im Aufwuchs der Triticale konnten die Varianten ‚früh mit Sommerwicke‘ und ‚früh mit Peluschke‘ über 25 kg ha⁻¹ mehr Stickstoff im oberirdischen Aufwuchs festlegen als die frühe Triticale ohne Beisaat (Abb.11). Die Variante ‚früh mit Beisaat Futtererbse‘ fiel mit 18 kg mehr an Stickstoff etwas ab. Trotz Elektrozaun als Wildschutzmaßnahme wurde die blaue Lupine so stark durch Verbiss geschädigt, dass eine Bewertung dieser Beisaat auf Grundlage der Versuche in Müncheberg nicht möglich ist (siehe hierzu in Bewertung der Praxisrelevanz).

3.1.3.2 Entwicklung der Winterroggen-Bestände vor dem Winter

Eine mit der Triticale vergleichbare ähnliche Entwicklung war beim Roggen im Herbst 2004 und 2005 zu beobachten. Der Aufwuchs des Winterroggens vor Winter war in den Anbaujahren 2004/2005 und 2005/2006 ebenfalls recht unterschiedlich, allerdings erreichte er ein höheres Niveau als bei Triticale. Während der Bestand im Herbst 2004 bereits gut entwickelt in den Winter ging, war 2005 die Vorwinterentwicklung so intensiv, dass der Winterroggen bereits Ende Oktober 2005 Deckungsgrade von über 70 Prozent erreichte. Unterschiede beim Deckungsgrad zwischen früh und spät gesäter Variante waren dabei 2005 anders als im Jahr 2004 nicht zu beobachten (siehe Tab. 22). Zeigte im Herbst 2004 der spät gesäte Winterroggen im Vergleich zu den Frühsaatvarianten einen wesentlich geringeren Deckungsgrad, konnte dieser 2005 witterungsbedingt bis Vegetationsende ausgeglichen werden.

Weder für die Deckungsgrade noch für die Trockenmassen des Winterroggens lassen sich zwischen den früh gesäten Varianten Unterschiede vor Winter und damit Konkurrenzeffekte durch die Beisaaten feststellen (Tab. 22 u. 23). Noch stärker als bei Triticale blieb die späte Saatvariante in ihrer Entwicklung zurück und brachte es im Herbst 2004 nur auf etwa ein Viertel der Biomasse der frühen Saatvarianten. (Tab. 23). Wie bei Triticale fiel die

Verunkrautung in beiden Jahren so schwach aus, dass eine gesonderte Erfassung der Biomasse nicht möglich war.

Tab. 22: Deckungsgrade von Winterroggen, Beisat und Unkräutern zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg

Boniturdatum	2.11.2004			23.10.2005		
	Deckungsgrade [%]					
Variante	Kultur	Beisat	Unkraut	Kultur	Beisat	Unkraut
ohne Beisat, früh	39		2	71		16
Blaue Lupine	35	4	1	71	5	16
Erbse	38	3	1	65	20	17
Peluschke	36	7	1	68	27	12
Sommerwicke	47	3	1	65	55	10
späte Saat	10		1	69		8

Tab. 23: Aufwuchs von Winterroggen und Beisat zu Beginn der Winterruhe in den Jahren 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg

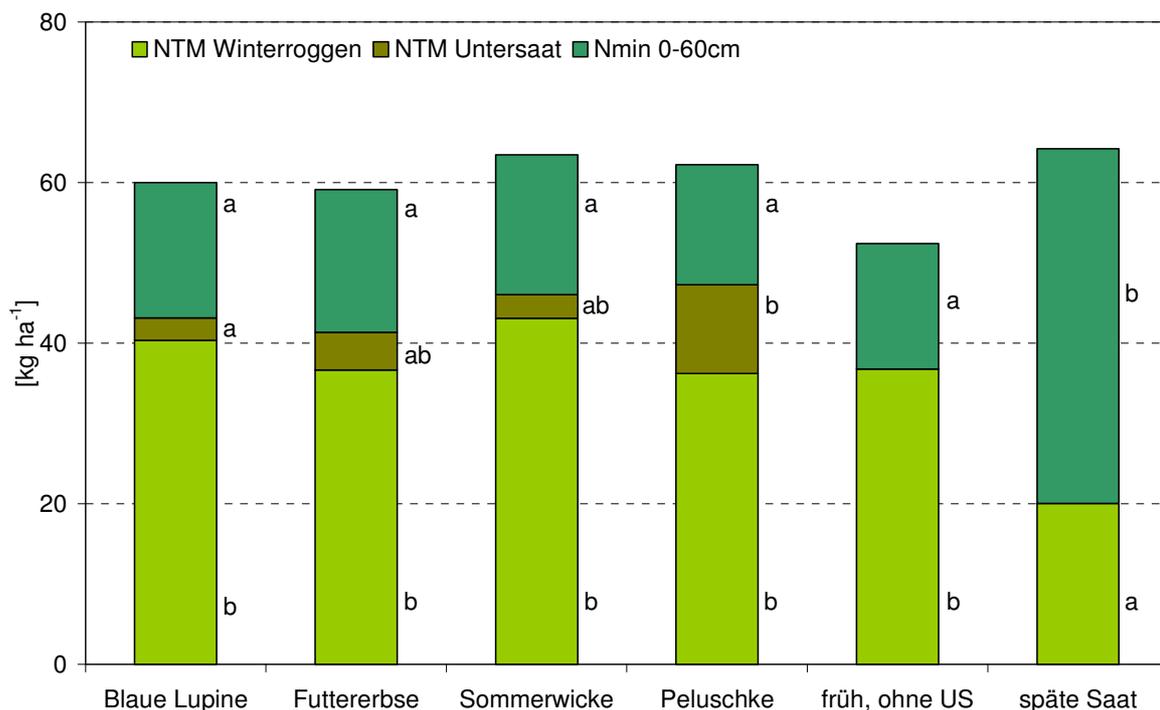
Probenahmedatum	2.11.2004		02.11.2005	
	[dt TM ha ⁻¹]			
Variante	Kultur	Beisat	Kultur	Beisat
ohne Beisat, früh	11,2 b		14,7 bc	
Blaue Lupine	11,7 b	0,7 a	15,6 c	1,4 a
Erbse	10,4 b	1,1 ab	10,1 b	6,8 b
Peluschke	10,0 b	2,5 b	12,2 bc	8,0 b
Sommerwicke	13,1 b	0,7 a	11,7 bc	9,7 b
späte Saat	3,5 a		6,5 a	
HSD ($\alpha=0,05$)	5,1	1,6	4,1	3,5

In Abb. 12 sind die N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen, den Beisaaten und die N_{\min} -Mengen im Boden von 0-60cm im Herbst 2004 dargestellt. Vor Winter nahm die Spätsaat deutlich weniger N als alle Frühsaatvarianten auf, was sich in den um 25 kg ha⁻¹ höheren N_{\min} -Werten (03. Nov.; 0-60 cm Bodentiefe) widerspiegelte. Wie schon bei Triticale zeigte sich auch bei Winterroggen, dass die aufgenommenen N-Mengen im Aufwuchs addiert mit dem N_{\min} -Mengen im Profil bei Frühsaat ohne Beisat und Spätsaat weitgehend identisch waren.

Die Beisaaten trugen zwischen 3 (Blaue Lupine und Sommerwicke) und 11 kg ha⁻¹ (Peluschke) zum N-Mengen im oberirdischen Aufwuchs bei. Bei annähernd gleichen N_{\min} -Mengen im Bodenprofil und N_{TM} -Mengen in Winterroggen über alle Frühsaatvarianten

ergibt sich eine Differenz von 10 kg N ha^{-1} zwischen den Summen von N_{\min} , N_{TM} Beisat und N_{TM} Triticale der Varianten ‚früh ohne Beisat‘ und ‚Beisat Peluschke‘. Dies ist ein Hinweis auf den positiven Beitrag, den die Peluschken durch die Fixierung von atmosphärischem Stickstoff im Herbst 2004 leisten konnten.

Abb. 12: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Beisat sowie N_{\min} von 0-60 cm Anfang November 2004, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha=0,05$)



2005 war der Unterschied im Trockenmasse-Stickstoff der späten und aller früh gesäten Varianten ebenfalls statistisch signifikant. Obwohl die Wachstumsbedingungen im Herbst 2005 günstiger als im Vorjahr waren, blieb der Unterschied zwischen der späten Saat und dem Mittelwert aller Frühsaaten ungefähr gleich (19 zu 23 kg ha^{-1}). In den Trockenmasse-N-Mengen des Winterroggens fanden sich in den Proben der Variante ‚früh mit Beisat Blaue Lupine‘ signifikant höhere absolute Stickstoffmengen als in den Varianten mit den drei anderen Beisaten und der Spätsaat (Abb. 13). Dafür dürfte die weitgehend fehlende Nährstoff-Konkurrenz der Lupine die Ursache sein, da die Summe der N-Menge in der Biomasse von Roggen und der Biomasse der Beisaten ähnlich der Varianten mit Futtererbse und Peluschke war. Die N-Menge im WRO der Variante ‚Frühsaat ohne Beisat‘ ließ sich nicht signifikant von allen anderen Frühsaaten unterscheiden.

Mit etwa 25 kg N-Aufnahme ha⁻¹ war die späte Saat im Herbst 2005 besser entwickelt als 2004, wie auch die Deckungsgraderhebungen zeigen. Die im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe gefundenen Stickstoffmengen lagen bei 40 kg ha⁻¹. Die Verteilung des Stickstoffs auf die drei Bodenschichten zeigt, anders als bei Triticale in 2004 (Tab. 21), keine Konzentration des noch vorhandenen Stickstoffs in den tieferen Bodenschichten (Tab. 24), was auf die höhere N-Aufnahme des WRO zurückzuführen ist.

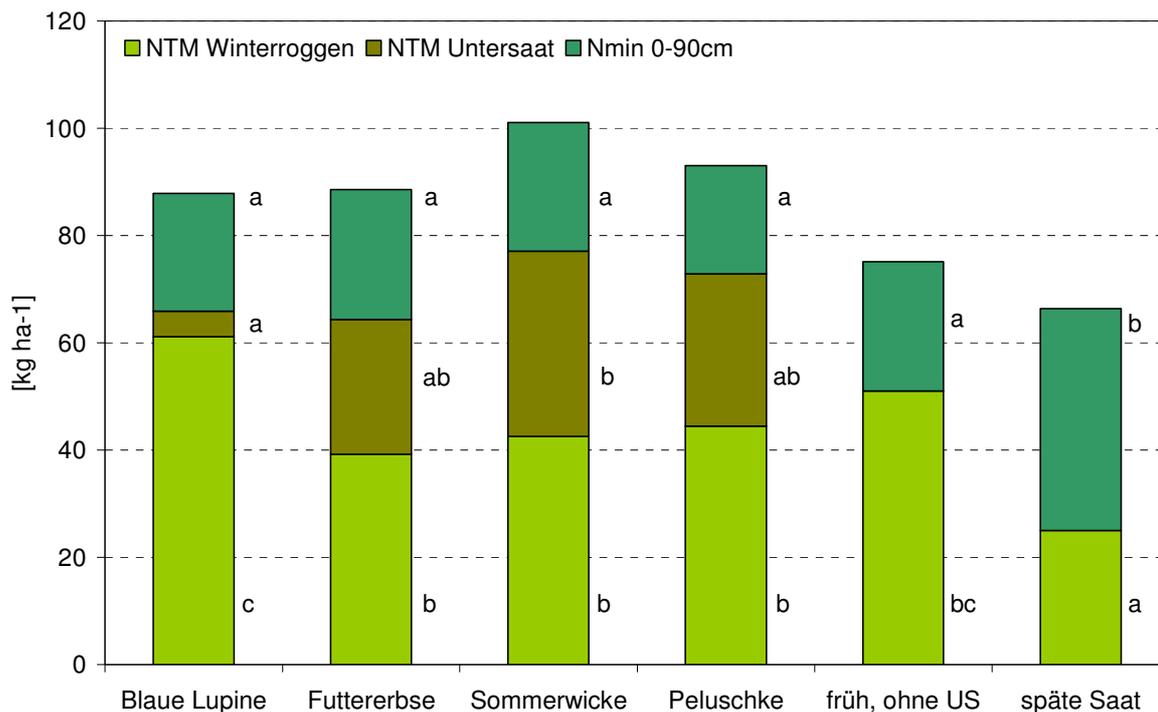


Abb. 13: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Beisaat sowie N_{min} von 0-90cm Anfang November 2005, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha=0,05$)

Tab. 24: N_{min}-Mengen im Boden in Schichten von 30cm, Mittelwerte der Parzellen mit spät gesättem Winterroggen Herbst 2004 und 2005, Versuchsstandort Müncheberg

Bodentiefe	0-30 cm	30-60 cm	60-90cm
Probenahmedatum	[kg N ha ⁻¹]		
03.11.2004	31,6	12,5	-
02.11.2005	19,4	15,5	6,5

Die wesentlich stärker entwickelten Beisaaten, aufgrund der günstigeren Witterung im Herbst 2005, konnten im Mittel fast fünfmal soviel N im oberirdischen Aufwuchs verglichen zum Herbst 2004 (6,2 zu 29,4 kg ha⁻¹ im Mittel von Peluschke, Futtererbse und

Sommerwicke) festlegen und sich vom Niveau her auf einer vergleichbaren Höhe wie Triticale bewegen.

Bei nicht unterschiedlichen N_{\min} -Werten und ähnlichen N-Mengen im Aufwuchs, konnten die Varianten mit Beisaaten, ausgenommen die Blaue Lupine, zwischen 13 und 26 kg ha⁻¹ mehr Stickstoff im oberirdischen Aufwuchs festlegen als die Variante ohne Beisaat und zwischen 39 und 52 kg ha⁻¹ (Abb. 12) mehr als die Spätsaat (Abb. 13).

3.1.3.3 Diskussion der Vorwinterentwicklung der Bestände

Die Zeit von der Aussaat bis zur Zwischenernte war im Jahr 2004 für die Frühsaat 56 Tage und für die Spätsaat 38 Tage, im Jahr 2005 jeweils um zwei Tage kürzer. Betrachtet man den Zeitraum, der zwischen der Aussaat der frühen und der späten Varianten lag, so beträgt dieser für beide Versuchsjahre 18 Tage. Dieser Zeitunterschied reichte aus, dass in beiden Getreidearten in den zwei Jahren die Frühsaatvarianten vor Winter mehr als doppelt soviel Stickstoff aufnahmen wie die Spätsaaten und zwei- bis dreimal soviel Biomasse bildeten.

Nach Geisler (1988) beträgt die minimale Wachstumstemperatur von Winterroggen 4°C. Betrachtet man die gemessenen Tagesdurchschnittstemperaturen vom Zeitpunkt der Aussaat bis zum Zeitpunkt der Probennahme vor dem Winter und zieht von diesen Tageswerten je 4°C ab, so lassen sich die Differenzwerte als Näherung zur wachstumswirksamen Temperatursumme aufaddieren. In Abb. 14 sieht man, dass bis zum 02. November 475° erreicht wurden. 215° davon kamen alleine der Frühsaat zugute, was den erheblichen Entwicklungsvorsprung erklärt. Gut erkennbar ist dieser Entwicklungsvorsprung in Abb. 16, die den frühen und späten Winterroggen am 07. Oktober 2005, also 32 bzw. 14 Tage nach der Aussaat zeigt.

Der Vergleich von Abb. 14 und Abb. 15 macht deutlich, dass die Wachstumsbedingungen, bezogen auf Niederschlagsverteilung und Wärmesumme, im Herbst 2005 deutlich besser waren als in 2004.

Nach der Aussaat benötigt der Roggen eine Temperatursumme von 90°C für den Feldaufgang, wenn die Wasserversorgung gewährleistet ist (DEVRIES, 2007). Bei dem früh gesäten Winterroggen war dies im Jahr 2004 5 Tage nach der Aussaat der Fall, bei dem spät gesäten erst nach acht Tagen. Ähnlich war es im Herbst 2005, für die Triticale gilt Analoges.

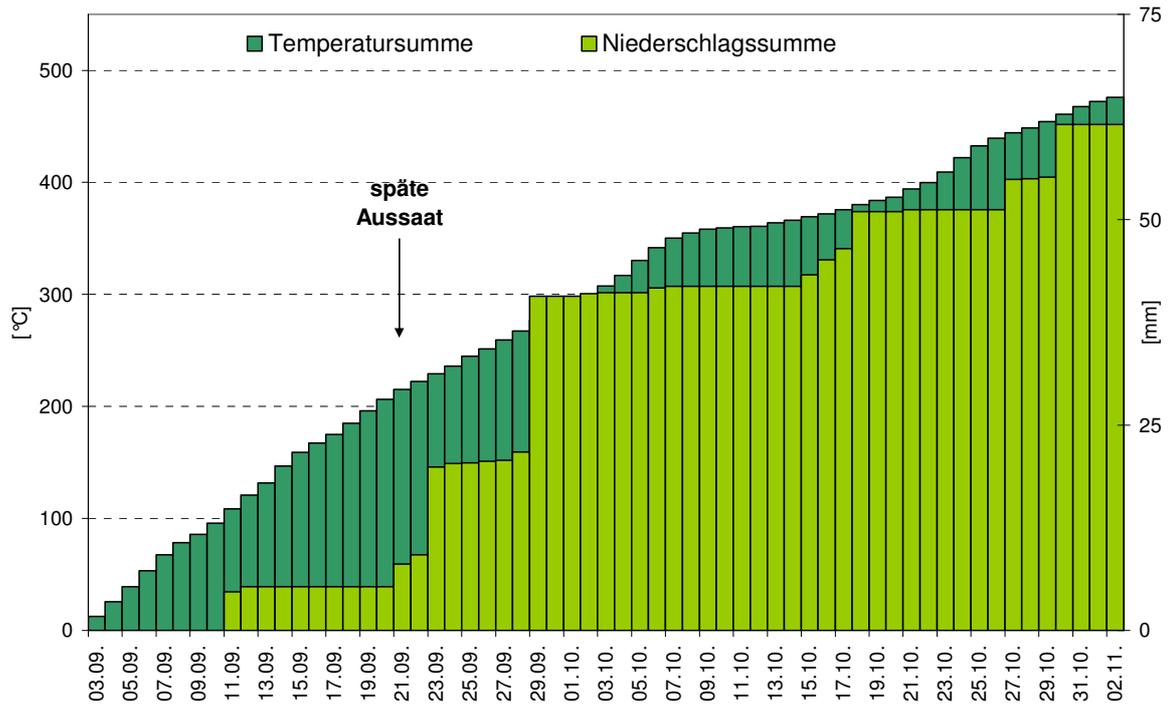


Abb. 14: Wachstumswirksame Temperatursumme und Niederschlagssumme im Herbst 2004 von der Frühsaat bis zur Probennahme im November. Werte der Wetterstation auf den Versuchsflächen in Müncheberg

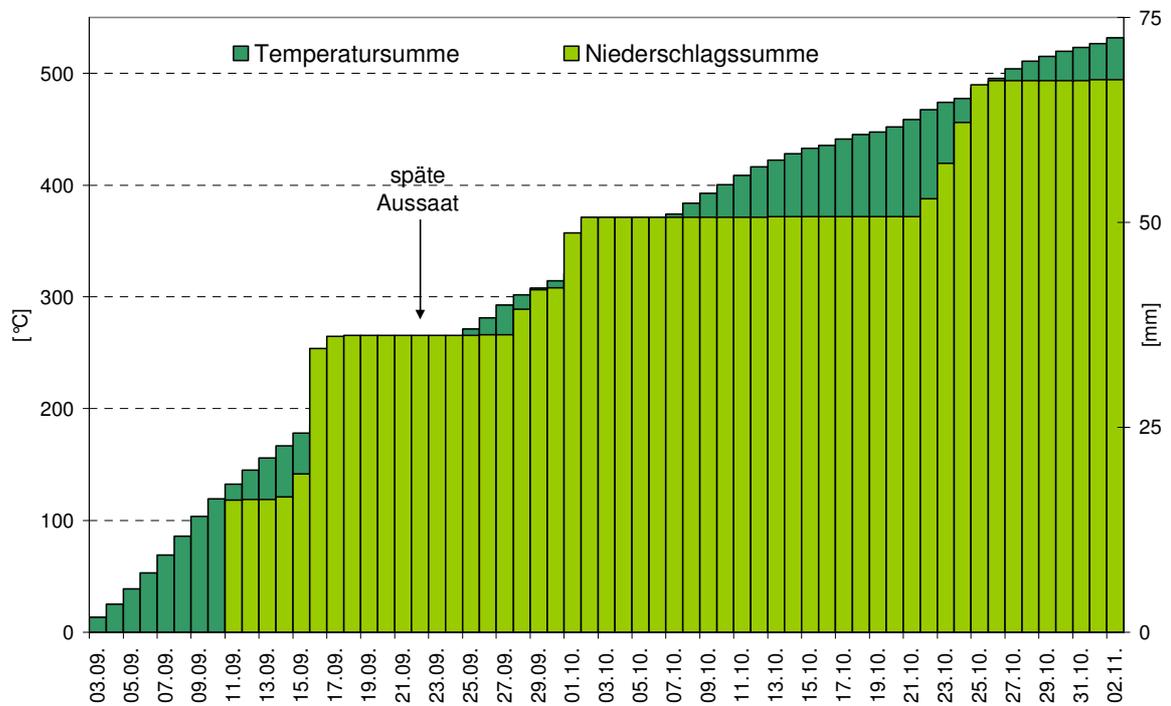


Abb. 15: Wachstumswirksame Temperatursumme und Niederschlagssumme im Herbst 2004 von der Frühsaat bis zur Probennahme im November. Werte der Wetterstation auf den Versuchsflächen in Müncheberg

Hinsichtlich der Verwertung des im Boden vorhandenen mineralisierten Stickstoffs war die Fröhsaat in der Vorwinterentwicklung der späten Saat deshalb auch deutlich überlegen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der bei der Spätsaat zu Winterbeginn noch im Boden vorhandenen N_{\min} -Mengen nicht mehr aufgenommen werden kann und bis zum Fröhjahr besonders auf leichten Sandböden durch Auswaschung verloren geht. Bei AZ 25 wird das durchwurzelbare Profil durch die mittleren Winterhalbjahresniederschläge von 225 mm kalkulatorisch mehr als viermal durchwaschen (Bachinger et al., 2003). In Hinblick auf eine optimale Aufnahme des im Herbst vorhandenen Stickstoffs ist eine frühe Saat sehr anzuraten. Auf die phytosanitären Effekte der Fröhsaaten wird im folgenden Kapitel eingegangen.



Abb. 16: Spät- und Fröhsaatvariante Winterroggen, 07. Okt. 2005, Versuchsstandort Müncheberg

Einerseits wird so eine verbesserte Stickstoffversorgung der Kultur gewährleistet, andererseits können die negativen Umwelteffekte von Stickstoffverlusten aus der landwirtschaftlichen Fläche ins Grundwasser oder die Vorfluter minimiert werden. Während sich bei den vorliegenden Untersuchungen die Unterschiede in den N-Mengen in dem Kulturpflanzenaufwuchs und den N_{\min} -Mengen im Boden zwischen früher und später Saat jeweils zwischen 20 und 30 kg N pro Hektar bewegten, konnten Bachinger et al. (1999) zeigen, dass bei Winterroggen dieser Unterschied sogar bis zu 50 kg ha⁻¹ erreichen kann. Zusätzlich wird durch den höheren Deckungsgrad der früh gesäten Varianten ein wesentlich verbesserter Erosionsschutz gewährleistet. Nach Frielinghaus et al. (1997) ist ein effektiver Schutz vor Wassererosion ab einer Bodenbedeckung von 50% gewährleistet. Die Fröhsaat-

ten in 2004 konnten zwar diesen Wert nur zusammen mit den Beisaaten erreichen, da diese den Gesamtdeckungsgrad im Herbst 2004 zusätzlich um durchschnittlich 6% erhöhten und dadurch einen positiven Beitrag zum Erosionsschutz leisten konnten (Tab. 19). 2005 ließ sich kein signifikanter Unterschied in den Deckungsgraden bei früher und später Aussaat in Triticale oder Winterroggen feststellen, beide lagen über 60% Deckungsgrad (Tab. 22).

Eine Beeinträchtigung des Getreides durch die Leguminosen, wie sie von Praktikern teilweise befürchtet wurde, lässt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigen. Weder waren die nach dem Auflaufen gezählten Pflanzenzahlen pro Quadratmeter in der Triticale oder dem Winterroggen in einem der beiden Jahre geringer als in der Frühsaatvariante ohne Beisat, noch ließ sich ein geringerer Trockenmassegehalt der Getreidepflanzen bei der Probeschnitt im November 2004 oder 2005 beobachten.

3.1.3.4 Entwicklung der Triticalebestände bis zur Ernte

Die Triticale zeigte in beiden Versuchsjahren im Frühjahr krankheitsbedingte Auswinterungsschäden, die aufgrund der Witterung (Abb. 3) und der im zweiten Versuchsjahr wesentlich weiter fortgeschrittenen Entwicklung und bereits im Herbst durch starken Braunrostbefall deutlicher ausfielen. Abb. 17 zeigt die früh gesäte Triticale ohne Beisat in einer Aufnahme vom Februar 2006 mit deutlichen Auswinterungsschäden u.a. durch Schneeschimmel. Allerdings waren Früh- und Spätsaat im gleichen Maße von der Schädigung betroffen. Der Bestand erholte sich jedoch mit dem Einsetzen der Vegetationsperiode in beiden Jahren zügig und erreichte in 2006 schon Mitte April Deckungsgrade von 75% und mehr.

Abb. 18 zeigt die Deckungsgrade von Triticale, Beisat und Unkraut vom 23.10.05 bis zum 27.06.06. Besonders zu beachten ist der Verlauf der Deckungsgradentwicklung der Beisaaten, deren abgefrorene Pflanzenteile teilweise noch bis zum Ende des Frühjahrs vorhanden waren. Besonders die Peluschke bedeckte den Boden noch im Mai 06 mit bis zu 10% Flächenanteil.

Die Zersetzung der Pflanzenresiduen verlief bei der Peluschke langsamer als bei der Sommerwicke, die im Herbst noch deutlich höhere Deckungsgrade erreichte hatte. Es war zu beobachten, dass die abgefrorenen Leguminosen zum Teil auch durch die winterliche Schneelast bedingt abknickten und über der Triticale zu liegen kamen und diese so in ihrer Entwicklung beeinträchtigten. Lediglich die Blaue Süßlupine blieb mit ihrem starken Stängel stehen.

Die Verunkrautung entwickelte sich in allen Varianten weitgehend ähnlich, wenn auch 2005 verglichen zu 2006 auf einem wesentlich höheren Niveau (Abb. 18; Tab 25). So ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in den Deckungsgraden. Die zunehmende

Verunkrautung ging mit den abnehmenden Deckungsgraden der Triticale im Frühsommer einher. Nur 2005 wies die Spätsaat eine höhere Spätunkrautung auf (Abb. 18).

Jeweils am ersten Juni erfolgte in beiden Versuchsjahren ein Probenschnitt. Die Stickstoffmengen im Aufwuchs von Triticale und Unkraut sind in Tab. 25 wiedergegeben. Im Jahr 2005 zeigten nur die Beisatvarianten im Vergleich zur Spätsaat signifikant höhere Stickstoffaufnahmen. Die Frühsaat ohne Beisat unterschied sich nicht signifikant von einer der beiden anderen Gruppen. Im Jahr 2006 schnitt lediglich die Variante ‚früh mit Beisat Sommerwicke‘ signifikant besser ab als die ‚späte Saat‘, alle anderen unterschieden sich nicht. 2005 ließ sich bei der N-Aufnahme des Unkrauts kein signifikanter Unterschied feststellen, 2005 konnte nur der Unterschied zwischen dem größten Wert bei Spätsaat und dem niedrigsten bei der Beisatvariante Erbse gesichert werden. Auffällig ist der starke Unterschied in der im Unkraut gebundenen N-Menge, die 2005 bis zum 10-fachen der im Jahre 2006 betrug.



Abb. 17: Triticale (früh, ohne US), 27. Feb. 2006, Versuchsstandort Müncheberg,

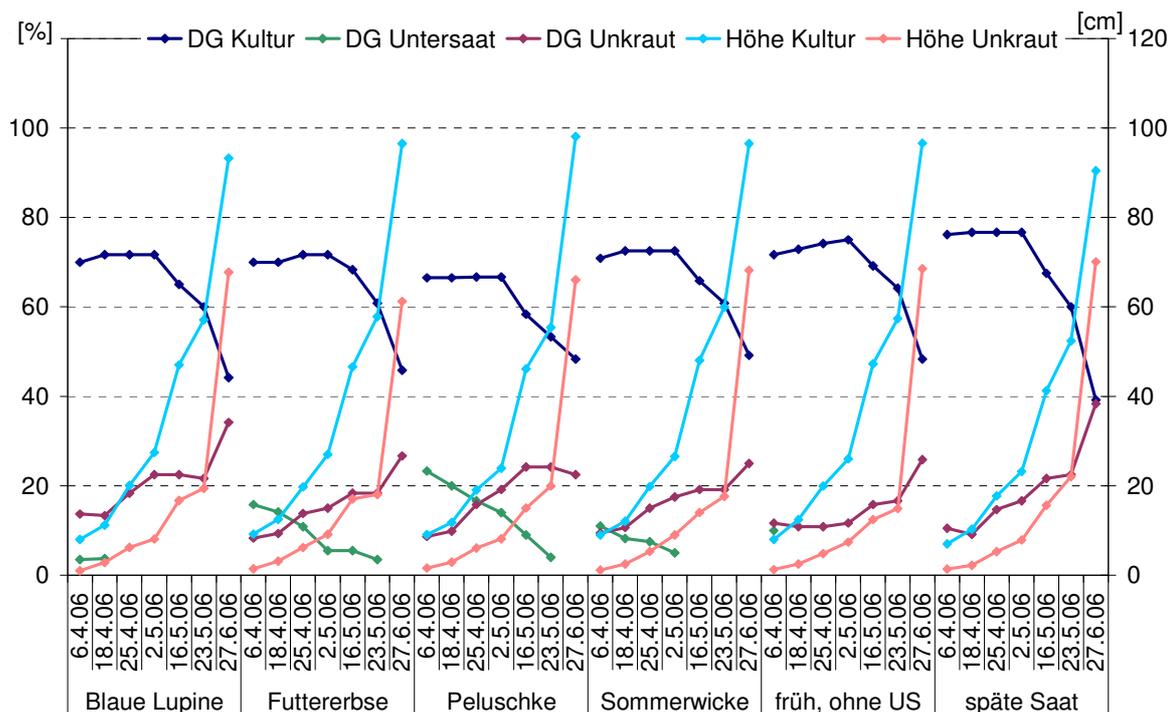


Abb. 18: Deckungsgrad (DG) von Triticale, Beisat und Unkraut vom 6.4.07 bis zum 27.06.06, getrennt nach der Beisat. Versuchsstandort Müncheberg

Tab. 25: N-Mengen im Aufwuchs von Triticale und Unkraut getrennt nach Beisat. Grünschnitte vom 1. Juni 2005 und 2006. Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$)

Probenahmedatum	01.06.2005		01.06.2006	
	[kg N ha ⁻¹]			
Variante	Kultur	Unkraut	Kultur	Unkraut
ohne Beisat, früh	41,9 ab	22,2 a	53,2 ab	2,0 ab
Blaue Lupine	47,5 b	21,2 a	50,5 ab	2,3 ab
Erbse	54,1 b	14,8 a	57,4 ab	1,6 a
Peluschke	49,0 b	15,7 a	56,9 ab	2,1 ab
Sommerwicke	59,3 b	12,2 a	62,2 b	2,2 ab
späte Saat	28,0 a	19,7 a	41,1 a	4,4 a
MSD ($\alpha = 0,05$)	18,5	n.s.	16,8	2,6

Der N_{\min} -Gehalte im Boden nach Winter wurden 2006 am 7. April bestimmt. Die N_{\min} -Werte bis 90 cm Tiefe sind in Abb. 19 wiedergegeben. Für die statistische Verrechnung wurden die N_{\min} -Gesamt mengen im Profil (0-90cm) verwendet.

Die geringsten N-Mengen finden sich unter den Varianten ‚früh ohne US‘ und ‚Blaue Lupine‘, die höchsten bei der Variante ‚Peluschke‘. Die Differenz zwischen der schlechtesten und der besten Variante beträgt allerdings nur 6 kg N ha⁻¹. In allen Fällen außer bei der

späten Saat befand sich mehr als die Hälfte des gemessenen Stickstoffs in der obersten Bodenschicht. Zu diesem Zeitpunkt scheint aus den Pflanzenresiduen der Peluschke die nominal höchste N-Freisetzung stattzufinden. Allerdings zeigen die N-Aufnahme von Triticale zum Termin keine signifikanten Unterschiede.

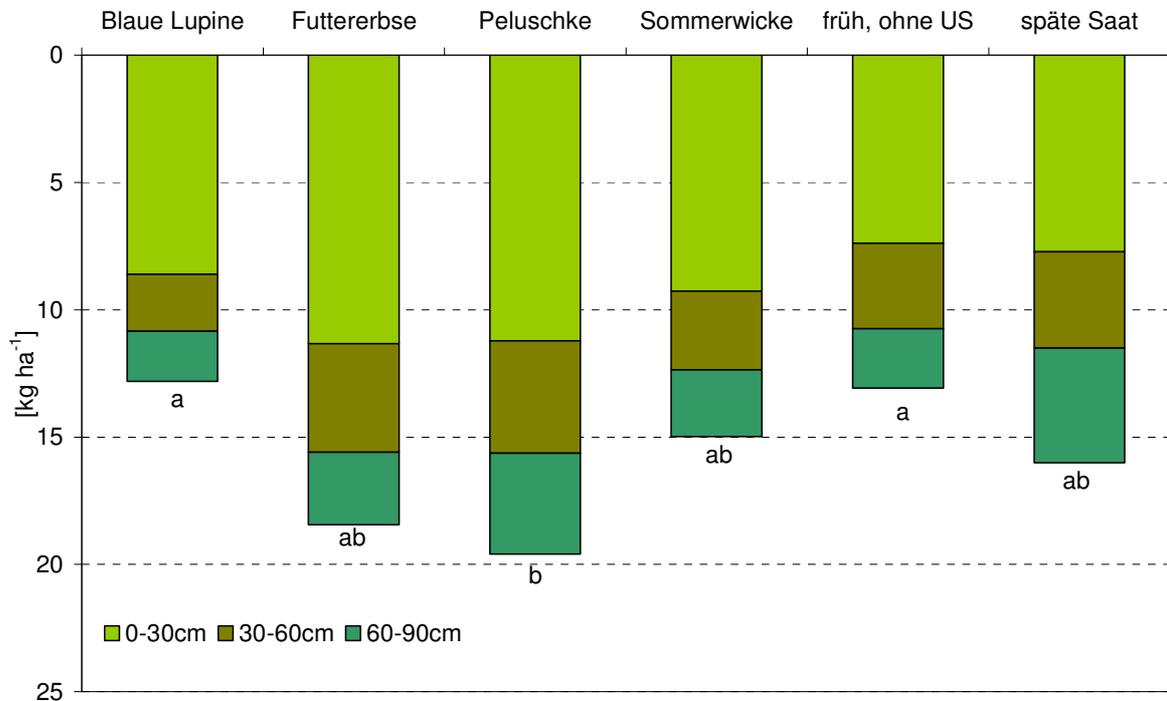


Abb. 19: N_{\min} -Mengen im Boden unter Triticale am 07.04.06, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede in den N-Mengen über alle Schichten ($\alpha=0,05$)

3.1.3.5 Entwicklung der Winterroggen-Bestände bis zur Ernte

Der Winterroggen war in vergleichbarer Weise von krankheitsbedingten Auswinterungsschäden betroffen wie die Triticale. Abb. 20 zeigt den früh gesäten Winterroggen überdeckt mit der abgefrorenen Biomasse der Peluschke im Februar 2006. Die Beeinträchtigung der Hauptkultur durch die Reste der Beisat äußerte sich auch in dem starken Rückgang des Deckungsgrades, der beim Winterroggen mit Beisat Peluschke von etwa 70% im Herbst 2005 auf unter 30% im Frühjahr 2006 am deutlichsten ausfiel (vgl. Tab. 22 u. Abb. 21).

Abb. 21 zeigt die Deckungsgrade von Winterroggen, Beisat und Unkraut vom 23.10.05 bis zum 23.05.06. Die Deckungsgradverläufe der Beisaten gleichen denen des Triticale-Versuches, wenn auch auf etwas niedrigerem Niveau. Die Flächenanteile der Leguminosenresiduen erreichten Anfang Mai nur noch 3-5%. Das Unkraut konnte sich in allen Varianten ähnlich stark entwickeln. Signifikante Unterschiede in den Deckungsgraden ließen sich zwischen den einzelnen Varianten nicht beobachten. Die zunehmende, im Mai

verstärkt einsetzende Verunkrautung ging mit den abnehmenden Deckungsgraden des Winterroggens im Frühsommer einher.



Abb. 20: Winterroggen mit abgefrorenen Pflanzenmaterial der Beisat Peluschke, 27. Feb. 2006, Versuchsstandort Müncheberg,

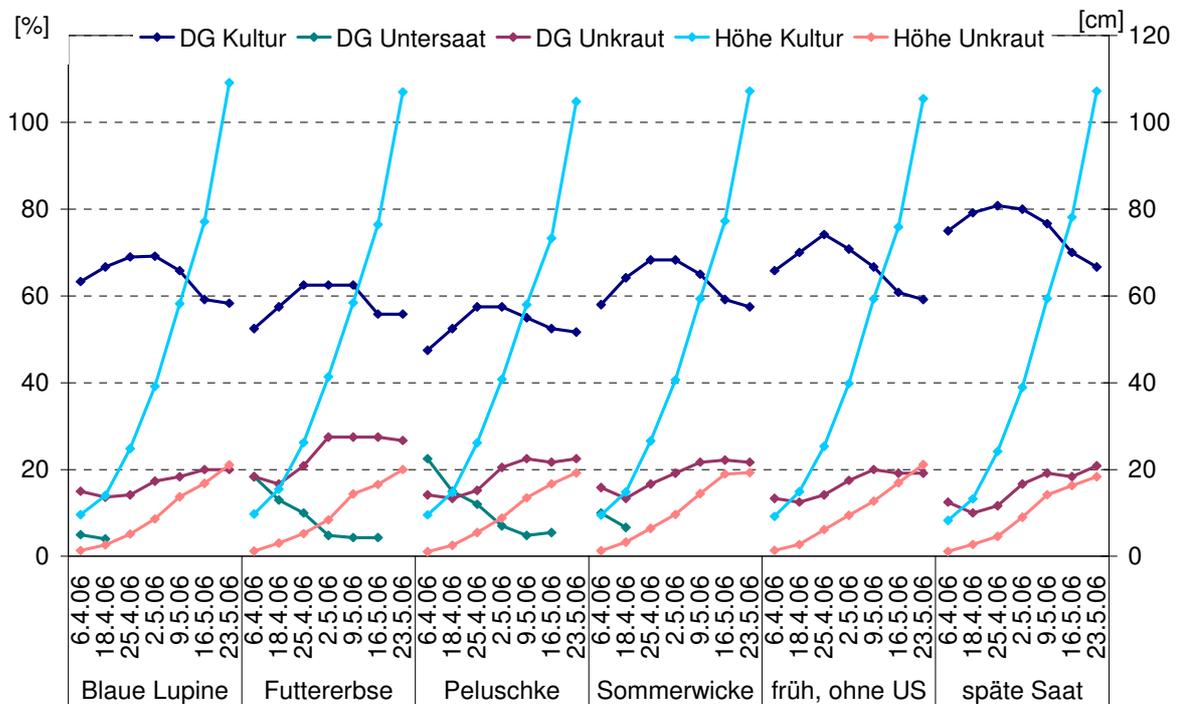


Abb. 21: Deckungsgrad (DG) von Winterroggen, Beisat und Unkraut 6.04. bis 23.05.06, Versuchsstandort Müncheberg

Wie auch in der Triticale wurden im Winterroggen am ersten Juni beider Versuchsjahre Proben von der oberirdischen Biomasse genommen. Die Stickstoffmengen im Aufwuchs von Winterroggen und Unkraut sind in Tab. 26 wiedergegeben. Im Jahr 2005 enthielt die Variante mit der Beisat Futtererbse signifikant mehr Stickstoff als die späte Saat. Weitere statistisch belegbare Unterschiede ließen sich im Winterroggenversuch nicht nachweisen.

Wie schon bei Triticale waren auch die Stickstoffmengen im Unkraut aufwuchs im Jahr 2006 im Vergleich zu 2005 insgesamt wesentlich höher.

Tab. 26: N-Mengen im Aufwuchs von Winterroggen und Unkraut getrennt nach Beisat. Grünschnitte vom 1. Juni 2005 und 2006. Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede

Probenahmedatum	01.06.2005		01.06.2006	
	[kg N ha ⁻¹]			
Variante	Kultur	Unkraut	Kultur	Unkraut
ohne Beisat, früh	54,4 ab	4,1 a	59,3 a	1,0 a
Blaue Lupine	53,6 ab	4,7 a	63,8 a	1,1 a
Erbse	59,1 b	5,1 a	63,8 a	1,2 a
Peluschke	55,7 ab	3,3 a	71,3 a	2,9 a
Sommerwicke	52,8 ab	3,3 a	60,3 a	2,5 a
späte Saat	40,0 a	7,4 a	73,5 a	1,1 a
MSD ($\alpha = 0,05$)	18,32	n.s.	n.s.	n.s.

Der im Frühjahr im Bodenprofil enthaltene mineralisierte Stickstoff wurde 2006 am 7. April erfasst. Die N_{\min} -Werte bis in 90 cm Tiefe sind in Abb. 22 wiedergegeben. Für die statistische Verrechnung wurden die Summenwerte der N_{\min} -Mengen aller drei Bodenschichten bis 90cm herangezogen.

Die geringsten N_{\min} -Mengen fanden sich unter den Varianten ‚früh ohne US‘, ‚spät‘ und ‚Blaue Lupine‘, während sich die Variante ‚Peluschke‘ signifikant am höchsten lagen. Die Differenz zwischen der schlechtesten und der besten Variante betrug dennoch nur 13 kg N ha⁻¹.

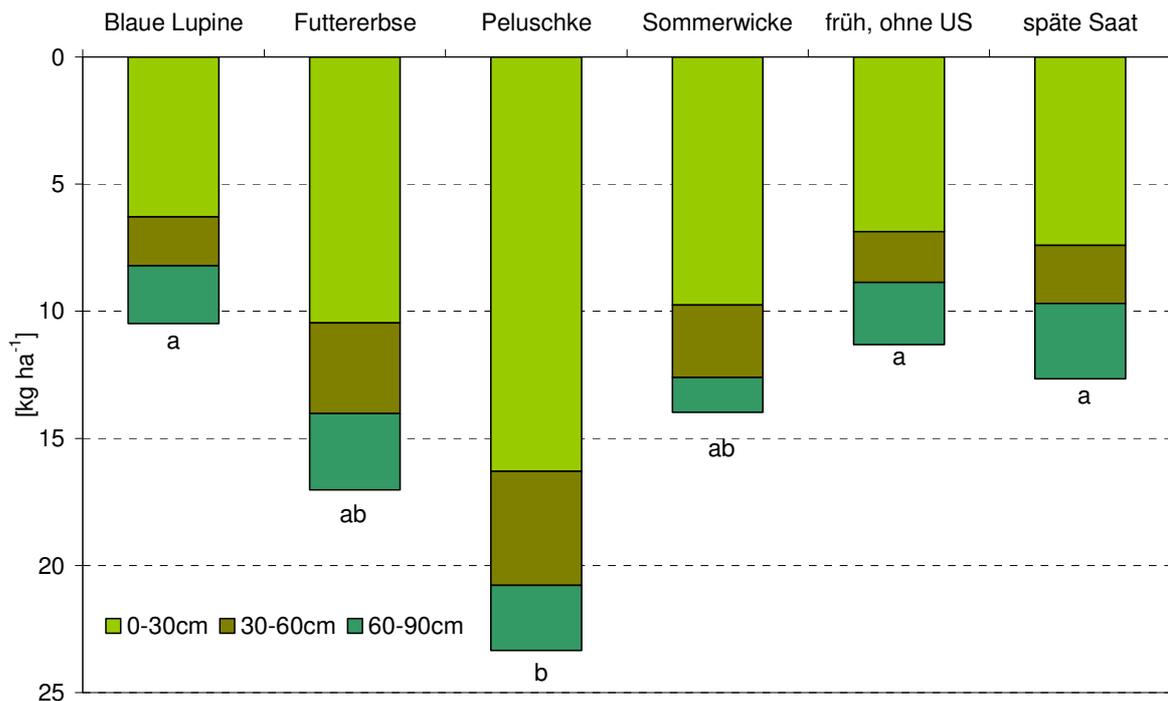


Abb. 22: N_{\min} -Mengen im Boden unter Winterroggen am 07.04.06, Versuchsstandort Müncheberg. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede in den N_{\min} -Mengen über alle Schichten ($\alpha=0,05$)

3.1.3.6 Diskussion der Nachwinter-Entwicklung der Bestände

Für die Beurteilung der Verfahren ergeben sich aus den vorliegenden Ergebnissen der Nachwinter-Entwicklung folgende wichtige Aspekte: Positiv zu bemerken ist, dass alle Körnerleguminosen in beiden Versuchsjahren sicher abfroren. So können gerade die Leguminosenbeisaaten mit den höchsten Stickstoffaufnahmeleistungen im Herbst die Hauptfrucht bis zum Frühjahr durch Überdecken in ihrer Überwinterung und anschließender Entwicklung beeinträchtigen. Dies kann sich gerade bei längerer Schneeüberdeckung deutlich negativ auf die Bestandesentwicklung auswirken. So wies z.B. die Beisaatvariante mit Peluschke die geringsten Deckungsgrade bei der Hauptfrucht auf (Abb. 21).

Unter diesem Gesichtspunkt wäre die Blaue Süßlupine zwar als Beisaat vorzuziehen, da sich die abgefrorene Biomasse nicht auf die Hauptfrucht ablagert, kann aber wegen der hohen Wildverbissgefahr nur sehr eingeschränkt empfohlen werden. Als Alternative bietet sich die blaue Bitterlupine an, die aber in der Regel in Ökoqualität und nach eigenen Erhebungen bei Saatguterzeugern bisher kaum verfügbar ist. Ackerbohne ist wegen der hohen TKM die teuerste Alternative, erbrachte aber im Rahmen der Praxisversuche in Bayern 2005 auf Betrieb 5 im Vergleich zur Nullvariante bei Winterroggen 10 dt ha⁻¹ Mehrertrag.

Bei der Triticale war nur die Variante ‚früh mit Sommerwicke‘ in beiden Jahren in der von der Hauptfrucht aufgenommenen Stickstoffmenge signifikant der Spätsaat überlegen (Tab. 25). Im Roggenversuch erbrachte allein die Beisaatvariante mit Futtererbse zum Juni 2005 eine verglichen zur Spätsaat signifikant höhere N-Aufnahme im Roggenaufwuchs.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Untersuchungen war die Stickstoffeffizienz der untersuchten Verfahren. Nach Thiemt (2007) sind im Produktionssystem ökologischer Landbau die Pflanzen im Vorteil, die den mineralisierten Stickstoff möglichst vollständig aufnehmen. Baresel et al. (2003), die sich mit den Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung der N-Effizienz von Winterweizen im ökologischen Landbau beschäftigen, fordern, dass insbesondere das N-Aufnahmevermögen vor der Blüte verbessert werden müsste.

Durch eine Vorverlegung der Aussattermine bei Triticale und Winterroggen kann eine effektivere Ausnutzung der N-Mineralisation im Herbst erreicht werden. Dieser ‚Vorsprung‘ kann aber in der Hauptwachstumsphase bis Anfang Juni von den Spätsaatvarianten weitgehend aufgeholt werden (Tab 25 u. 26). Dies liegt zum Teil an den größeren Auswinterungsschäden der Frühsaaten begründet.

3.1.3.7 Ertrags- und Qualitätsparameter bei Triticale

Die Korn- und Stroherträge der Triticale der Exaktversuche 2005 und 2006 sind in Tab. 27 wiedergegeben. Die spät gesäte Triticale erreichte 2005 nur zwei Drittel des Ertrages vom Durchschnitt der früh gesäten. In 2006 erbrachte nur die Beisaatvariante ‚Erbse‘ einen verglichen zur Spätsaatvariante signifikant höheren Ertrag. Der Unterschied fiel mit 25% Mehrertrag zwar geringer aus als im Vorjahr mit 40%, bleibt aber in seiner Höhe dennoch praxisrelevant.

Bei den Stroherträgen, die durch Quadratmeterschnitte erfasst wurden, was zu einer höheren Streuung führt, ergaben sich bei den Frühsaatvarianten ‚ohne‘, ‚mit Sommerwicke‘ und ‚mit Erbse‘ signifikante Mehrerträge im Vergleich zur Spätsaatvariante. Für das schlechtere Abschneiden der Beisaatvarianten ‚blaue Lupine‘ und ‚Peluschke‘ ergeben sich aus den Daten zur Bestandesentwicklung keine Erklärungen.

Betrachtet man die N-Mengen im Aufwuchs von Triticale, zeichnet sich kein einheitliches Bild ab (Tab. 26). Die höchsten Rohprotein-Werte 2005 bei ‚Erbse‘ und 2006 bei ‚Peluschke‘ lassen sich nicht, wie schon beim Strohertrag, aus den Daten zur Bestandesentwicklung ableiten.

Die N-Mengen im Stroh waren 2005 mit durchschnittlich $16,6 \text{ kg ha}^{-1}$ etwas höher als 2006 ($13,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Bei der Tausendkornmasse (Tab. 28) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Die Mittelwerte der TKM betragen 2005 39,1g und 2006 35,6g.

Tab. 27: Korn- und Stroherträge Triticale 2005 u. 2006 getrennt nach Beisaatvarianten. Versuchsstandort Müncheberg.

Erntedatum	2005	2006	2005	2006
Saatvariante	Kornertrag dt ha ⁻¹ (86% TS)		Strohertrag dt ha ⁻¹ (TM)	
Blaue Lupine	30,1 b	35,3 ab	36,5	32,8 ab
Erbse	32,4 b	36,8 b	38,6	37,4 bc
Peluschke	32,2 b	34,7 ab	37,7	31,4 ab
Sommerwicke	32,5 b	36,4 ab	37,2	40,5 c
ohne Beisaat, früh	31,8 b	34,5 ab	39,8	39,8 c
späte Saat	22,9 a	29,5 a	30,1	30,8 a
HSD ($\alpha = 0,05$)	5,4	7,1	n.s.	9,7

Tab. 28: Triticale; Rohprotein-Gehalte im Korn und TKM getrennt nach Beisaatvariante; Versuchsstandort Müncheberg.

Erntejahr	2005		2006	
Variante	Rohprot. [%]	TKM	Rohprot. [%]	TKM
Blaue Lupine	8,1 ab	38,5	8,3 ab	36,5 ab
Erbse	8,6 b	40,3	8,5 ab	35,6 ab
Peluschke	8,5 ab	41,8	8,8 b	34,6 ab
Sommerwicke	8,3 ab	37,5	8,2 ab	37,6 b
ohne Beisaat, früh	8,4 ab	39,0	8,2 a	36,2 ab
späte Saat	8,0 a	37,3	8,3 ab	33,3 a
HSD ($\alpha = 0,05$)	0,63	n.s.	0,56	n.s.
HSD ($\alpha = 0,1$)		n.s.		3,86

3.1.3.8 Ertrags- und Qualitätsparameter bei Winterroggen

Beim Winterroggen waren nur im Jahr 2005 signifikante Ertragsunterschiede feststellbar. Mit Ausnahme der durch Wild geschädigten Lupine zeigten sich alle Beisaatvarianten ertraglich der Spätsaat überlegen. Die Frühsaat ohne Beisaat unterschied sich hingegen weder von der Spätsaat noch von den Beisaatvarianten. Der Mehrertrag im Mittel der von der Spätsaat signifikant unterschiedlichen Varianten betrug 2005 8 dt ha⁻¹ oder etwa 25%. 2006 ließen sich keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten beim Kornertrag belegen. Die Stroherträge spiegeln tendenziell die Deckungsgradunterschiede (Abb. 21) wider.

Die N-Mengen im Stroh waren 2005 mit durchschnittlich 16,5 kg ha⁻¹ anders als bei der Triticale etwas niedriger als in 2006 mit 17,9 kg ha⁻¹. Bei den Tausendkornmassen ergaben

sich keine signifikanten Unterschiede. Die Mittelwerte der TKM betragen 2005 30,8 g und 2006 28,7 g.

Tab. 29: Korn- und Stroherträge Winterroggen 2005 u. 2006 getrennt nach Beisaatvarianten. Versuchsstandort Müncheberg.

Erntejahr	2005	2006	2005	2006
Variante	Kornertrag [dt ha ⁻¹] (86% TS)		Strohertrag [dt TM ha ⁻¹]	
Blaue Lupine	36,3 ab	38	43,3	53,6 b
Erbse	39,7 b	39,6	40,6	45,4 a
Peluschke	40,8 b	42,1	40,3	49,2 ab
Sommerwicke	39,4 b	40,5	41,2	51,3 ab
ohne Beisaat, früh	37,7 ab	39,2	37,8	53,7 b
späte Saat	31,6 a	39,5	33,3	54,8 b
HSD ($\alpha = 0,05$)	7,1	n.s.	n.s.	10,7

3.1.3.9 Diskussion der Ertragsparameter

Die Erträge der beiden Versuchsjahre lassen für die Bewertung der untersuchten Verfahren folgende Schlüsse zu. Der positive Einfluss der Frühsaat auf den Ertrag von Triticale und Winterroggen zeigt sich verdeutlicht an den Erträgen des ersten Versuchsjahres (Tab. 30). Im Folgejahr ist das Bild etwas uneinheitlicher, in der Triticale konnte immerhin eine der früh gesäten Beisaatvarianten signifikant besser als die späte abschneiden, beim Winterroggen lassen sich keine Effekte des Aussaatzeitpunktes auf den Ertrag nachweisen. Interessant zu beobachten ist, dass die früh gesäten Varianten in der Triticale im Mittel im Jahr 2006 besser abschneiden als 2005, während beim Winterroggen im Jahr 2006 kein Unterschied zur Spätsaat erkennbar ist; diese kann sich im Vergleich zu 2005 wesentlich verbessern und den Ertragsunterschied zur Frühsaat aufholen.

Tab. 30: Kornerträge von Winterroggen und Triticale. Ernten vom 02.08.2005 und vom 26.07.2006, gemittelt über alle Frühsaaten. Versuchsstandort Müncheberg.

Erntejahr	Winterroggen		Triticale	
	2005	2006	2005	2006
Variante	Kornertrag [dt ha ⁻¹] (86% TS)			
früh, alle Varianten	38,8 b	39,9 a	31,8 b	35,5 b
späte Saat	31,6 a	39,5 a	22,9 a	29,5 a

Bachinger und Stein-Bachinger (2000) fanden unter vergleichbaren Bedingungen keinen Ertragsunterschied zwischen den Saatterminen 6. und 26. Sept., trotz deutlich höherer N-Aufnahmen des ersten Termins vor Winter. Einen deutlich negativen Ertragseffekt ergab

erst eine noch spätere Saat (16. Okt.), die um 10 dt ha⁻¹ abfiel. Die vergleichbaren Aussaattermine (5. Sept. / 23. Sept.) ermöglichten die ausgesprochen guten und lang andauernden Wachstumsbedingungen im Herbst 2005 eine vergleichbare Kompensation, die aber im „Normal-Herbst“ 2004 von der Spätsaat nicht mehr erreicht werden konnte. Gruber et al. (2003a) berichten ebenfalls von einer im Mittel deutlichen Ertragssteigerung bei Winterroggen durch die Vorverlegung des Saatzeitpunktes.

Der Effekt der Beisaaten auf den Ertrag ist schwieriger zu bewerten. Die Beisaatvarianten mit den höchsten N-Mengen im Aufwuchs vor Winter konnten nicht die höchsten Erträge oder die besseren Qualitäten aufweisen. Auch waren die N-Mengen in der Biomasse der Beisaaten vor Winter 2005 deutlich höher als 2004. Dies führte aber zumindest rechnerisch zu geringeren N-Aufnahmen der Hauptkultur und nur zu einem geringen Mehr an N aus der N₂-Fixierung (10 – 20 kg ha⁻¹). Dieser N-Input der Leguminosen ist verglichen mit den im Boden vorhandenen Vorräten, nur sehr gering und in seiner direkten Wirkung von der N-Freisetzung aus diesen mittel- bis langfristig zur Verfügung stehenden N-Pools. Dennoch führen auch geringe Erhöhungen des Boden-N-Pools in Kombination mit Anbaumaßnahmen zur Austragsminimierung langfristig zu einer verbesserten N-Versorgung der Pflanzen.

Demgegenüber zeigten die Praxisversuche in Bayern, wahrscheinlich bedingt durch einen deutlich stärkeren Auswuchs der Beisaaten bei nur geringer interspezifischer Wasser- und Nährstoffkonkurrenz zur Hauptfrucht, zum Teil erhebliche direkte Ertragseffekte von bis zu 10 dt ha⁻¹.

Wie schon bei den Weizenversuchen ergaben sich aber sowohl bei den Praxis- als auch den Exaktversuchen 2006 deutlich geringere Ertragseffekte der Beisaaten, aber auch der Vorverlegung des Saattermins, bei allgemein deutlich höheren Erträgen. Die Ursache dafür sind die witterungsbedingten höheren Auswinterungsschäden der stark entwickelten Fröhsaatbestände.

3.2 Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden legumen Beisaaten

Der Winterrapsanbau im Ökologischen Landbau hat neben dem weitgehend ungelösten Problembereich des Schadinsektenbefalls zwei weitere gravierende Problembereiche. Zum einen treten häufig gravierende Unkrautkalamitäten auf und zum anderen ist eine bedarfsgerechte N-Versorgung im zeitigen Frühjahr aus den Vorfruchtresiduen und den Bodenvorräten gerade in Trockengebieten Ostdeutschlands oftmals unzureichend zu realisieren.

Im Rahmen des neu zu entwickelnden Anbauverfahren ‚Winterraps mit legumen Beisaaten‘ war zu testen, in wie weit abfrierende legume Beisaaten sowohl eine unkrautunterdrückende Wirkung in der Wachstumsphase bis zur Winterruhe entfalten können, als auch dem Winterraps bereits kurz nach Vegetationsbeginn größere N-Mengen aus den abgefrorenen stickstoffreichen Pflanzenresiduen zur Verfügung stellen können.

Dazu wurden in den Versuchsjahren 2004/05 und 2005/06 jeweils ein Exaktversuch in Müncheberg auf den Flächen des Modellbetriebes und ein Großversuch unter Praxisbedingungen auf Flächen des Gutes Wilmersdorf durchgeführt. Auf Grund der deutlichen Standortunterschiede werden im Folgenden die Ergebnisse beider Standorte mit dem Schwerpunkt Vorwinter- und Frühsommerentwicklung getrennt dargestellt.

3.2.1 Exaktversuche Müncheberg:

3.2.1.1 Biomasseentwicklung von Beisaat, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht

Während die Versuche in Wilmersdorf (40 - 50 Bodenpunkte) in beiden Jahren, wenn auch mit teilweise erheblichen Einschränkungen, bis zur Ernte geführt werden konnten, war dies in Müncheberg, einem Grenzstandort für Winterraps im Ökologischen Landbau, in keinem der Versuchsjahre möglich. Die fruchtfolgebedingt zur Verfügung stehenden Versuchsfelder hatten unter 30 Bodenpunkte. Durch die ungewöhnlich trockene und warme Herbstwitterung beider Jahre (siehe Bodenwassergehalte: Tab. 31) und die daraus resultierende geringe N-Mineralisation konnten sich die Bestände vor allem 2004 im Herbst anfangs nur schwer entwickeln, was zur Folge hatte, dass der Feldaufgang ungenügend erfolgte und infolgedessen sich eine starke Herbstverunkrautung ausbildete (Abb. 23, Abb. 24 und Tab. 32). Dies führte zusammen mit einer ausgeprägten Frühjahrstrockenheit dazu, dass sich 2005 keine pflanzenbaulich auswertbaren Bestände entwickeln konnten.

Die, bedingt durch die ungewöhnlich lange Vegetationsperiode, weit entwickelten Vorwinterbestände (Abb. 24 u. Abb. 25) des zweiten Versuchsjahres wurden durch den nachfolgenden strengen Winter 2005/06 so stark geschädigt, dass sich wiederum keine beerntbaren Bestände entwickelten. Dennoch konnten beide Versuche wertvolle Informationen zur Vorwinterentwicklung der Mischbestände und zur N_{\min} -Dynamik liefern.

Tab. 31: Wassergehalte der Bodenschichten [Masse %] von 0-90 cm Tiefe zum Zeitpunkt der Entnahme der N_{min}-Proben, Versuchsstandort Müncheberg

Datum	Bodenschicht		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
6.10.04	7,8	5,9	6,9
4.11.04	8,7	5,7	-
26.10.05	11,1	5,6	6,9
10.4.06	11,4	11,3	11,9

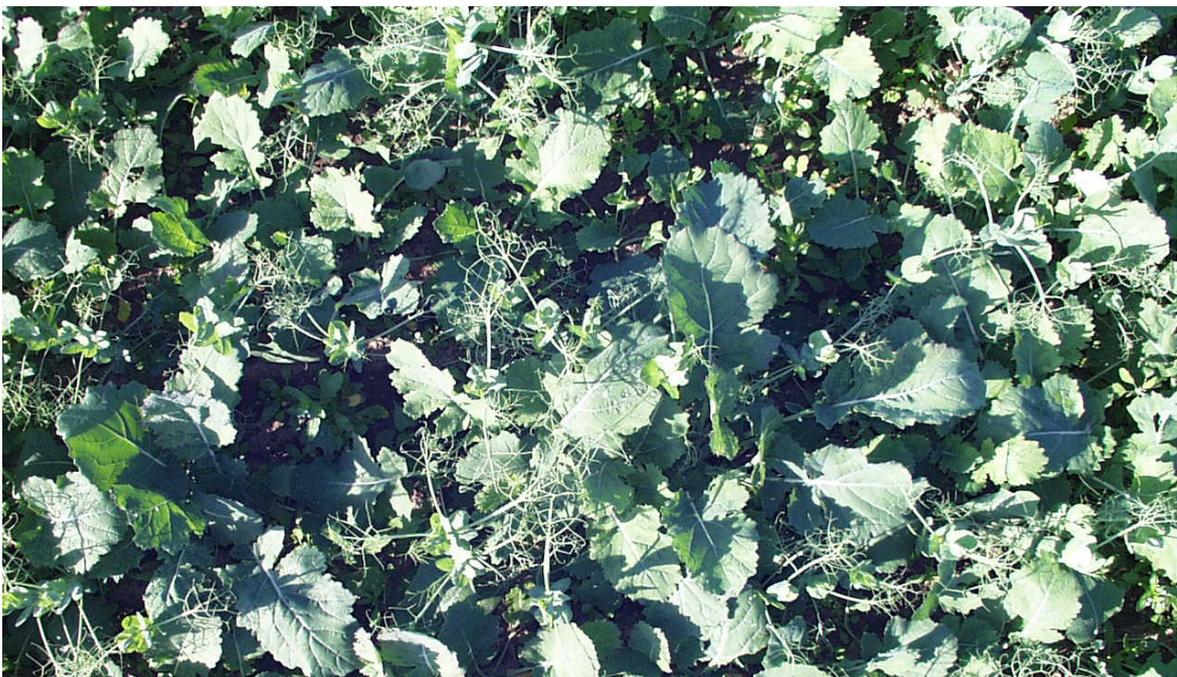


Abb. 23: Bestandesentwicklung von Wintererbsen mit Beisatvariante Erbse; starke Verunkrautung; 7.10.2004, Müncheberg

Die Aussaat der Versuche erfolgte 2004 am 20. August, 2005 am 19. August. Vorfrucht war in beiden Fällen Luzernekleegrass. Die geringen Aufwuchsleistungen der blauen Lupine lagen sowohl 2004 (Abb. 24 und Tab. 32) als auch 2005 (Abb. 25 und Abb. 26) in einem starken Wildverbiss begründet, was sich auch bei den Beisatversuchen mit Wintergetreide unter Praxisbedingungen als gravierendes Problem erwies. Wo die in den Exakt- und Praxisversuchen unternommenen Schutzmaßnahmen (Elektrischer Weidezaun) versagten, war zu beobachten, dass insbesondere durch Niederwild die blaue Lupine selektiv stark geschädigt wurden (Pflanzenverluste: blaue Lupine < 80%; Erbsen < 5%).

Tab. 32: Aufwuchs und Stickstoffmenge in TM von Raps, Leguminosen und Unkraut, Beprobungs-termin: 04.11.2004; Müncheberg, 2004/05

Beisaat-variante	Aufwuchs [TM dt ha ⁻¹]			N-Mengen im Aufwuchs [kg N ha ⁻¹]		
	Raps	Körner-legum.	Unkraut	Raps	Körner-legum.	Unkraut
ohne	7	-	7	28	-	26
blaue Lupine	10	0,5	5	37	1	21
Erbse	9	5	5	34	15	21

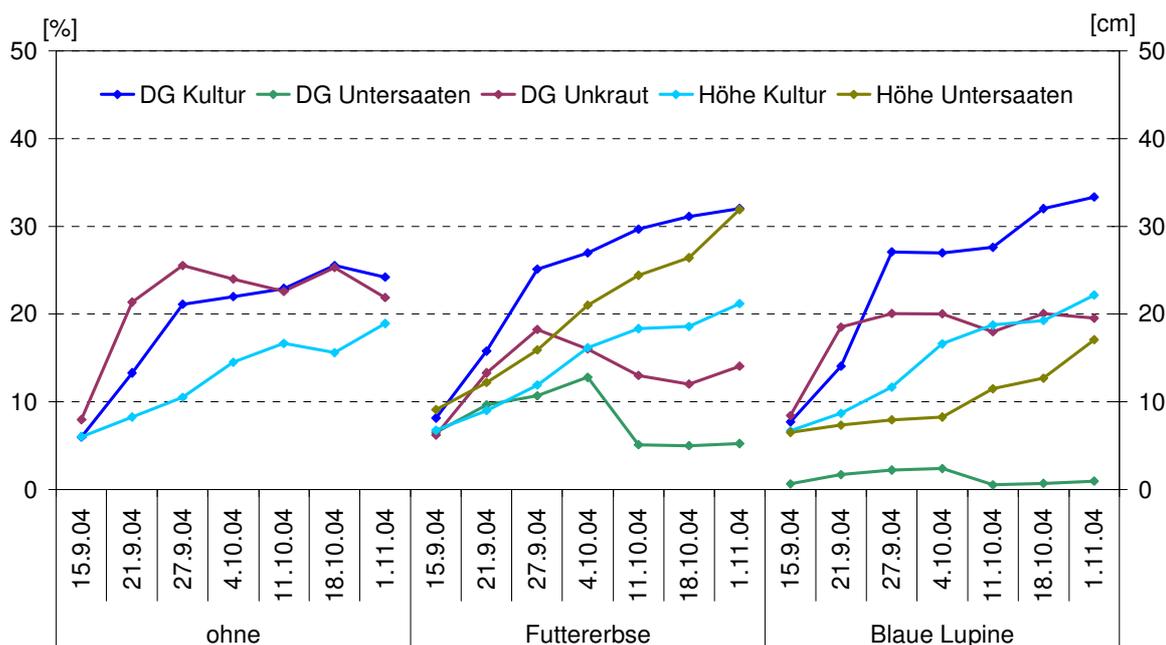


Abb. 24: Herbstentwicklung der Deckungsgrade und Bestandeshöhen von Winterraps, Beisat, und Unkraut Rapsversuch in Müncheberg, 2004/05;

Die Deckungsgrade von Kultur, Beisaaten und Unkraut in Abb. 26 zeigen zum Ende der Vegetationsperiode 2005 einen signifikant höheren Unkraut-Deckungsgrad in den Parzellen ohne Beisat. Auf Grund von Expertenbefragungen wurden 2005 als nicht winterharte Futterleguminosen die als trockenheitstolerant eingestufte Serradella (*Ornithopus sativus*, L.) und der Perserklee (*Trifolium resupinatum*, L.) als zusätzliche Beisatvarianten in den Versuch mit aufgenommen. Die Serradella erreichte mit 57% den signifikant höchsten Deckungsgrad. Während die Erbse mit 33% Deckungsgrad (Abb. 26) aber ähnlich hohen N-Mengen im Aufwuchs (Abb. 25) zwar deutlich hinter der Serradella zurückblieb, schlug sich dies nicht in einer geringeren Reduzierung des Unkrautdeckungsgrades nieder (Abb. 26), was mit der deutlich geringeren Wuchshöhe der Serradella zu erklären ist.

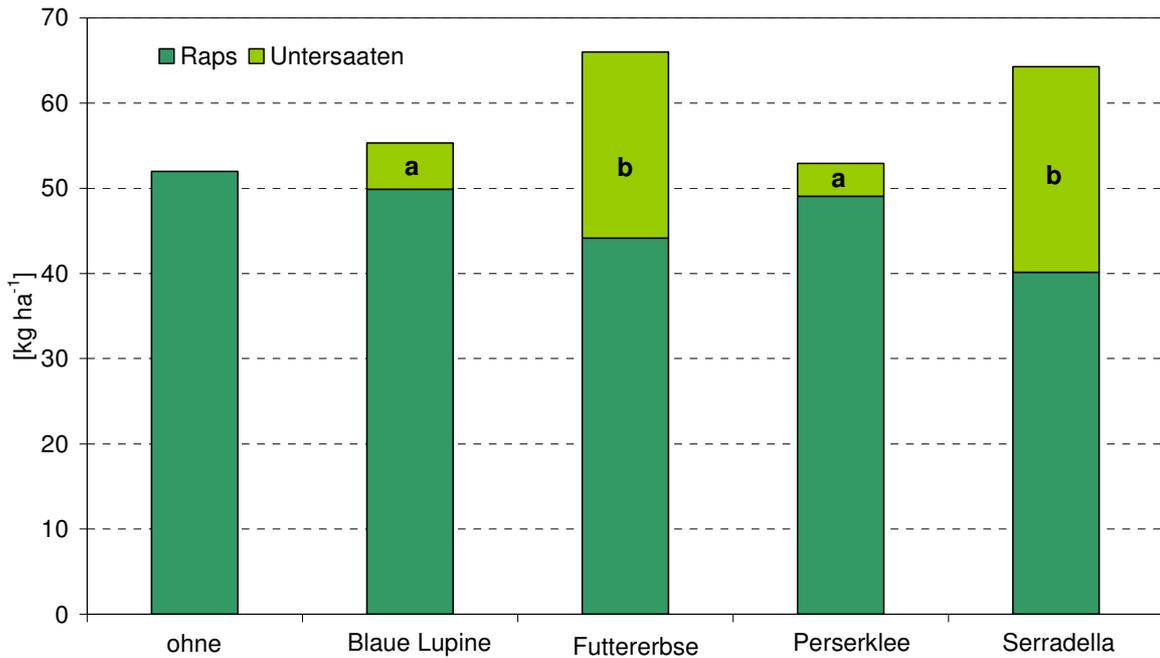


Abb. 25: Stickstoff in der Biomasse des oberirdischen Aufwuchs von Winterraps und Leguminosen, am 6.10.05, unterschieden nach Art der Beisat, Müncheberg, 2005/06

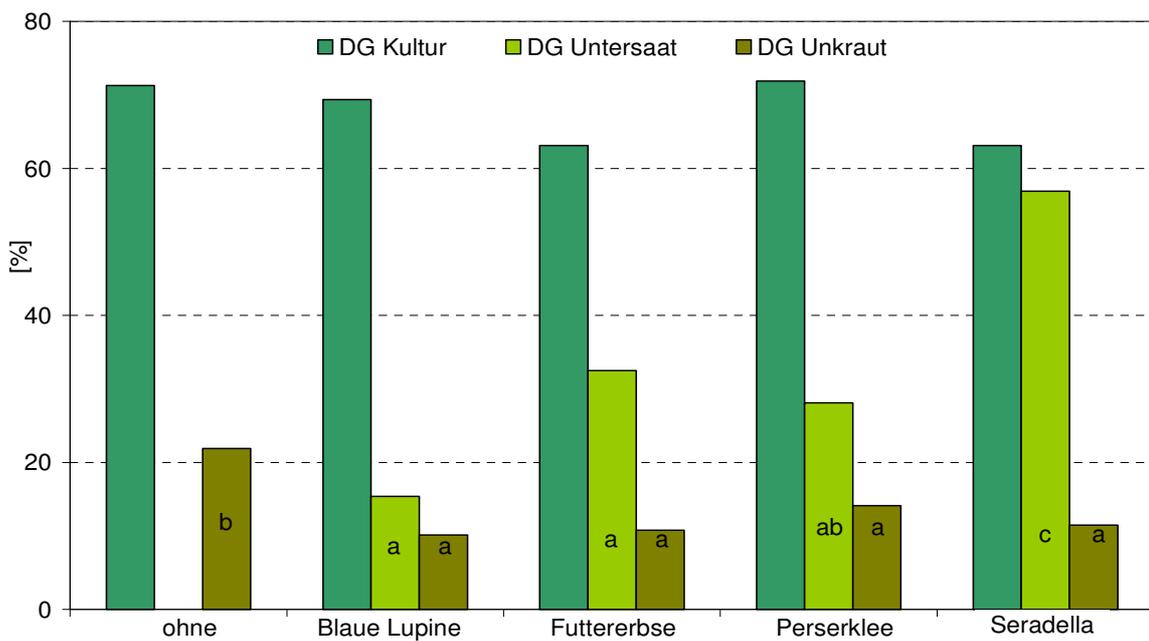


Abb. 26: Deckungsgrade von Kultur, Beisat und Unkraut, Rapsversuch Müncheberg 2005/06 vom 18. 11.2005, getrennt nach Art der Beisat

Die N-Gehalte vor Winter im Aufwuchs von Winterraps, Beisaten und Unkraut des ersten Versuchsjahres sind in Tab. 32 und des zweiten in Abb. 25 wiedergegeben.

Deutlich zeigt sich die Unkrautkalamität von 2004 in Tab. 32 in den vergleichbaren N-Gehalten von Raps- bzw. Unkrautbiomasse. Die geringen Leguminosenaufwüchse der

Erbse und vor allem der blauen Lupine konnten die Verunkrautung 2004 nicht erkennbar reduzieren, was sich sowohl in den Deckungsgraden (Abb. 24) als auch in den Aufwüchsen widerspiegelt (Tab. 32).

2005 erreichten Erbsen und Serradella signifikant höhere Stickstoffmenge im Aufwuchs als Blaue Lupine und Perserklee (Abb. 25: Blaue Lupine: 5,5; Erbse: 21,8; Perserklee 3,9 und Serradella 24,1 kg N ha⁻¹). Die Vorwinter-Stickstoffaufnahmen der Rapsbiomasse in der einzelnen Beisatvarianten unterschieden sich in beiden Jahren nicht signifikant, erreichten aber 2005 mit durchschnittlich 49 kg N ha⁻¹ insgesamt um 15 kg N ha⁻¹ höhere N-Aufnahmen.

3.2.1.2 Einfluss der Beisaaten auf die N_{min}-Gehalte der Böden

Die nachweisbare N_{min}-Menge im Profil vor Winter war bei allen Beisatvarianten annähernd gleich gering und lag 2004 etwas über 10 kg N ha⁻¹ und 2005 unter 10 kg N ha⁻¹. Dabei befand sich der größere Anteil noch innerhalb der Krume.

Im nachfolgenden Frühjahr 2006 weisen zu Anfang der Vegetationsperiode die Parzellen der Beisatvariante Serradella verglichen zur Reinsatvariante signifikant gering höhere N_{min}-Gehalte (< 10 kg ha⁻¹) im Oberboden auf.

Zieht man die sehr ungünstige Trockenheit im Herbst 2005 (Abb. 4) dass die daraus resultierende geringen N-Aufnahme (Serradella: 23 kg N ha⁻¹ Abb. 25) in Betracht, können diese gering höheren Werte durchaus als ein positiver Beitrag des Beisatverfahrens zur N-Versorgung von Winterraps gewertet werden. So entsprechen 10 kg N ha⁻¹ rein rechnerisch ca. 2 dt⁻¹ ha Mehrertrag.

Dennoch muss auf Grundlage der Ergebnisse vom Standort Müncheberg davon ausgegangen werden, dass die Hauptrisiken des Rapsanbaus auf leichten Standorten a) Verunkrautungsgefahr und b) mangelhafte N-Versorgung auch mit Hilfe sich stark entwickelnder Leguminosenbeisaaten wie Serradella nur geringfügig reduziert werden können.

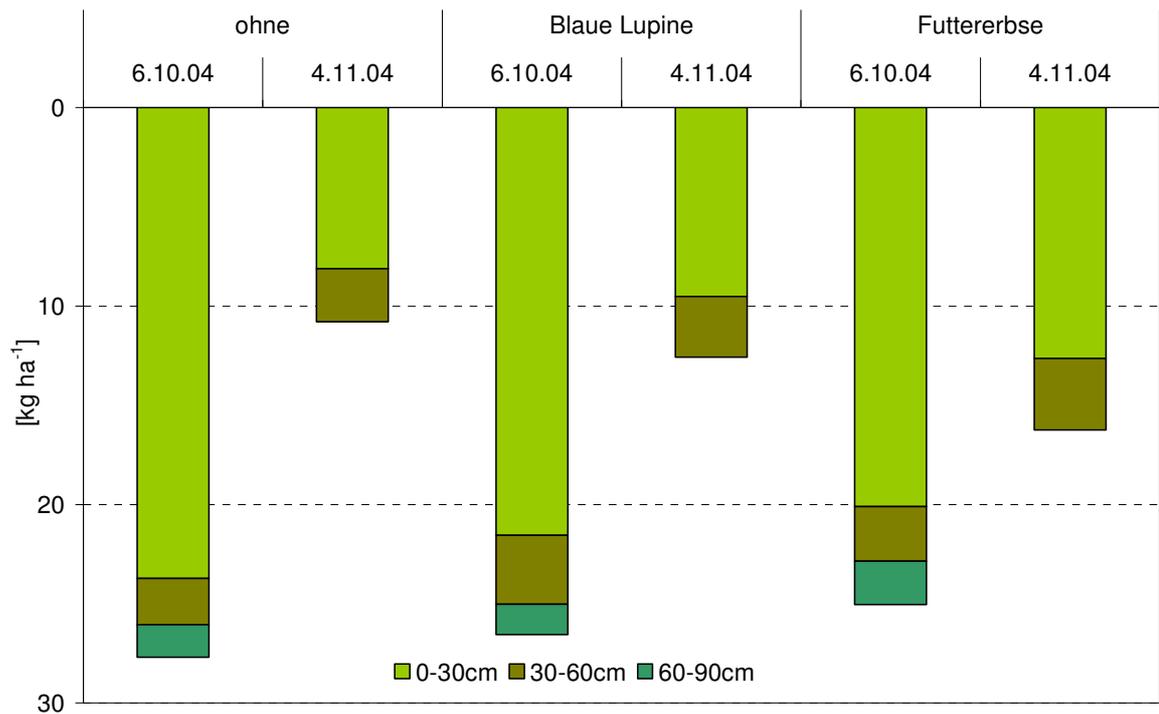


Abb. 27: N_{min}-Mengen im Boden unter Raps am 06.10.04 und am 04.11.04 unterschieden nach Beisat, Versuchsstandort Müncheberg

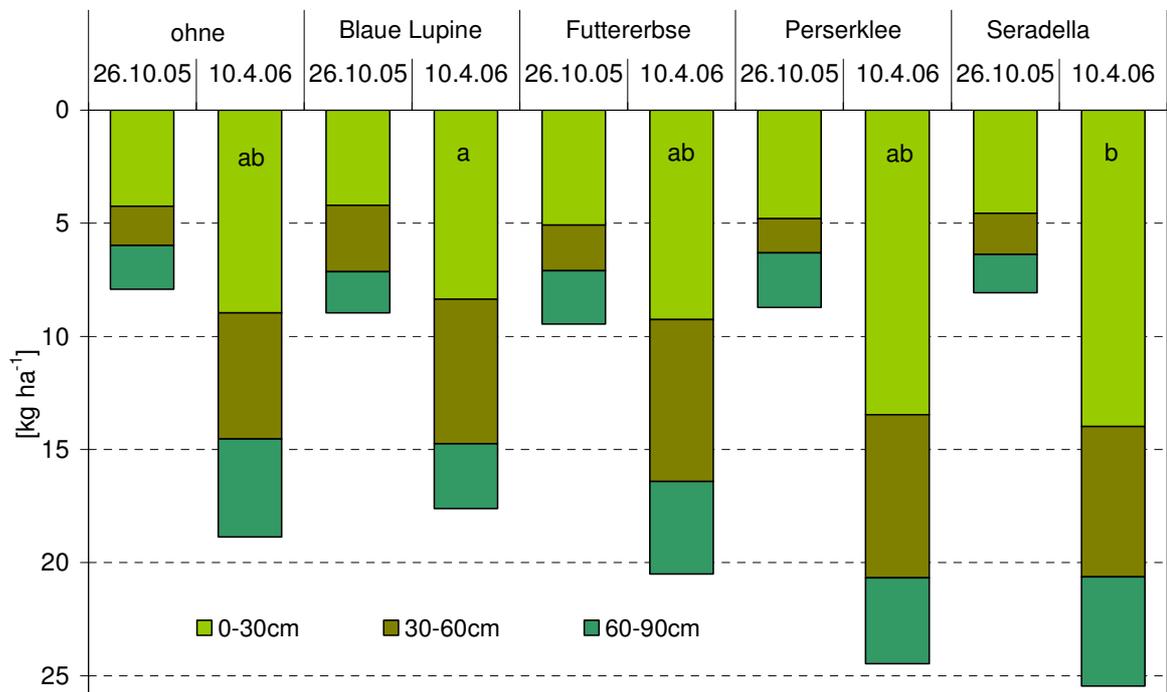


Abb. 28: N_{min}-Mengen im Boden von 0-90 cm. Mittelwerte der Proben von Ende Oktober 2005 und Anfang April 2006, getrennt nach Art der Beisat, Versuchsstandort Müncheberg. (Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede in der Bodenschicht 0-30 cm am 10.04.06)

3.2.2 Praxisversuche

3.2.2.1 Biomasseentwicklung von Beisat, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht

In Abb. 30 sind die Deckungsgrade von Winterraps, Beisat und Unkraut und in Abb. 31 die mittleren Pflanzenhöhen von Winterraps und Beisat zum Herbsttermin aus beiden Versuchsjahren dargestellt. Bei insgesamt geringen Unkrautdeckungsgraden, lagen 2004 die Werte der Beisatvarianten lagen signifikant unter denen der Reinsaatvariante. Der Vergleich der mittleren Wuchshöhen von 2004 mit denen von 2005 zeigt, dass 2004 der Winterraps von den Beisaaten deutlich überwachsen wurde. Dies verdeutlicht auch Abb. 29, einer Aufnahme der Versuchsvarianten mit Erbsen- bzw. Lupinenuntersaat vom 26. Oktober 2004.



Abb. 29: Winterraps-Beisaatenversuch Wilmersdorf , 26.10.04

Bedingt durch die außergewöhnlich milde Witterung im Herbst 2004 entwickelten sich die Erbsen und Lupinen auf den besseren Böden im Wilmersdorf so stark, dass der Raps in seiner Entwicklung behindert wurde und im Vergleich zur Variante ohne Beisat signifikant geringere Pflanzenmasse ausbilden konnte (Tab. 33). Die N-Gehalte der oberirdischen Biomasse (Tab. 34) vom 8. Nov. 2004 belegen, dass die Körnerleguminosen beträchtliche N-Mengen bis Vegetationsende aufnehmen konnten, was aber konkurrenzbedingt zu geringeren N-Aufnahmen der Rapspflanzen führte. Die signifikanten Unterschiede in den

N-Mengen im Unkrautwuchs der einzelnen Varianten (Tab. 34) sprechen für eine unkrautunterdrückende Wirkung der legumen Beisaaten.

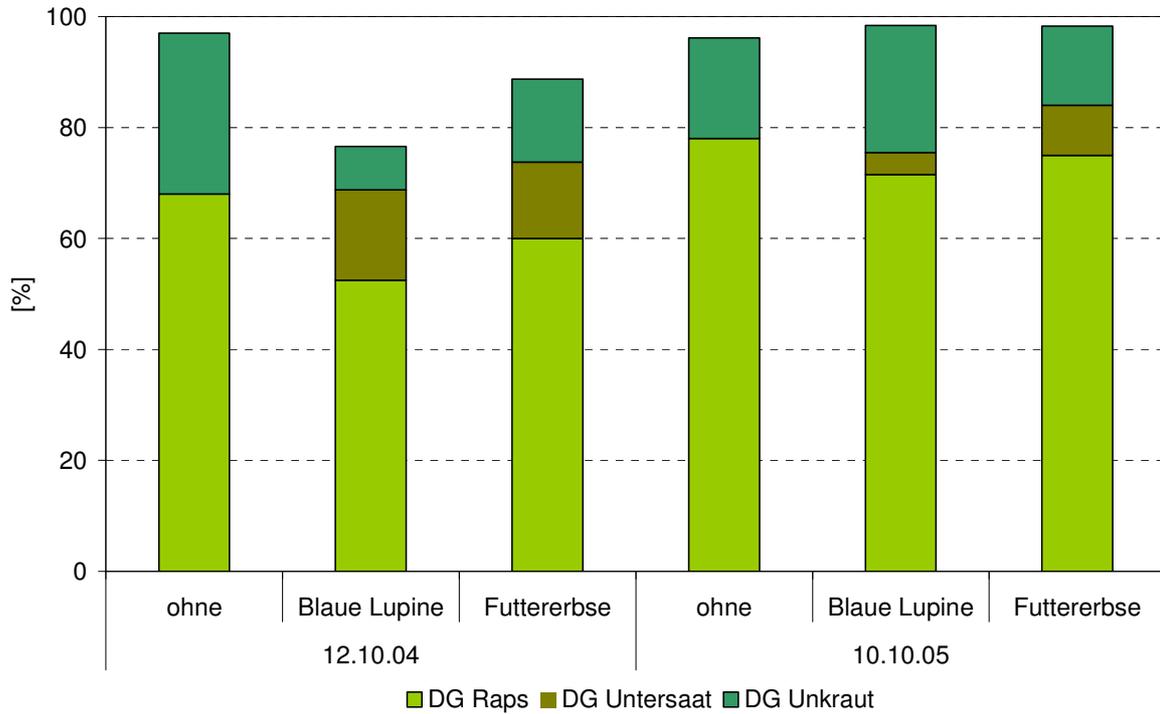


Abb. 30: Deckungsgrade von Winterraps, Beisat und Unkraut im Herbst, Wilmersdorf, 2004/05 und 2005/06

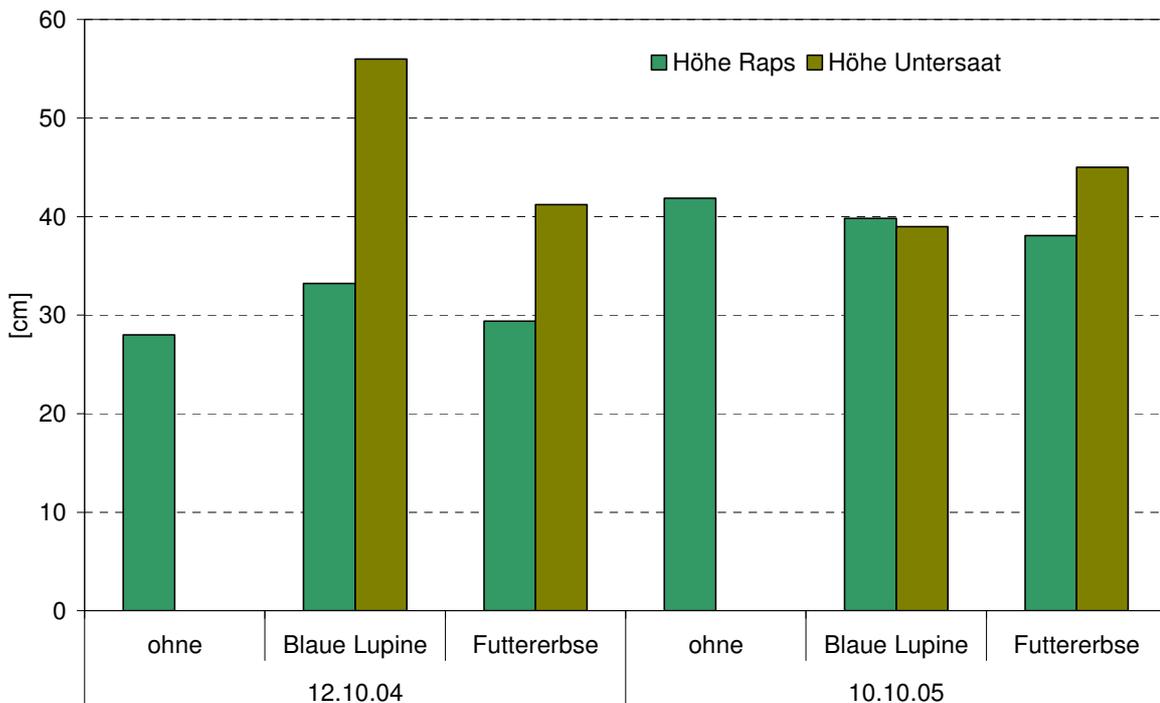


Abb. 31: Bestandeshöhen von Winterraps, Beisat und Unkraut im Herbst, Wilmersdorf, 2004/05 und 2005/06

Tab. 33: Aufwuchs von Winterraps, legumen Beisaaten und Unkraut vom 08.11.2004 bzw. 24.10.05, Versuchsstandort Wilmersdorf, (unterschiedliche Buchstaben bei gleichen Indices kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede; $\alpha = 0,05$)

Beisaat- variante	08.11.2004				24.10.2005			
	Raps	Körner- legum.	Unkraut	ges.	Raps	Körner- legum.	Unkraut	ges.
	[dt TM ha ⁻¹]							
ohne	19,7 a	0	5,5 a	25,2	41,3 a	0	< 0,5	41,3
blaue Lupine	7,8 b	14,8 a	3,5 a	27,1	36,0 ab	2,0 b	< 0,5	38,0
Erbse	9,0 b	23,9 a	3,9 a	36,8	32,8 b	7,6 a	< 0,5	40,4
$\alpha =$	0,05	0,05	0,05	-	0,10	0,05	-	-

Unkraut wurde wegen des geringen Mengenaufkommens in 2005 nur exemplarisch an drei Proben erhoben

Tab. 34: Stickstoffgehalt im Aufwuchs von Winterraps, legumen Beisaaten und Unkraut vom 08.11.2004 bzw. 24.10.05, Versuchsstandort Wilmersdorf (unterschiedliche Buchstaben bei gleichen Indices kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede)

Beisaat- variante	08.11.2004				24.10.2005			
	Raps	Körner- legum.	Unkraut	ges.	Raps	Körner- legum.	Unkraut	ges.
	[kg N ha ⁻¹]							
ohne	51,8 a		9,7 b	64,4	129,7 b		< 0,5	129,7
Erbse	24,4 b	84,1 a	3,9 a	112,4	109,2 ab	24,4 a	< 0,5	133,6
blaue Lupine	27,6 b	49,8 a	3,5 a	80,9	100,1 a	5,5 b	< 0,5	106,6
$\alpha =$	0,05	0,05	0,05	-	0,10	0,05	-	-

Unkraut wurde wegen des geringen Mengenaufkommens in 2005 nur exemplarisch an drei Proben erhoben

Zur Abschätzung der N₂-Fixierung der Leguminosen wurde die Differenzmethode nach La Rue & Patterson (1981) modifiziert:

$$N_{\text{Fix}} = N_{\text{Leg}} - (N_{\text{Raps Reinsaat}} + N_{\text{Unkr Reinsaat}} - N_{\text{Raps Beisat}} - N_{\text{Unkr Beisat}}) \quad [\text{kg N ha}^{-1}]$$

N_{Leg} = N-Menge im Leguminosenaufwuchs; $N_{\text{Raps Reinsaat}}$ = N-Menge im Rapsaufwuchs der Reinsaatvariante; $N_{\text{Unkr Reinsaat}}$ = N-Menge im Unkrautwuchs der Reinsaatvariante; $N_{\text{Raps Beisat}}$ = N-Menge im Rapsaufwuchs der Beisatvariante; $N_{\text{Unkr Beisat}}$ = N-Menge im Unkrautwuchs der Beisatvariante

Somit erreichte die Erbsenbeisat eine Fixierungsleistung von 50 kg ha⁻¹ und die durch Wildverbiss geschädigte Lupinenbeisat nur etwa 20 kg ha⁻¹ (Tab. 35).

Tab. 35: Stickstoffgehalte im Aufwuchs von Winterraps vom 08.11.2004 und 19.05.05; Abschätzung der N-Aufnahme von Raps nach Winter aus Leguminosenresiduen und Abschätzung der N-Fixierung der legumen Beisaaten; Versuchsstandort Wilmersdorf

Beisaatvarianten	N-Mengen im Aufwuchs [kg N ha ⁻¹]			N-Aufnahme nach Winter [kg N ha ⁻¹]		N _{fix} ²⁾ [kg N ha ⁻¹]
	8.Nov		19.Mai	von 8.Nov bis 19.Mai	Δ N ¹⁾	8.Nov
	Raps	Leguminose	Raps			
Raps ohne	51,8	-	81,2	29,4		
Raps + Erbse	24,4	84,1	75,9	51,5	22,1	50,9
Raps + Lupine	27,6	49,8	66,3	38,8	9,4	19,4

¹⁾ Mehraufnahme von Winterraps mit legumer Beisaat im Vergleich zu Raps ohne

²⁾ N₂-Fixierung nach Differenzmethode



Abb. 32: Winterraps-Beisaatenversuch Wilmersdorf, Beisaatvariante Erbse, 24.10.05

Die Herbstentwicklung der Bestände im zweiten Versuchsjahr unterschied sich deutlich von der in 2004 (Abb. 32). So entwickelte vor Winter der Winterraps durch die bessere Wasserversorgung im Zeitraum Ende August bis Ende September und der daraus folgenden höheren N-Mineralisation aus den Klee grasresiduen ein Mehrfaches an Biomasse. Analog bildeten die Leguminosen deutlich geringere Biomassen aus. Die Stickstoffmenge im Erbsenaufwuchs erreichte mit 24 kg N ha⁻¹ nur ein Drittel des Vorjahreswertes.

Wie von Heuwinkel et al. (2005) für Klee gras beschrieben, sind bei guter N-Versorgung die Nichtleguminosen bei geringer N-Versorgung die Leguminosen im Wachstum überlegen. Die Unterschiede in der Biomasseentwicklung von Raps und Beisaat zwischen 2004

und 2005 dürften somit durch die witterungsbedingt starker Unterschiede in der Höhe der N-Mineralisation nach dem Klee grasumbruch zu erklären sein. So war die Niederschlagsmenge und -verteilung ab August 2005 deutlich günstiger als 2004.

Die Lupinen konnten auch im Herbst 2005 trotz Wildschutzmaßnahmen nicht ausreichend vor Verbiss geschützt werden. Dies führte verglichen mit Erbse wiederum zu einer wesentlich geringeren Biomassebildung.

Neben der Herbstentwicklung verfiel auch die im Folgenden dargestellte Entwicklung von Kultur und Unkraut nach dem Abfrieren der Beisat in den Wintermonaten in den beiden Versuchsjahren sehr unterschiedlich.

Im Winter 2004/2005 legten sich die abgefrorenen Erbsen auf die Rapsbestände, so dass in den Parzellen mit Erbsenbeisat der Raps in seiner weiteren Entwicklung beeinträchtigt wurde. Die ebenfalls sicher abgefrorenen Lupinen blieben aber stehen und lagerten sich nicht wie die Erbsen. Somit wurde die weitere Entwicklung des Winterrapses unter den Lupinen wesentlich weniger stark gestört (Abb. 33).



Abb. 33: Rapsschlag mit abgefrorenen Beisaten, Aufnahme vom 07.01.2005, Versuchsstandort Wilmersdorf, linke Bildseite Raps mit abgefrorenen Erbsen, rechts mit Lupinen

Die zum Zeitpunkt der Rapsblüte am 19.5.2005 beerntete oberirdische Biomasse wies weder für den Raps noch für das Unkraut statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Beisatvarianten aus (Abb. 35). Das teils immer noch bodendeckend vorhandene Erbsenresiduen zeigte die gestörte Bestandesentwicklung von Winterraps die sich auch deutlich in der Entwicklung der Deckungsgrade (DG) nach Winter widerspiegelt (Abb. 34). Dabei war der DG von Winterraps der Beisatvariante „Erbse“ Anfang April mit 25% nur halb so groß wie in der Reinsaatvariante (Abb. 34). An einzelnen Boniturpunkten

erreichte der Deckungsgrad der Erbsenresiduen noch Mitte Mai 2005 30% bei N-Gehalten von 15 kg ha⁻¹.

Dennoch konnten die Rapspflanzen mit Erbsenbeisat den vor Winter deutlichen Wachstumsrückstand bis zur Blüte etwas aufholen, was sich in der Differenz der N-Gehalte vom 8. Nov. und vom 19. Mai widerspiegelt (Tab. 35). Die Rapspflanzen nahmen aus dem Residual-N der Erbsen 22 kg mehr als die Reinsaatvariante auf, was aber nur etwa 25% des Biomasse-N der Erbsen vor Winter ausmacht. Die Reinsaatvariante erreichte bis zur Blüte die im Vergleich höchste N-Aufnahme, was zumindest teilweise den höchsten Kornertrag bei der Reinsaatvariante erklärt (Abb. 36)

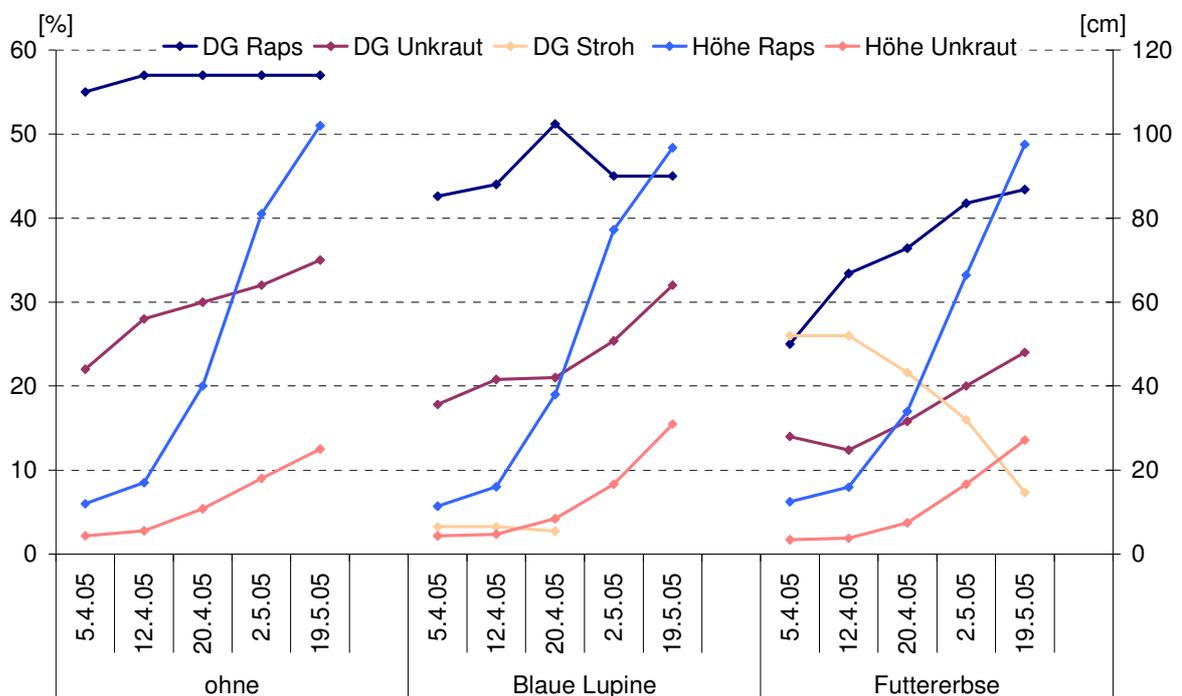


Abb. 34: Rapsversuch in Wilmersdorf, 2004/05; Frühjahrsentwicklung der Deckungsgrade und Bestandeshöhen von Hauptfrucht, Beisat, und Unkraut

Wie schon erwähnt fiel der Herbstaufwuchs von Raps im zweiten Versuchsjahr mit bis zu 40 dt TM ha⁻¹ wesentlich stärker als im Vorjahr aus. Die Rapspflanzen erreichten vor Winter bereits BBCH-Stadien größer 33. In der Folge wurde der gesamte Rapsbestand durch die überdurchschnittlich kalte und lang anhaltende Frostperiode des Winters 2005/2006 schwer geschädigt. Die Pflanzen verloren fast ihre gesamte Blattmasse und konnten, wenn nicht gänzlich abgestorben, nach Winter nur aus dem unteren Knospen der Strünke Seitentriebe bilden (Abb. 37). Bei den DG ergaben sich zwischen den Saatvarianten bei der Entwicklung nach Winter keinerlei Unterschiede (Abb. 38), weshalb zusammen

mit der frostbedingten hohen Bestandesheterogenität auf eine differenzierte Ertragshebung verzichtet werden musste. Das Ertragsniveau des Gesamtschlages lag bei 4 - 5 dt ha⁻¹.

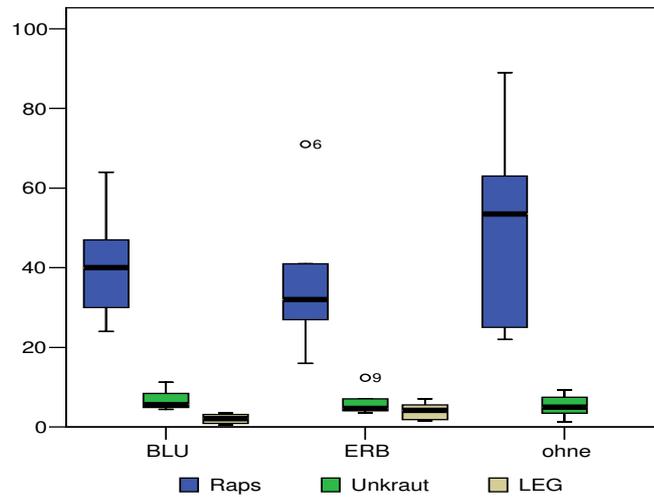


Abb. 35: Aufwuchs [dt TM ha⁻¹] von Raps, Unkraut und Leguminosenstroh zum Zeitpunkt der Rapsblüte am 19.05.05, Standort Wilmersdorf

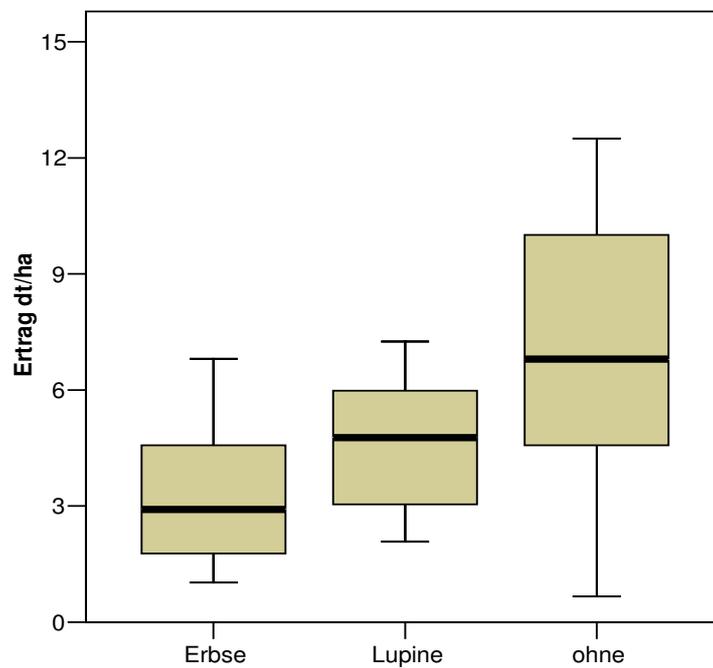


Abb. 36: Winterrapsenerträge Erntejahr 2005, Standort Gut Wilmersdorf, getrennt nach Beisat



Abb. 37: Winterraps am 11.04.2006, Parzelle mit Erbsen-Beisat, Versuchsstandort Wilmersdorf,

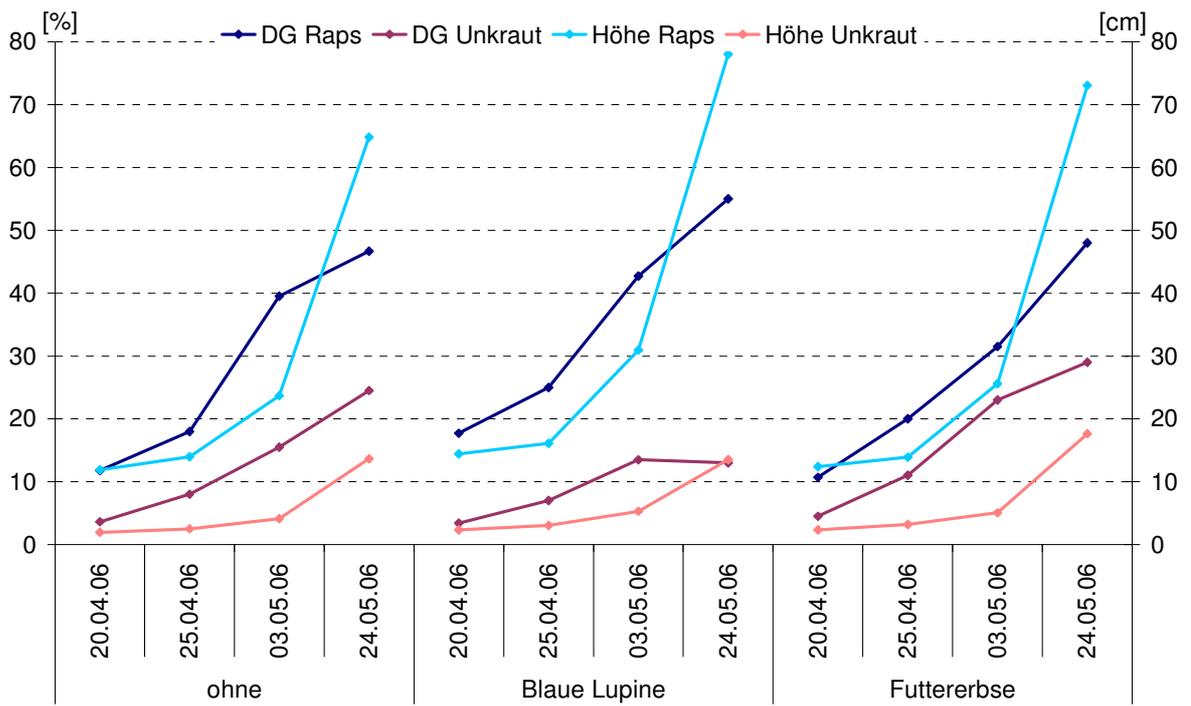


Abb. 38: Deckungsgrade (DG) von Winterraps und Unkraut zu fünf Boniturzeitpunkten, Erntejahr 2006, getrennt nach Beisat, Versuchsstandort Wilmersdorf

3.2.2.2 Einfluss der Beisaaten auf den Ertrag der Hauptkultur Winterraps

Die Rapsertträge im Praxisversuch wurden mit Hilfe des, mit Erntemonitor und DGPS ausgerüsteten, betriebseigenen Mähdreschers erhoben. Abb. 39 zeigt die Erträge des ersten Versuchsjahres, wie sie unmittelbar aus den Rohdaten mit Hilfe der Software Agromap erstellt und auf 9% Kornfeuchte korrigiert wurden. In Abb. 39 sind die korrigierten Daten wiedergegeben.

Die Variante Raps ohne Beisaat erzielte einen signifikant höheren Ertrag als die beiden Varianten mit Beisaaten Abb. 36. Das sehr geringe Ertragsniveau (Mittelwerte 2005: ohne: 7,6; Erbse: 3,2 und Lupine: 4,6 dt Körner ha⁻¹) war unter Berücksichtigung der guten Bestandesentwicklung und N-Aufnahme bis zur Blüte (vgl. N-Gehalte in Tab. 35) nicht befriedigend und durch starken Schadinsektenbefall während der Blüte verursacht.

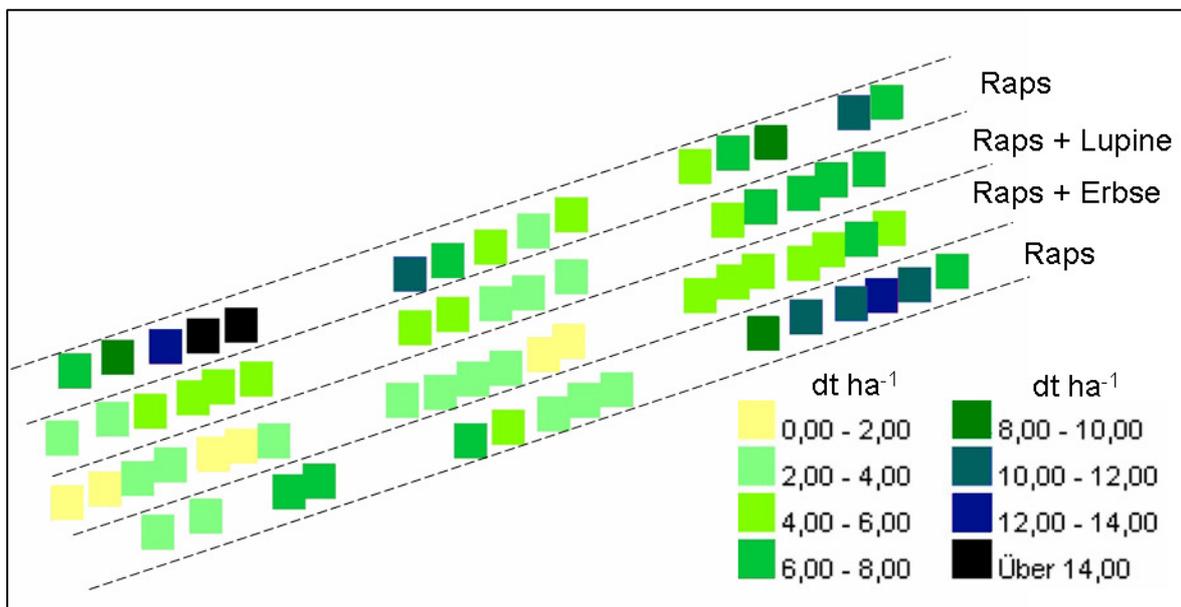


Abb. 39: Ertragskarte aus den beim Drusch erhobenen, DGPS-referenzierten Ertragsdaten, Erntejahr 2005, Standort Wilmersdorf (Längsparzellen 250 m)

Die ertragsreduzierende Wirkung vor allem der Erbsenuntersaat zeigte zum einem das Risiko dieses Anbauverfahrens zum anderen aber auch, dass selbst hohe Residualmengen bei trockener Frühjahrswitterung nur begrenzt zu einer bedarfsgerechten Versorgung des Winterraps beitragen können. Nennenswerte Auswaschungsverluste während der Wintermonate 2004/05 sind auf Grund der N_{min}-Gehalte vor bzw. nach Winter (Abb. 40) und der geringen Niederschläge in diesem Zeitraum nicht zu erwarten. Inwieweit gasförmige N-Verluste in Form von NH₃ oder N₂O auftraten, lässt sich nach dem heutigen Wissenstand nicht angeben. Weitere Versuche z. B. mit geringeren Saatstärken bei den Beisaaten sind notwendig um dieses Anbauverfahren weiterzuentwickeln bzw. in seiner Leistungsfähig-

keit in Hinblick auf N-Versorgung besser beurteilen zu können. Die eingesetzte Saattechnik konnte in beiden Jahren mit gleichmäßig hohen Feldaufgängen und guter Pflanzenverteilung von Hauptfrucht und Beisat überzeugen.

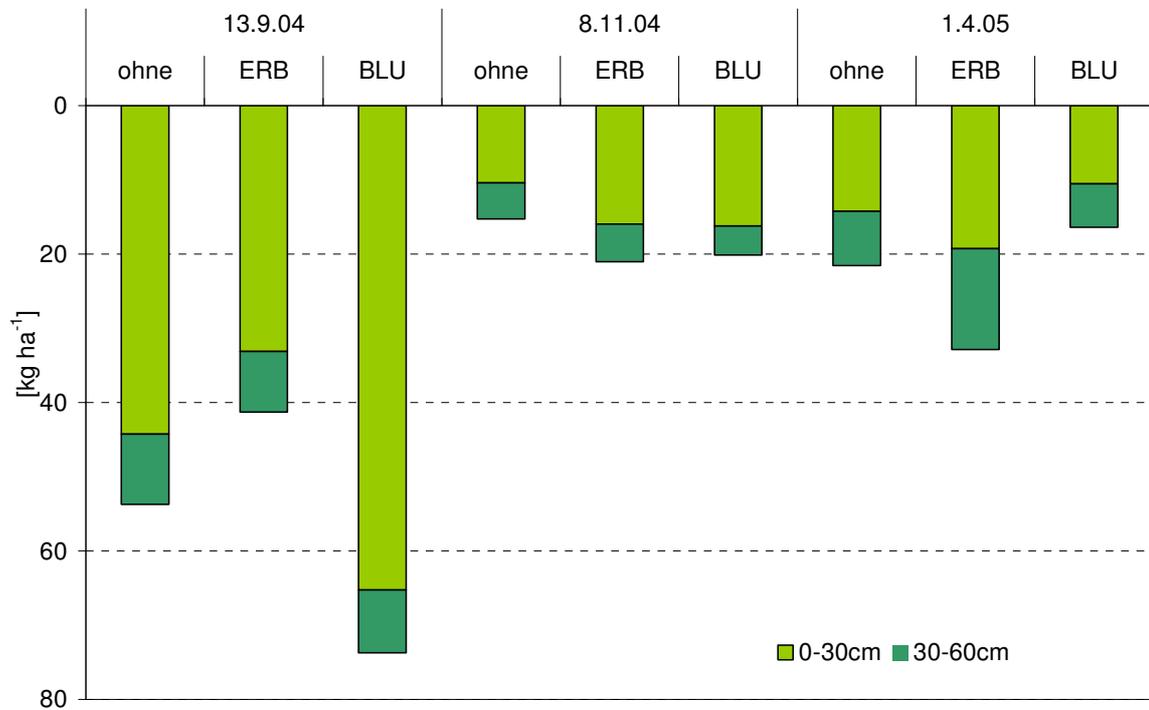


Abb. 40: N_{min} -Mengen im Boden zu drei Terminen, Rapsversuch 2004/05; Standort Wilmersdorf

3.3 Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee-grasunter-saaten

Nach Körnerleguminosen ergibt sich ein erhöhtes NO_3 -Auswaschungsrisiko aus mineralisiertem Residual-N, das in Versuchen mit Grasuntersaaten erfolgreich reduziert werden konnte. Bereits 1992 belegten dies Aufhammer et al. (1992) für Ackerbohne (*Vicia faba*). In einem einjährigen Vorversuch konnte dies prinzipiell auch für Erbse (*Pisum sativum*), gelbe Lupine (*Lupinus Luteus*) und blaue Lupine (*Lupinus angustifolius*) gezeigt werden (Bachinger und Stein-Bachinger, 2000). Berg et al. (2003) konnten dies auch für die Untersaat Ölrettich und in geringerem Maße für die Untersaaten Welsches Weidelgras und Rotklee-gras ebenfalls in Ackerbohnen bestätigen. Sie weisen allerdings auf die hohe Unsicherheit bei der Etablierung des Ölrettich hin und empfehlen Grasuntersaaten, da diese in ihren Versuchen sicher zu etablieren waren und nachfolgend nennenswerte Stickstoff-mengen aufnehmen konnten.

Gerade für Trockenstandorte gehen Bachinger und Zander (2007) auf Grundlage von Expertenwissen von einer deutlich höheren Etablierungssicherheit von Untersaaten im Vergleich zu Stoppelzwischenfrüchten aus. Dennoch ist der Anbau von Gras- und Klee-grasuntersaaten in Erbsen und Blauen Süßlupinen bisher in der Praxis nicht verbreitet. Eigene im Rahmen des Projektes durchgeführte Umfragen ergaben, dass keiner der befragten Betriebsleiter in seinem Umfeld von einer Praxisanwendung derartiger Anbau-verfahren Kenntnis hatte ($n = 20$). Bekannt waren einzelne Betriebe im Süddeutschen Raum, die unter Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) erfolgreich Grasuntersaaten etablieren. Dazu wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 1995 bis 1997 an drei Standorten Versuche angelegt, die belegten, dass eine sichere N-Austragsreduktion mit Gras- bzw. Klee-grasuntersaaten in Ackerbohnen ohne Ertragsbeeinflussung der Hauptkultur zu erreichen ist Pommer (2000). In Rahmen dieser Versuche wurden auch Untersaaten bei gelber Lupine und bei Erbse nur Stoppelsaaten mit kruziferen Zwischenfrüchten untersucht. Die Auswertung der Lupinenvarianten musste aber durch den stark zunehmenden Anthraknosebefall auf das erste Versuchsjahr beschränkt bleiben.

Im Rahmen der Vorversuche am Standort Müncheberg war eine Reduktion der Spät-verunkrautung vor und nach der Ernte beobachtet worden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Gras- bzw. Weißklee-grasuntersaatversuchen getrennt nach Erbse und Lupine und nach Exakt- und Praxisversuchen dargestellt. Schwerpunkte bilden dabei der Einfluss der verschiedenen Untersaatvarianten auf die Beikrautentwicklung, auf die Bodennitratgehalte zur und nach der Ernte der Hauptfrüchte und auf die Ertragsentwicklung der Hauptfrüchte sowie der Folgefrucht Hafer.

3.3.1 Untersaatenversuche Erbse (Exaktversuche)

3.3.1.1 Biomasseentwicklung von Untersaat-, Ackerbegleitflora und Hauptfrucht

Das für den Exaktversuch gewählte Untersaatverfahren, durchgeführt mit einer Drillmaschine unmittelbar im Anschluss an die Hauptfruchtaussaat, erbrachte eine relativ gleichmäßige Etablierung, wenn auch mit bis zur Ernte teilweise sehr geringen Deckungsgraden (Abb. 41 u. Abb. 43). Mit dem gleichem Aussaatverfahren wurden 2005 auf den Betrieben 4, 5 und 6 Praxisversuche mit Grasuntersaaten in Erbsen angelegt. Allerdings wurden die Versuche auf Betrieb 4 durch trockenheitsbedingten weitgehenden Ertragsausfall ($3 - 5 \text{ dt ha}^{-1}$) und auf Betrieb 5 und 6 durch zu starke Verunkrautung und dadurch notwendiges z. T. mehrmaliges Striegeln für eine Auswertung unbrauchbar. Am Standort Wilmersdorf wurden dagegen zu einem deutlich späteren Untersaattermin (ca. 5 Wo.) bei der letzten Striegelmaßnahme mit der vorhandenen Untersaattechnik (Exaktstreuer im Frontanbau und Hackstriegel, 18 m Arbeitsbreite) bei blauer Süßlupine Versuche durchgeführt.

Im Versuchsjahr 2004 konnte die Untersaat bis zur Ernte an keinem Boniturtermin einen Deckungsgrad von 10% überschreiten. (Abb. 41). Die Erbse bildete über alle Versuchspartellen einen dichten, gut etablierten Bestand mit hoher Konkurrenzkraft und einem Deckungsgrad von nahezu 100%, was sich in Abb. 41 in dem Rückgang der Unkrautdeckungsgrade ab Ende Mai deutlich zeigt. Die Unkrautbedeckung des Bodens unter den Erbsen ohne Untersaat erreichte Mitte Mai zwar absolut mit 20% den höchsten Wert, lag jedoch im weiteren Vegetationsverlauf nur unwesentlich über den Untersaatvarianten.

Zwischen Erbsenblüte und Ernte erbrachten die Gräser bei weiterhin geringem Deckungsgrad durch den Übergang in die generative Phase, im Gegensatz zum abreifenden Unkraut, einen deutlich Bestandeszuwachs (Abb. 41 u. Abb. 42). Um Schäden zu vermeiden, konnten in den abreifenden Beständen in den letzten beiden Wochen vor der Ernte keine Bonituren mehr durchgeführt werden.

Die Vegetationsentwicklung in den beiden Folgejahren unterschied sich deutlich von der in 2004. In 2005 und 2006 wurden die Bestände schon kurz nach dem Auflaufen durch verschiedene Arten des Blattrandkäfers (*Sitona spec.*) geschädigt. Die witterungsbedingten geringen Bodenwassergehalte vor und insbesondere nach der Aussaat (hohe Temperaturen und keine nennenswerten Niederschläge für mehrere Wochen, siehe Abb. 3) behinderten in Verbindung mit dem Schädlingsbefall die Entwicklung der Hauptfrucht in 2005 zum Teil sehr erheblich, so dass nur drei der angelegten fünf Blöcke beerntet werden konnten. Die nicht beernteten Blöcke waren so stark geschädigt und infolgedessen verunkrautet, dass ein vorzeitiger Umbruch mit einer Zwischenfruchtansaat nötig wurde. 2006 wurden bei der Erbse nur geringe Fraßschäden bonitiert. Dennoch führte das extreme Niederschlagsdefizit während der Hauptwachstumsphase verbunden mit einer späteren Aussaat zu einem im Vergleich zu 2004 über zwei Wochen früheren Abreifen (Tab. 36) und deutlich niedrigerem Ertragsniveau (Abb. 47).

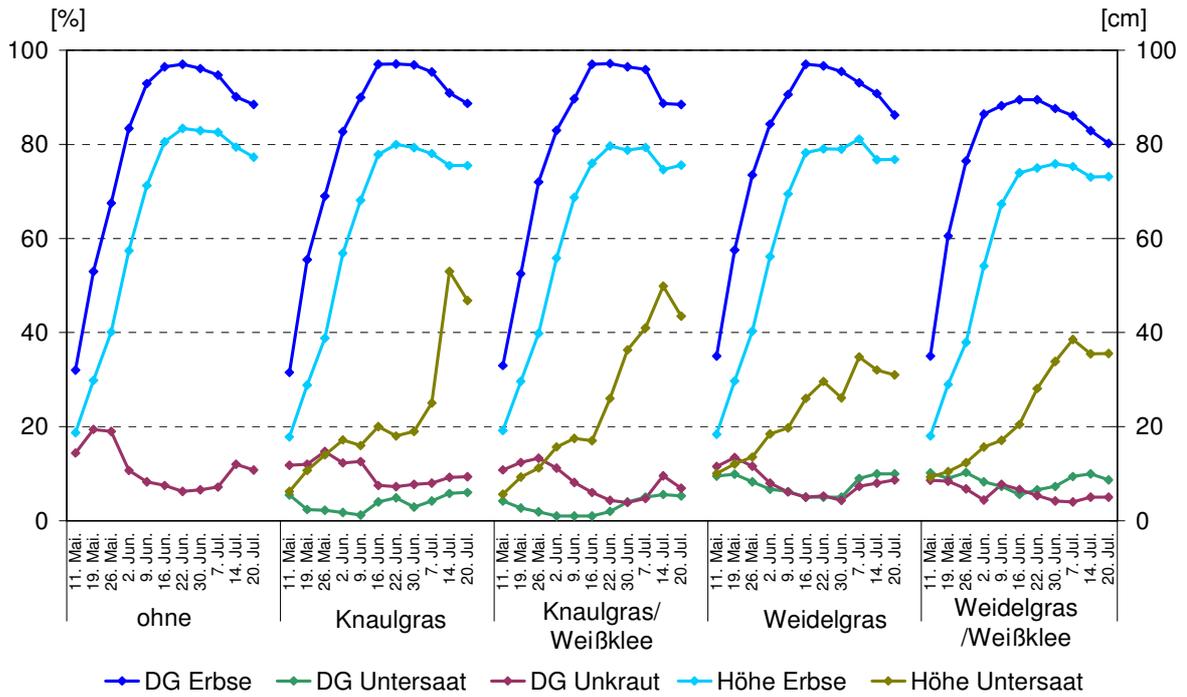


Abb. 41: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2004, Ernte: 29. Juli

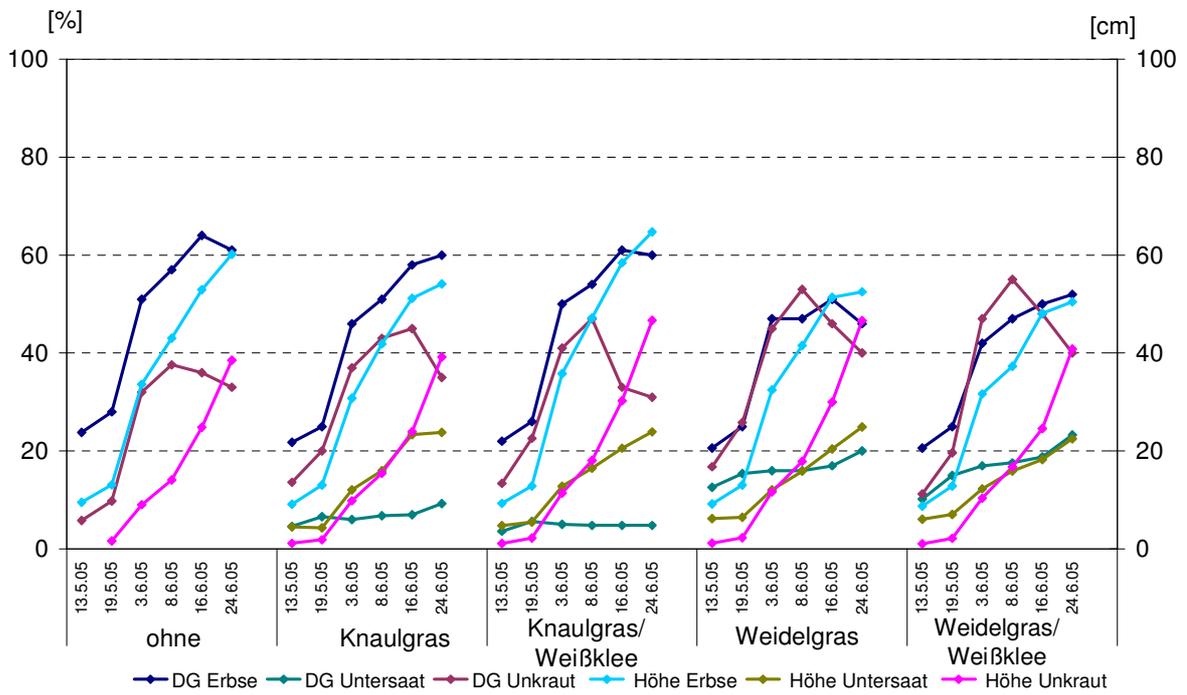


Abb. 42: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2005, Ernte: 27. Juli

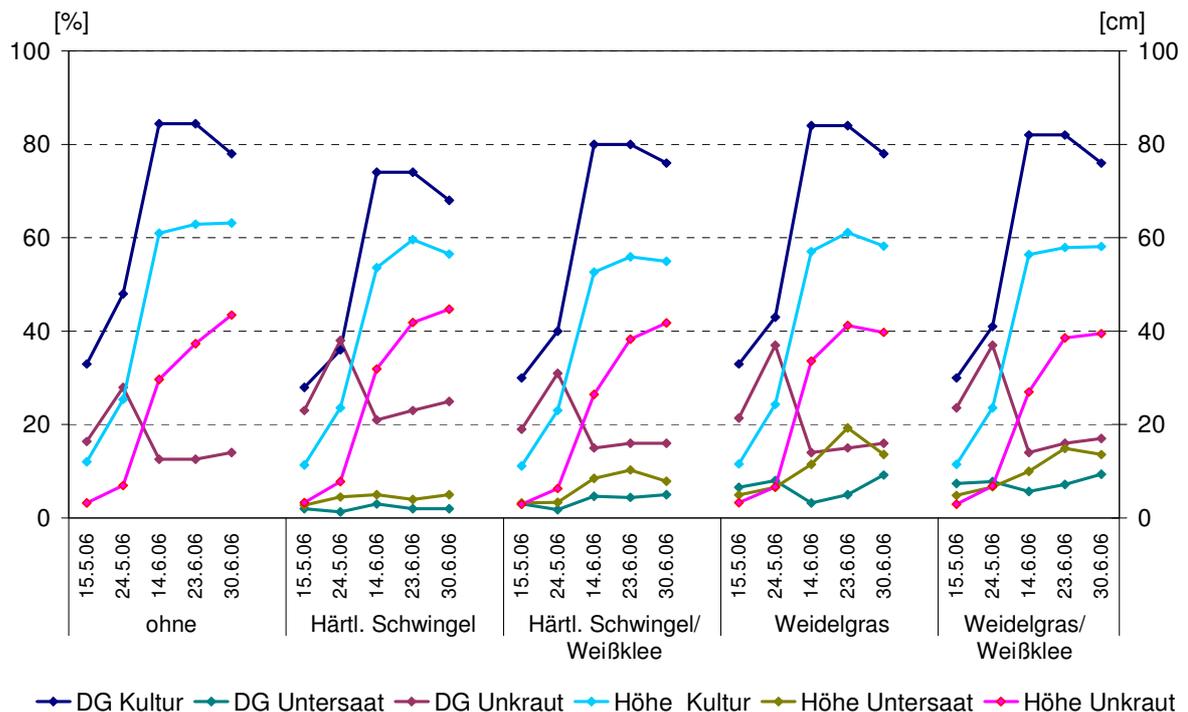


Abb. 43: Entwicklung der Deckungsgrade und Aufwuchshöhen getrennt nach Boniturdatum und Faktorstufe Untersaat, Erbsen, Müncheberg, 2006, Ernte: 12. Juli

Wie schon 2004 erreichte die Untersaat in den Erbsenversuchen auch 2005 und 2006 zu keinem der Boniturtermine einen Deckungsgrad von mehr als 10%, während die Unkräuter zum zweiten Boniturzeitpunkt bis an 40% DG heranreichen und dann ähnlich wie 2004 durch die fortschreitende Entwicklung der Erbsen zurückgedrängt wurden.

Die in 2006 witterungsbedingt deutlich frühere Abreife der Erbsen (Tab. 36) verursachte zusammen mit der bis zur Ernte anhaltenden ausgeprägten Trockenheit eine sehr zögerliche Entwicklung der Untersaaten. Diese konnten somit bis zur Ernte keinen Einfluss auf die Unkrautdeckungsgrade nehmen. Die Erfassung der Aufwuchsmengen von Ackerbegleitflora und Untersaat zum Erntetermin der Erbsen bestätigten die Boniturergebnisse der Bestandesentwicklung (Abb. 44). Im Versuchsjahr 2006 überstieg die Biomasse der Ackerbegleitflora die der Untersaat zur Erntetermin um ein Mehrfaches.

Bei insgesamt nur geringer Verunkrautung konnte 2004 eine leichte dennoch signifikante unkrautreduzierende Wirkung der Untersaaten bis zum Erntezeitpunkt festgestellt werden, was sich bei starker Verunkrautung 2005 nur andeutungsweise wiederholte (Abb. 44). Im Versuchsjahr 2004 war der Unkraut aufwuchs zur Ermittlung der Trockenmasse in den Parzellen mit Untersaat zu gering (< 3%). 2006 hingegen hatten die Untersaatgräser eine so zögerliche Entwicklung, dass keinerlei Beeinflussung der Unkrautentwicklung zu beobachten war (Abb. 43 u. Abb. 44).

In 2006 wurde das in den Vorjahren als Untersaat verwendete Knaulgras (*Dactylis glomerata*, L.) auf Empfehlung von Partnerbetrieben durch den Härtlichen Schwingel (*Festuca ovina duriuscula*, L.) ersetzt. Bei den Knaulgrasvarianten kam es bei der 2005 verminder- ten Bestandesentwicklung der Erbse (bei kurzstrohiger Lupine schon 2004 siehe Abb. 52) in Verbindung mit einer ausreichenden Wasserversorgung vor der Hauptfruchternte zu einer den Mähdrusch deutlich behindernden Bestandeshöhe (Abb. 42). Die beim Knaulgras ausgeprägte Horstbildung führte außerdem zu einem suboptimalen Bestandaufbau (siehe Deckungsgrade Abb. 41 u. Abb. 42). Der Hartliche Schwingel konnte als Alternative nicht überzeugen, da der Aufwuchs bis zum Erntetermin so gering war, dass keine manuelle Beerntung durchgeführt wurde (Abb. 44).

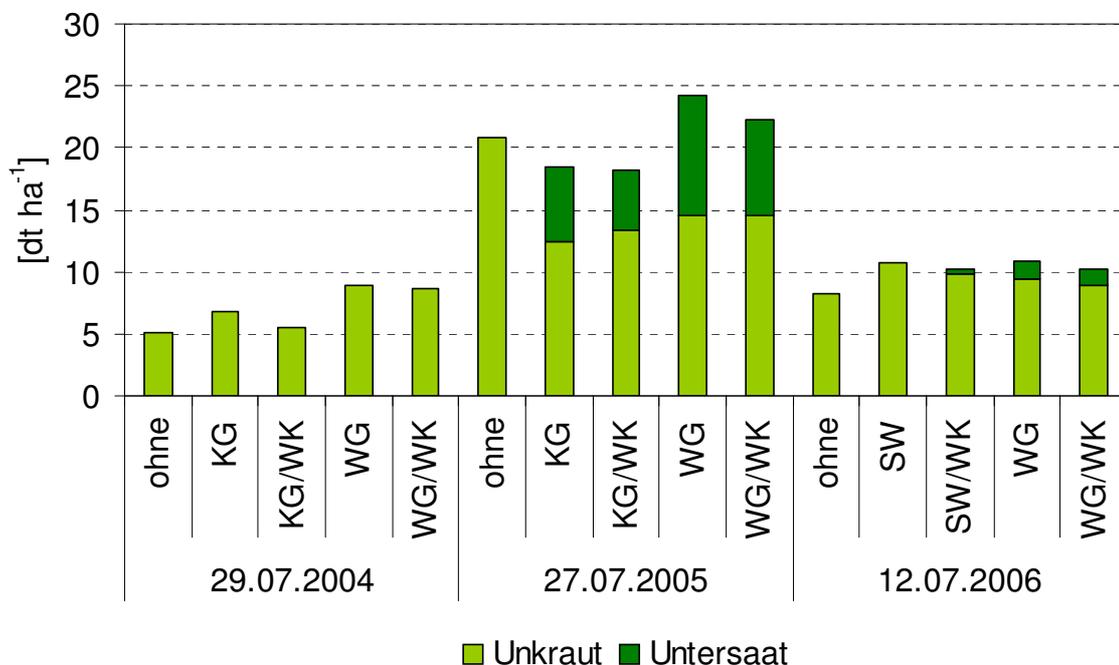


Abb. 44: Aufwuchs von Untersaat und Unkraut zum Zeitpunkt der Ernte, Exaktversuche Erbsen mit Untersaaten 2004 bis 2006 (KG = Knaulgras, WG = ausdauerndes Weidelgras, WK = Weißklee, SW = Härtlicher Schwingel)

Ausdauerndes Weidelgras erwies sich durchgehend als die starkwuchsigste Untersaatvariante mit im Vergleich zu Knaulgras deutlich gleichmäßigerer und intensiverer Bodenbedeckung und gleichzeitig zur Ernte günstig geringeren Pflanzenhohen. Es erreichte in den beiden ersten Versuchsjahren bis zum Erntetermin eine Biomasseentwicklung von knapp 10 dt TM ha⁻¹ mit einer oberirdischen N-Aufnahme von 20 kg N ha⁻¹.

Nach Ernte der Hauptfrucht konnte in allen Jahren eine zügige Entwicklung der Grasunter- saaten beobachtet werden. Nach 6 bis 8 Wochen erreichten die weitgehend unkrautfreien

Bestände eine nahezu vollständige Bodendeckung. Eine Etablierung von Weißklee konnte auch zu diesem Zeitpunkt in keinem Versuchsjahr und keiner Saatmischung beobachtet werden.

Sowohl 2004 als auch 2005 wurde auf eine manuelle Beerntung der Biomasse zu Vegetationsende verzichtet, da nach witterungsbedingtem starkem Braunrostbefall die älteren Blätter nach Niederschlägen schnell in Zersetzung übergegangen waren. Nur 2006 war eine Beerntung der Untersaatenaufwüchse möglich. Im Gegensatz zum Härtlichen Schwingel war Weidelgras ähnlich wie die Stoppelsaatvariante mit Winterrüben in der Lage etwa 35 kg N ha^{-1} aufzunehmen (Abb. 45).

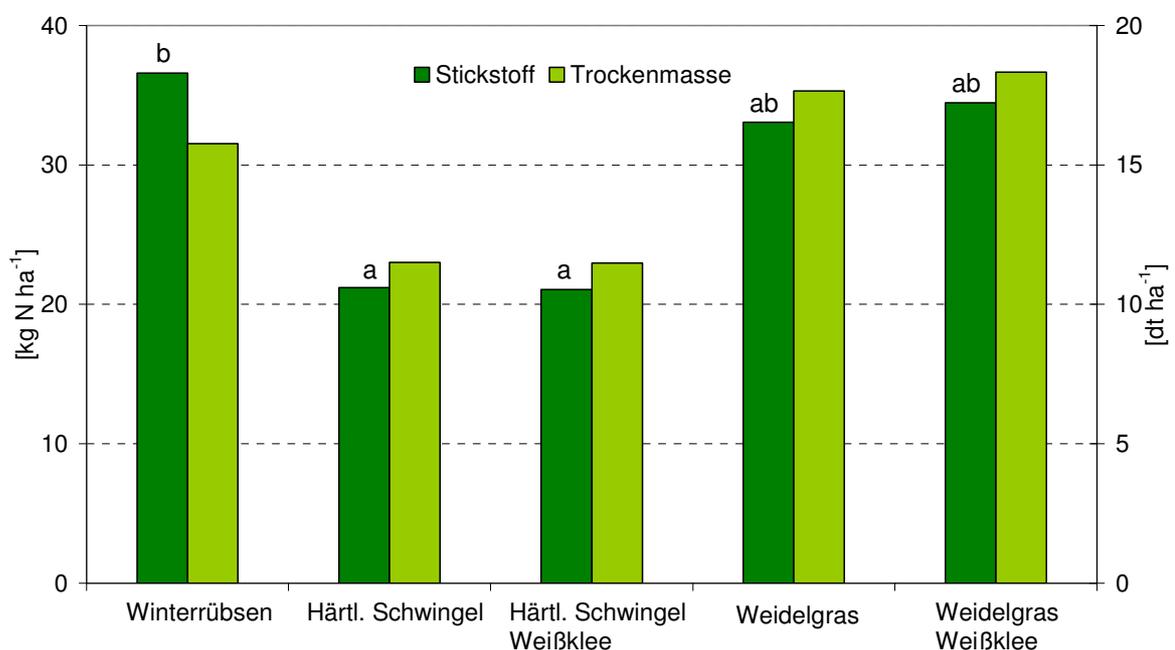


Abb. 45: Biomasse und N-Mengen in Zwischenfrucht- bzw. Untersaataufwüchse vom 14.12.2006 nach Erbse (N-Gehalt: $\alpha=0,05$; HSD: $14,7 \text{ kg N ha}^{-1}$)

Diese Zwischenfruchtvariante konnte, bedingt durch hohe Niederschläge Ende Juli/Anfang August, sowohl 2005 als auch 2006 (Abb. 46) etabliert werden. In allen Jahren zeigten die Untersaatenaufwüchse zu Vegetationsende deutliche Stickstoffmangelsymptome, da in allen drei Versuchsjahren sowohl die N-Mineralisierung als auch das Wachstum der Untersaaten in den Herbstmonaten durch anhaltende Trockenheiten stark limitiert waren. Dies spiegelt sich auch in den nachfolgend beschriebenen N_{\min} -Gehalten der Böden wider (Abb. 48).



Abb. 46: Untersaat- und Zwischenfruchtbestand nach Erbse (21.9.2006) (von links: Härtlicher Schwingel, dt. Weidelgras, Winterrübsen)

3.3.1.2 Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Hauptkultur Erbse

Der Kornertrag der Hauptkultur bildet einen weiteren wichtigen Faktor zur Beurteilung des Verfahrens. Er ist neben der Qualität der Ernteprodukte und der Praktikabilität eines Verfahrens der primäre Maßstab für den Erfolg eines Anbauverfahrens. Abb. 47 zeigt die Erbsenertrage für alle Versuchsjahre getrennt nach den Untersaatvarianten. Wie schon erwähnt konnten 2005 aufgrund stärkerer Fraßschäden durch Blattrandkäfer nur drei Blöcke bis zur Ernte geführt werden. Signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Varianten inklusive der Reinsaatvariante konnten auch beim Signifikanzniveau ($\alpha = 0,1$) nicht festgestellt werden. Somit kann auch für Trockenjahre die von Praktikerseite befürchtete Ertragsreduktion durch Untersaaten ausgeschlossen werden!

Tab. 36: Aussaat-, Blüte- und Erntetermine und Zeitspanne zwischen Aussaat und Ernte der Erbsenversuche 2004 bis 2006

Versuchsjahr	Aussaat	BBCH 65	Ernte	Aussaat bis Ernte [Tage]
2004	29. Mrz.	8. Jun.	29. Jul.	122
2005	11. Apr.	14. Jun.	27. Jul.	107
2006	18. Apr.	13. Jun.	12. Jul.	85

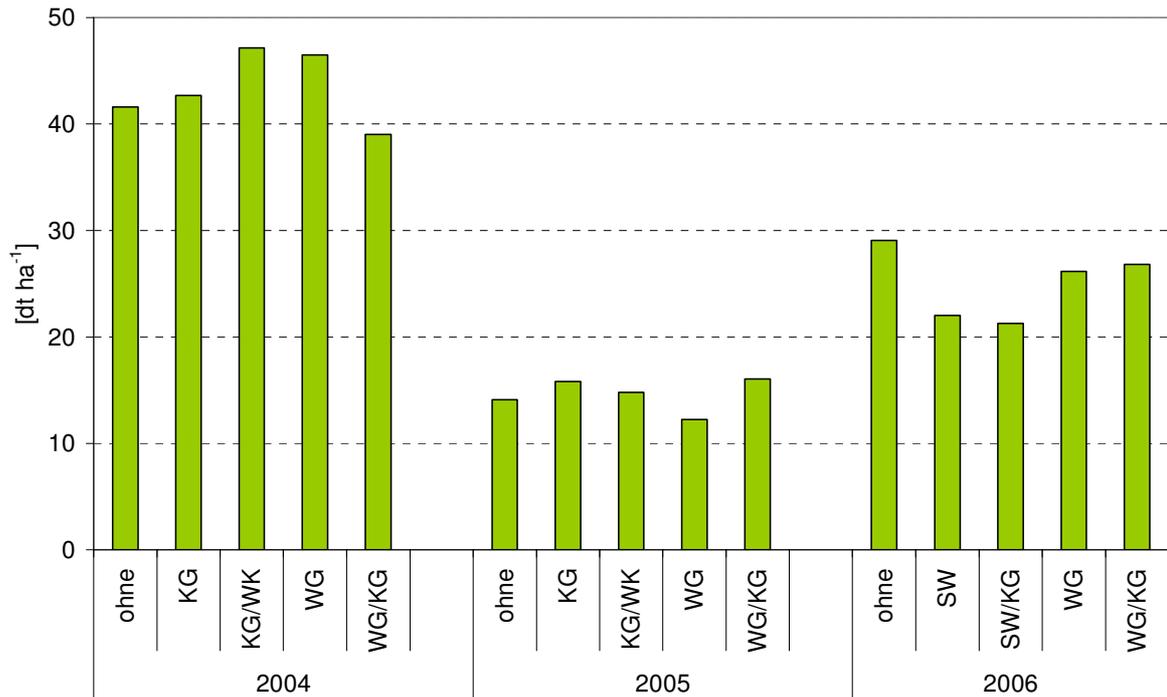


Abb. 47: Kornerträge der Erbse der Versuchsjahre 2004 bis 2006, der verschiedenen Untersaatvarianten

3.3.1.3 Einfluss der Untersaaten auf die N_{\min} -Gehalte der Böden nach Erbsenernte

Die Reduzierung der Nitratausträge nach Körnerleguminosen ist neben der Beikrautunterdrückung das Hauptziel der Untersaaten in Körnerleguminosen. Zur Prüfung dieses Faktors erfolgten Bodenuntersuchungen zum Zeitpunkt der Ernte und ein zweites Mal nach stärkerer Bodendurchfeuchtung bzw. zu Vegetationsende.

2004 konnte unmittelbar nach der Ernte keine signifikante Reduktion der N_{\min} -Mengen durch Untersaaten gefunden werden (Abb. 48). Zu diesem Zeitpunkt befanden sich über 50 % des N_{\min} -Gehaltes des Gesamtprofils von etwa 35 kg ha^{-1} in der Bodenschicht 0 - 30 cm und über 80% in 0 - 60 cm, was für eine kurzfristige Freisetzung aus den Erbsen-Residuen spricht. Bereits am 2. September fand sich eine Halbierung der Werte auf 20 kg ha^{-1} bei den Untersaatvarianten was eine deutliche Verminderung gegenüber den Reinsaatvariante darstellt (Abb. 48). Die Verteilung der Gehalte im Profil zu beiden Termine lässt eine nennenswerte N-Verlagerung ausschließen (Abb. 48) und spricht für eine effektive Reduktion des NO_3 -Verlagerungspotentials durch die Untersaaten. Diese signifikante Differenz zwischen den N_{\min} -Werten zwischen Varianten mit und ohne Untersaat von 20 kg N ha^{-1} ergibt zusammen mit den bereits zur Ernte aufgenommenen ca. 20 kg N ha^{-1} zum 2. Sept. 2004 bereits eine N-Aufnahme durch die Weidelgrasvarianten von 40 kg N ha^{-1} .

Anfang August 2005 fanden sich in den oberen 60 cm nur geringe N_{\min} -Mengen von im Mittel $15,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Wie bereits

erwähnt, musste die gesamte Versuchsfläche wegen der teilweise durch den Blattrandkäferbefall stark geschädigten Bestände und infolgedessen starken Verunkrautung nach der Ernte umgebrochen werden. Somit konnte die N_{\min} -Entwicklung nach der Ernte 2005 nicht verfolgt werden.

2006 wurde wegen des trockenheitsbedingten Fehlens von quantitativ erfassbaren Aufwüchsen der Untersaaten auf eine N_{\min} -Beprobung unmittelbar nach der Hauptfruchternte verzichtet. Erst zu Vegetationsende ergaben sich auf insgesamt sehr niedrigem Niveau zwar signifikante Differenzierungen der N_{\min} -Gehalte (Abb. 49), die aber nur qualitativ mit den N-Gehalten in der oberirdischen Biomassen korrespondierten (Abb. 45). Tendenziell zeigten die Varianten mit Hürtlichen Schwingel die höchsten Werte bei den N_{\min} -Gehalten, bei gleichzeitig geringsten N-Mengen in der Biomasse. Die Summen aus den N-Mengen im Aufwuchs (Abb. 45) und den N_{\min} -Werten ergeben eine mittlere N-Mineralisation von etwa 40 kg ha^{-1} bis Vegetationsende. Zur Abschätzung des Residual-N der Körnerleguminosen wurden die N-Gehalte in Korn und Stroh ermittelt. Jensen (2007) schätzt den Residual-N aus Wurzelrückständen inkl. Ausscheidungen auf 25% des im Korn eingelagerten N. Unter dieser Annahme ergeben sich mit der folgenden Schätzformel für 2004 bzw. 2006 bei einem N-Gehalt im Korn von 127 bzw. 66 kg N ha^{-1} und im Stroh von 32 bzw. 26 kg N ha^{-1} ein Residual-N von 64 bzw. von 43 kg N ha^{-1} .

$$N_{\text{residual}} = N_{\text{Korn}} \times 0,25 + N_{\text{Stroh}}$$

Nach der Ernte wird das Erbsenstroh, das über ein relativ enges C/N-Verhältnis verfügt, relativ rasch umgesetzt. Bei ausreichender Bodenfeuchte erfolgt schon vor der Ernte ein Umsatz der bereits abgestorbenen Wurzelteile der Erbsen. Somit kann für das Jahr 2006 festgestellt werden, dass die Zwischenfrüchte mit Ausnahme des Hürtlichen Schwingels weitgehend in der Lage waren, eine der Gesamtresidualmenge entsprechende Stickstoffmenge zu konservieren. Ähnliches ist aus den N_{\min} -Untersuchungen für 2004 abzuleiten. Somit kann zusammenfassend gefolgert werden, dass die Grasuntersaaten und besonders das ausdauernde Weidelgras, auch bei trockenheitsbedingten ungünstigen Etablierungs- und Wachstumsbedingungen in der Lage sind, den nach bzw. zur Ernte mineralisierten Residual-N vor Auswaschung zu schützen. Darüber hinaus kann eine Verunkrautung der Flächen nach der Ernte entscheidend reduziert werden und relativ schnell ein Deckungsgrad über 50% erreicht werden, ab dem nach Frielinghaus et al. (1997) ein sicherer Schutz vor Wassererosion gewährleistet ist.

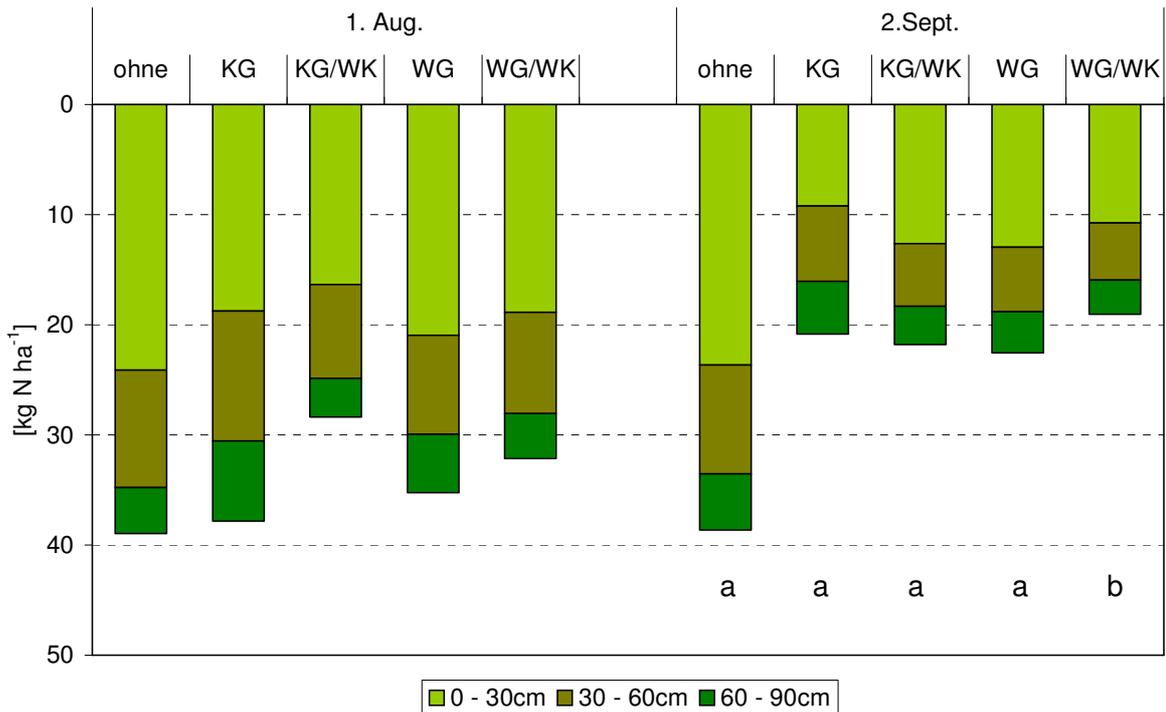


Abb. 48: N_{min}-Mengen im Boden an zwei Terminen 2004, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Unterschiede der Gehalte 0-90 cm ($\alpha=0,05$; HSD: 15,5 kg N ha⁻¹)

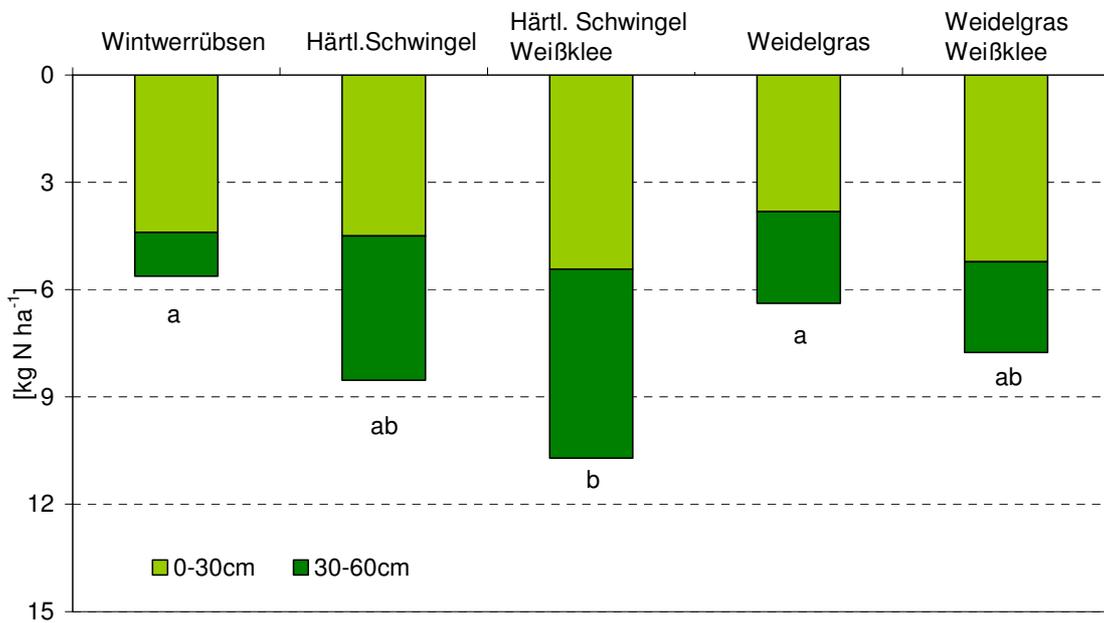


Abb. 49: N_{min}-Mengen im Boden am 30.11.2006 nach Erbsen mit Untersaatvarianten und Winter-
rübsen als Stoppelsaat; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen stat. signifikante Un-
terschiede der Gehalte 0-60 cm ($\alpha=0,05$; HSD: 4,3 kg N ha⁻¹)

3.3.1.4 Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Nachfrucht Hafer

Um festzustellen, welche Vorfruchtwirkungen die Untersaatvarianten im Vergleich zur Kontrolle haben, wurden 2005 und 2006 die Erträge der Nachfrucht Hafer getrennt nach den Faktorstufen des Vorversuchs ermittelt. In 2005 zeigt sich kein positiver Ertragseffekt der Grasuntersaaten (Abb. 50), trotz der signifikant geringeren N_{\min} -Gehalte (Abb. 48) und folglich bis Frühjahr geringeren N-Verlusten. Auch Pommer (2000) konnte nach Ackerbohnen auch bei gut entwickelten Untersaaten keine Mehrerträge bei den Folgekulturen Winterweizen und Winterroggen ermitteln.

Vergleicht man aber damit die Hafererträge des Jahres 2006, erweist sich die Zwischenfruchtvariante ‚Winterrübsen‘ in ihrer Vorfruchtwirkung denen der Grasuntersaaten als deutlich überlegen (Abb. 50). Im Vergleich zu Stoppelsaaten sind Weidelgras-Untersaaten wegen ihrer höheren Etablierungssicherheit auf leichten niederschlagsarmen Standorten unter dem Aspekt des Ressourcenschutzes (NO_3 -Austräge, Bodenerosion) günstiger zu beurteilen. Sie können aber, wegen des weiten C:N-Verhältnisses ihrer residualen Biomasse, der Folgekultur den aufgenommenen Stickstoff durch eine verzögerte Mineralisation gerade in Jahren mit geringen Frühjahrsniederschlägen nicht bedarfsgerecht zu Verfügung stellen. Dies gelang zumindest 2006 mit Winterrübsen durch dessen schnell umsetzbare Biomasse (engeres C:N-Verhältnis) deutlich besser.

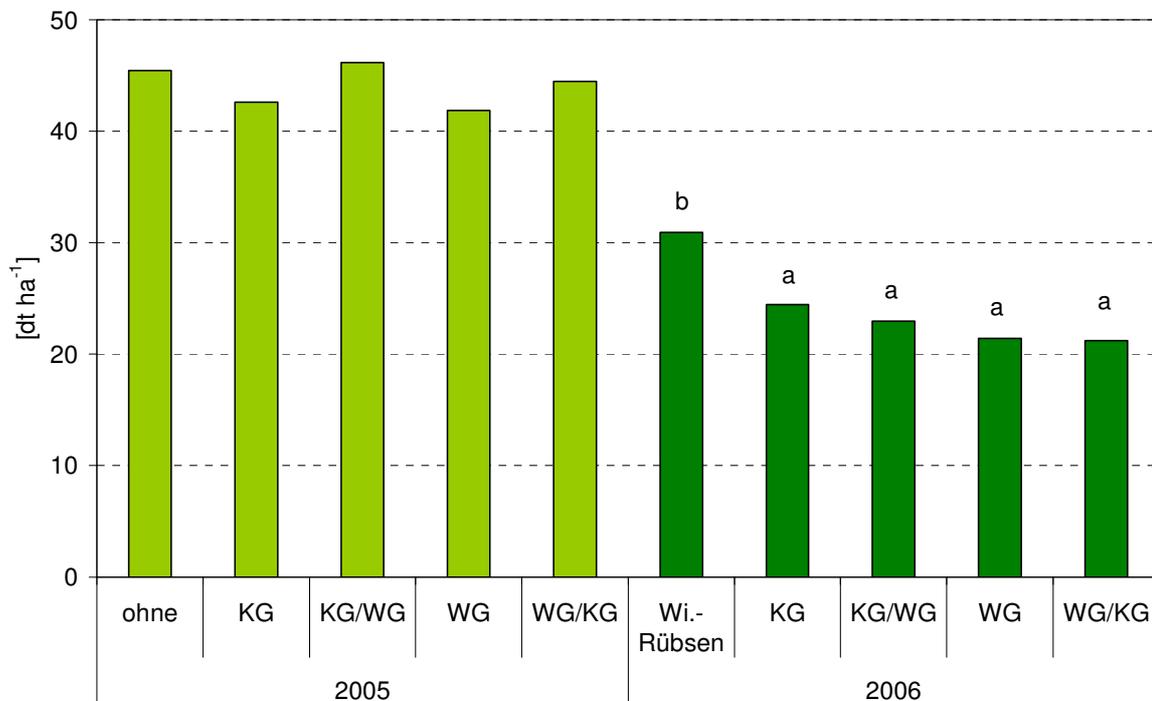


Abb. 50: Hafererträge nach Saatvarianten der Vorjahres-Erbsenversuche (2006: $\alpha=0,05$; HSD: 5,1 86% TM)

3.3.2 Untersaatenversuche Lupine (Exakt- und Praxisversuche)

Parallel zu den Erbsenversuchen wurden die Gras- und Klee grasuntersaaten in Lupinen auf der Forschungsstation des ZALF, Müncheberg innerhalb der Fruchtfolge des Modellbetriebes ‚Organischer Landbau Müncheberg‘ in den Jahren von 2004 bis 2006 angelegt. Zusätzlich wurden im Versuchsjahr 2005 und 2006 Praxisversuche auf dem Partnerbetrieb Gut Wilmersdorf etabliert.

Zeigte sich bereits 2004 (Abb. 51) am Standort Müncheberg ein deutlicher Befall mit Blattrandkäfern an den Jungpflanzen, wurden die Lupinen in den letzten beiden Versuchsjahren 2005 und 2006 durch die verschiedenen Arten des Blattrandkäfers (*Sitona spec.*) insbesondere durch den Lupinen-Blattrandkäfer (*Sitona gressorius*, L.) sehr stark geschädigt. Ein solch massiver Befall trat an dem Standort damit zum ersten Mal auf. Dies spiegelt die allgemeine Befallsentwicklung der letzten Jahre in weiten Teilen Ostdeutschland wider, was zu einer betriebsspezifischen starken Gefährdung des Anbaus der bitterstoffarmen blauen Lupine gerade im ökologischen Landbau führt (Felgentreu, 2007). Der Lupinen-Blattrandkäfer ist schon seit etwa 70 bis 80 Jahren in ganz Deutschland nachgewiesen. Schnell (1955) geht davon aus, dass *S. gressorius* Schleswig-Holstein in den 1920er Jahren erreicht hat, Andersen (1937) berichtet über Fänge der damals neuen Art in der Mark Brandenburg im Jahr 1935.



Abb. 51: Fraßspuren von *Sitona spec.* an *Lupinus angustifolius* im Exaktversuch (7. Mai 2004, Standort Müncheberg)

Die Versuchsflächen wurden durch den Käferanflug in besonderer Weise beeinträchtigt, da die Besiedelung von Kleinschlägen schnell abgeschlossen ist, zusätzlich wurde die Verbreitung der Insekten durch benachbarte Luzerne-Rotklee-Grasschläge (Fruchtfolgean-

teil im Modellbetrieb: 35%) begünstigt, die den Käfern als Rückzugs- und Überwinterungsquartier dienen (Dickler, 2007).

Wesentlich gravierender als die oberirdischen, durch die adulten Käfer verursachten Schäden sind die Fraßschäden, die durch die Larven der Blattrandkäfer im Wurzelbereich der Pflanzen hervorgerufen werden. Die Larven parasitieren die Wurzelknöllchen der Lupine, indem sie sich hineinbohren und diese ausfressen. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt. Die großen Larven fressen dann von außen an den Knöllchen (Andersen, 1937). So reduzieren sie zum einen die Stickstoffversorgung der Lupine und schaffen zum anderen Infektionspforten für andere Schaderreger. Früh befallene Pflanzen bleiben in ihrer Entwicklung zurück, starker Befall kann zu einem Totalausfall ganzer Bestände führen. Biologische Insektizide gegen die Larven stehen nicht zur Verfügung. Infolgedessen konnten die Lupinenexaktversuche in den Erntejahren 2005 und 2006 nicht beerntet werden. Die Bestände wurden in beiden Jahren nach der Biomasseermittlung (Abb. 53) zum Zeitpunkt der Blüte abgemulcht und umgebrochen.

Am Standort Wilmersdorf wurden Lupinenuntersaatversuche in Hinsicht auf die praktische Durchführbarkeit der Untersaatverfahren unter den Bedingungen eines viehlos wirtschaftenden ökologischen Großbetriebes als Langparzellenversuche integriert in Großschläge vereinfacht angelegt (siehe Material und Methoden).

Bei Untersuchungen des Blattrandkäferbefalls in den Praxisversuchen auf Gut Wilmersdorf wurden in 2005 und 2006 erst Ende Mai adulte Tiere und Larven mehrerer Sitona-Spezies gefunden, der Befall mit Imagines beschränkte sich aber in etwa 95% der untersuchten Pflanzen (n=50) auf das oberste Wurzelknöllchen. Es ist damit davon auszugehen, dass bei den Lupinen keine relevante Ertragsreduktion durch den Insektenbefall zu verzeichnen war.

3.3.2.1 Biomasseentwicklung von Hauptfrucht, Untersaat- und Ackerbegleitflora

Während im Jahr 2004 analog zu den Erbsen die Bestände so gut entwickelt waren, dass sich bis zur Blüte der Hauptfrucht keine nennenswerte Biomasse an Unkräutern und Untersaat bilden konnte, bestand im Jahr 2005 30% und im Jahr 2006 60% des geernteten Aufwuchses im Mittel der Varianten aus Unkräutern (Abb. 53). Die vor allem 2006 aufgetretene starke Frühverunkrautung ist auf die starke Schädigung der Lupine durch den Blattrandkäferbefall zurückzuführen.

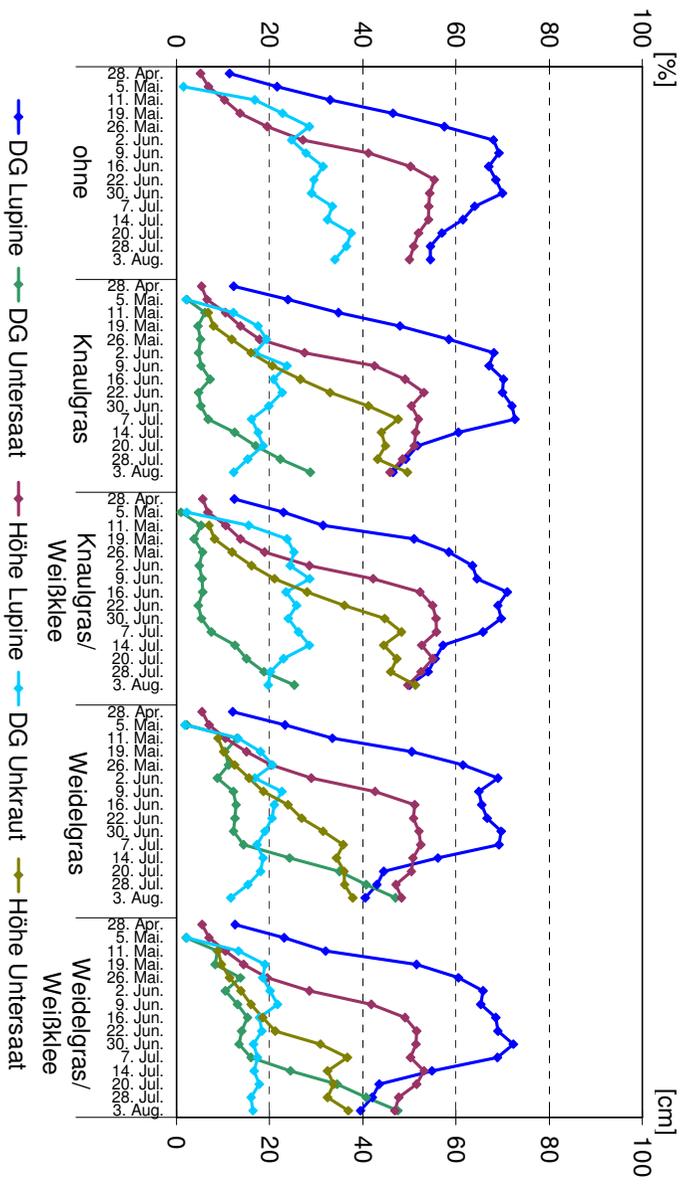


Abb. 52: Deckungsgrad (DG) und mittlere Höhe von Lupine, Untersaat und Unkraut, getrennt nach Art der Untersaat 2004, Standort Müncheberg

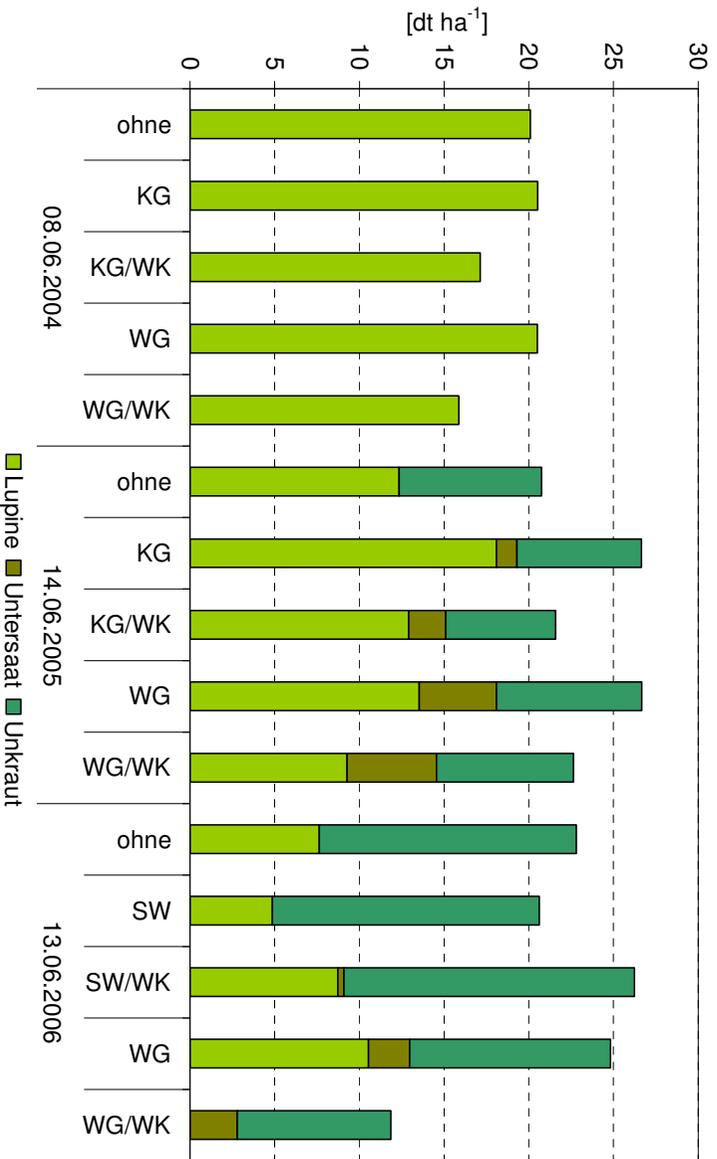


Abb. 53: Aufwuchs von Lupine, Untersaat und Unkraut zum Zeitpunkt der Blüte der Hauptfrucht (Versuchsjahre 2004 bis 2006, Standort Müncheberg)

Im Ersten Versuchsjahr 2004 kam es im Vergleich zur Erbse zu einer verspäteten Abreife der Lupine (Ernte 16.08.). Zudem handelte es sich bei der verwendeten Sorte ‚Bora‘ um eine relativ kurzstänglige. Somit konnten sich sowohl die Untersaaten als auch die Unkrautflora bis zur Ernte stark entwickeln, was vor allem bei den Knaulgrasvarianten eine Beerntung mit dem Parzellenmährescher unmöglich machte (Abb. 52).

Die Untersaaten waren zum Zeitpunkt der Blüte der Hauptfrucht im Jahr 2005 stärker entwickelt als in 2004 und in 2006 (Abb. 53). In 2006 konnte tendenziell eine unkrautunterdrückende Wirkung bei den Untersaatvarianten mit Weidelgras nachgewiesen werden (Tab. 37). Knaulgras und vor allem Härtlicher Schwingel schneiden im Vergleich zum Weidelgras jeweils mit signifikant geringerer Aufwuchsleistung ab.

Tab. 37: Aufwuchs von Untersaat und Unkraut, Beginn bis Mitte Blüte Lupine, Versuchsjahre 2005 und 2006, Versuchsstandort Müncheberg

Probenahme	Untersaat-Variante	Unkraut [dt TM ha ⁻¹]	Untersaat [dt TM ha ⁻¹]
14.06.2005	ohne	8,4	-
	Knaulgras	7,4	1,2 a
	Knaulgras/Weißklee	6,5	2,2 a
	Weidelgras	8,6	4,6 b
	Weidelgras/Weißklee	8,1	5,3 b
HSD ($\alpha=0,05$)		n.s.	2,1
13.06.2006	ohne	15,2 b	-
	Härtlicher Schwingel	15,8 b	0,1 a
	Härtlicher Schwingel/Weißklee	17,2 b	0,4 a
	Weidelgras	11,9 ab	2,4 b
	Weidelgras/Weißklee	9,1 a	2,8 b
HSD ($\alpha=0,05$)		6,1	1,4

In beiden Versuchsjahren 2005 und 2006 war am Standort Wilmersdorf wie in Müncheberg nur 2004 bei weitgehend ungeschädigten Beständen die Untersaat zum Zeitpunkt der Blüte der Hauptfrucht für eine quantitative Bestimmung noch zu gering entwickelt. Ebenfalls nur gering entwickelt war auch Unkrautbiomasse (Abb. 54).

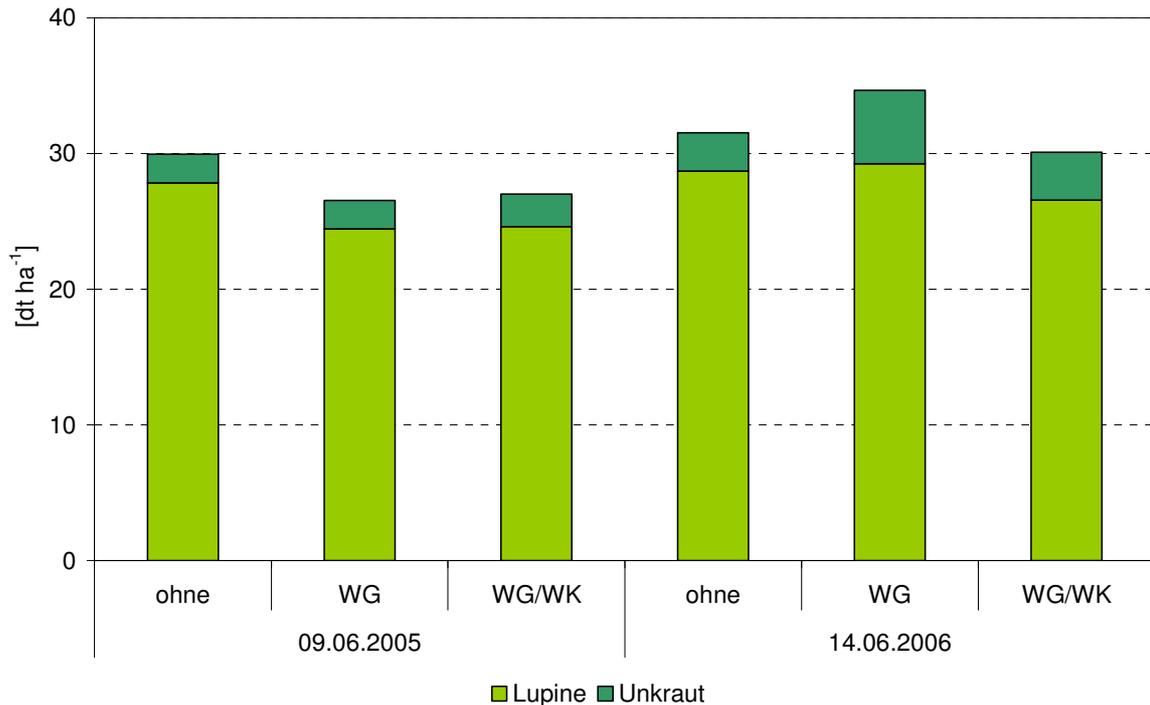


Abb. 54: Oberirdische Biomasse von Lupinen und Unkraut, Beginn bis Mitte Blüte Lupine, 2005 und 2006, Wilmersdorf

Für die Großversuche in Wilmersdorf 2005 und 2006 wurde wegen der Ernteproblematik 2004 in Müncheberg auf Wunsch des Landwirts ein später Untersaatentermin gewählt. Da die Untersaaten im Wilmersdorf dadurch erst mehr als vier Wochen nach der Lupineausaat in den Bestand eingestreut und zeitgleich eingestriegelt wurden, war der Entwicklungsvorsprung der Lupine und damit ihr Konkurrenzvermögen schon zu groß, um der Untersaat die Möglichkeit einer mit Müncheberg vergleichbaren Entwicklung zu bieten. Somit fand sich auch zur Ernte kein quantitativ erfassbarer Untersaatenaufwuchs. Nur 2005 konnte sich dennoch nach der Ernte ein weitgehend flächendeckender Grasbestand etablieren, was 2006 durch die lang anhaltende Trockenheit bis zur Ernte verhindert wurde. In beiden Jahren konnte wie auch in allen Untersaatversuchen in Müncheberg kein Weißklee als Gemengepartner mitetabliert werden.

Waren zur Ernte in Wilmersdorf 2005 etwa 12 dt ha^{-1} Unkrauttrockenmasse unabhängig von den Varianten vorhanden, fällt auf, dass 3 Wochen später die Trockenmasse des Unkrautaufwuchses der Variante ohne Untersaat mehr als doppelt so hoch war wie die der beiden übrigen Untersaat-Varianten (Tab. 38). Aufgrund des geringen Stichprobenumfanges wurden bei der Auswertung dieses Prüfmerkmals jedoch keine statistischen Tests durchgeführt. Dennoch spricht das Ergebnis für sich. Eine vergleichbare Unkrautverdrängung ergab sich in Müncheberg 2005 und 2006 schon zur Lupinenblüte, was auf die deutlich früheren Untersaattermine zurückzuführen ist (Tab. 37).

Tab. 38 Mittelwerte des Aufwuchses von Untersaat und Unkraut am 24.08.2005

Untersaatvariante	Untersaataufwuchs, Mittelwert [dt TM ha ⁻¹]	Unkrautafwuchs, Mittelwert [dt TM ha ⁻¹]
ohne	-	3,6
WG	2,5	1,0
WG/WK	2,7	1,2

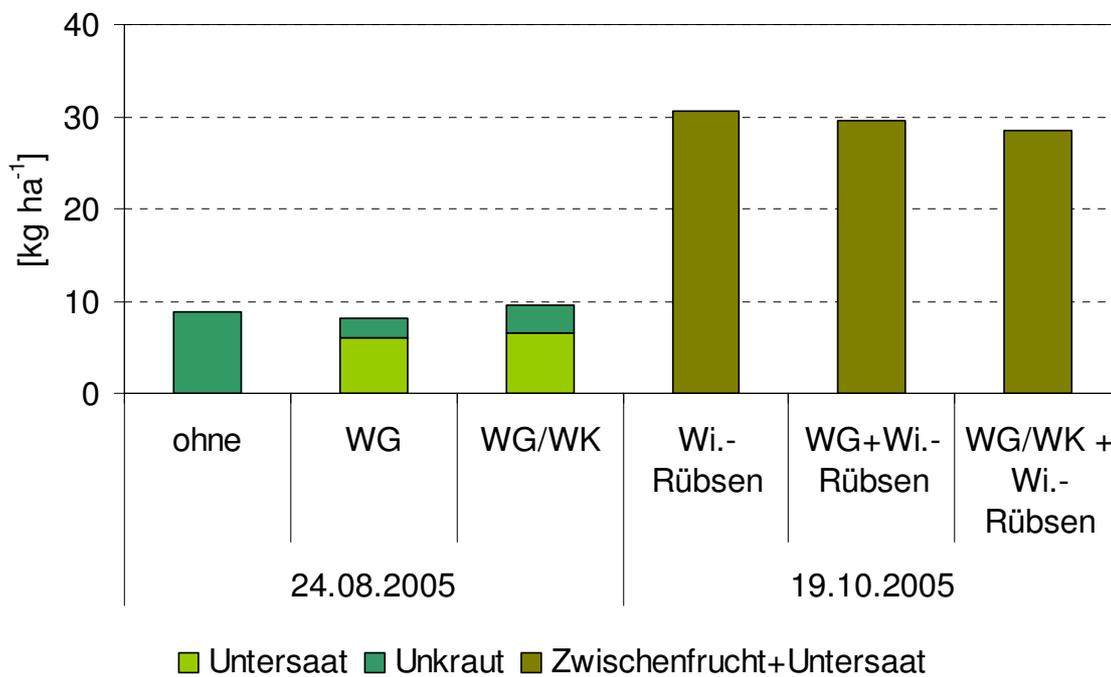


Abb. 55: Stickstoffmengen im Aufwuchses, Ernteschnitt vom 24.08.05 und Herbstschnitt vom 19.10.05, Lupinenversuch Standort Wilmersdorf

Die Biomasseentwicklung von Untersaat und Unkraut bis zum 24.8.2005 entsprach dennoch nur knapp 10 kg N ha⁻¹ (Abb. 55).

Nach dem 24. August wurde der Versuch in Wilmersdorf mit Rübsen als Stoppelsaat mit Direktsaat bestellt. Die Untersaat konnte sich dennoch weiter gut entwickeln. Abb. 56 zeigt die Versuchsfläche zum Zeitpunkt des zur Ermittlung der oberirdischen Biomasse durchgeführten Herbstschnittes am 19.10.2005. Die im oberirdischen Aufwuchs aufgenommene N-Menge im Mittel aller drei Varianten von 30 kg N ha⁻¹ (Abb. 55). Die N-Aufnahme der Variante Untersaat + Winterrübsen unterschied sich dabei nicht von der Variante Stoppelsaat Winterrübsen.

Da 2006 nach der Lupinenernte zur Bekämpfung von Wurzelunkräutern eine wendende Bodenbearbeitung unumgänglich erschien, konnte 2006 keine Nachernteentwicklung der bis zur Ernte noch nicht einmal aufgelaufenen Untersaaten verfolgt werden.



Abb. 56: Rübsen, Ausfalllupinen und Reste der Untersaat in Wilmsdorf, 19.10.05 (Foto: R. Schlepphorst)

3.3.2.2 Biomasseentwicklung von Hauptfrucht, Untersaat- und Ackerbegleitflora

Sowohl im Exakt- als auch in den Praxisversuchen hatten die Untersaaten keine nachweisbaren Auswirkungen auf den Ertrag der Hauptfrucht Lupine. Dieses Ergebnis deckt sich mit den eigenen Ergebnissen bei Erbse und den Untersuchungen von Pommer (2000), der bei Schmalblättriger Süßlupine ebenfalls keinen negativen Effekt der von ihm benutzten Untersaaten mit Weidelgras und Alexandrinerklee auf den Ertrag der Lupine feststellen konnte. Für Ackerbohnen mit Grasuntersaaten fanden Lütke-Entrup und Stegmann (1990) dies ebenfalls bestätigt.

Die mittels Probeschnitten erhobenen Erträge lagen im Mittel bei $28,5 \text{ dt ha}^{-1}$ und damit deutlich über dem Sortenmittel in 2004 von $16,1 \text{ dt ha}^{-1}$ der Brandenburger Landessortenversuche (LVLF, 2007). Die Erträge in Wilmsdorf lagen 2005 bei $32,7 \text{ dt ha}^{-1}$ und 2006 bei $28,5 \text{ dt ha}^{-1}$ (Abb. 57). Das Ertragsniveau der Lupine am Versuchsstandort Wilmsdorf kann im Vergleich zu den Ergebnissen von Sortenversuchen verschiedener deutscher Bundesländer und Jahre als durchschnittlich bis hoch bezeichnet werden (Hessisches

Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, 2003; Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2003; Meyercordt und Mücke, 2006).

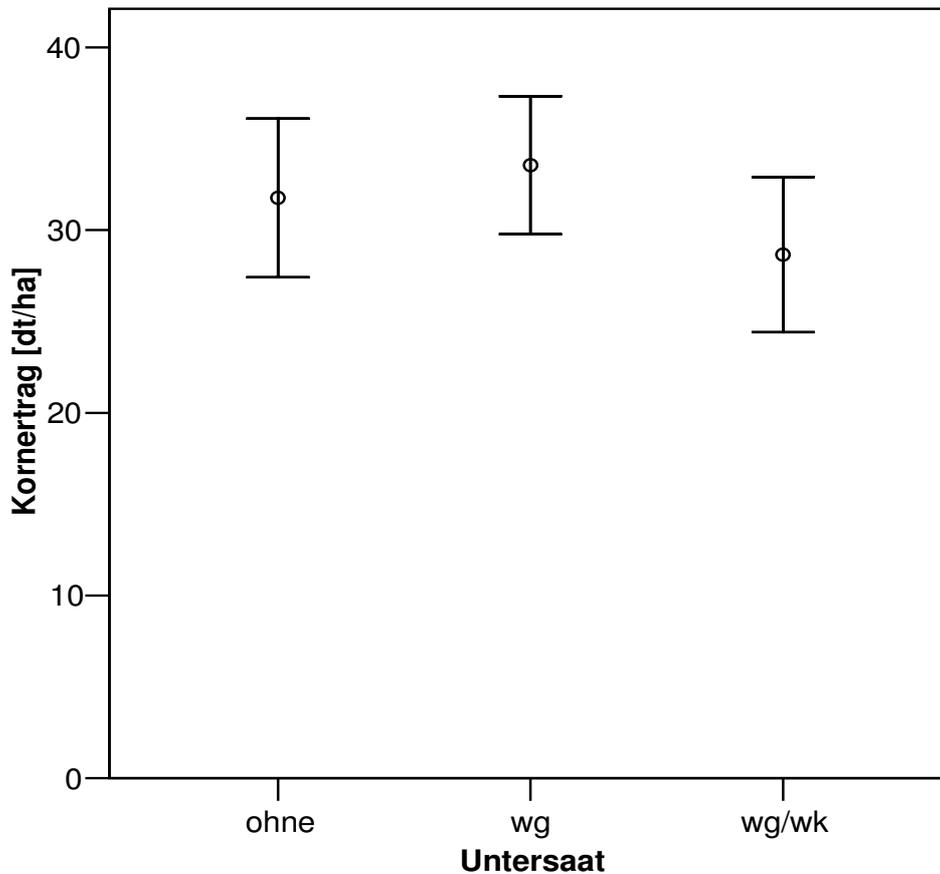


Abb. 57: Lupinen-Kornertrag der Handernten vom 03.08.05 und 25.07.06 nach Faktorstufe Untersaat, gemittelt über beide Versuchsjahre, Standort Wilmersdorf, (Fehlerbalken der Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervall)

3.3.2.3 Einfluss der Untersaaten auf die N_{\min} -Gehalte der Böden nach Lupinenernte

Die N_{\min} -Gehalte im Boden zum Erntetermin des Exaktversuches (Abb. 58) lagen deutlich unter dem Erntewert bei der Erbse (Abb. 48), was durch die N-Aufnahme der Untersaat- und Unkrautbiomasse zu erklären ist. Der signifikant niedrigere N_{\min} -Wert in der Ackerkrume der Untersaatvarianten spricht dafür, dass die Gräser im Vergleich zur weitgehend seneszenten Unkrautflora durch Wiederaustrieb in der Lage waren, die durch hohe Niederschläge Ende Juli einsetzende N-Mineralisierung effektiv abzuschöpfen.

Auf den Versuchsflächen in Wilmersdorf fanden sich am 03.08.2005 bei den N_{\min} -Untersuchungen nur Bodenfeuchten zwischen 2,8 und 9,6 % H_2O in Abhängigkeit der Bodentiefe. Somit waren einerseits die mikrobielle N-Mineralisierung und andererseits das Wachstum der Untersaat stark eingeschränkt.

Die N_{\min} -Gehalte des Bodens im Jahr 2005 bis zu einer Tiefe von 60 cm zeigt die Abb. 59. Die erste Probennahme wurde zusammen mit der Ernte durchgeführt, der zweite Beprobung erfolgte zeitgleich mit dem Herbstschnitt der oberirdischen Biomasse, zu dem die Varianten Untersaat + Winterrüben bzw. nur Winterrüben bereits 30 kg ha^{-1} aufgenommen hatten, was erklärt, dass sich auch zum zweiten Termin die N_{\min} -Gehalte des Bodens nicht unterschieden.

Dennoch waren zu diesem Zeitpunkt noch etwa 30 kg N ha^{-1} im Profil. Zusammen mit den zu diesem Zeitpunkt bereits in die oberirdische Biomasse (Abb. 55) eingelagerten N-Mengen ergibt sich eine N-Mineralisation von ca. 60 kg ha^{-1} . Dies entspricht in etwa den mit der Schätzformel (1) für 2005 errechneten Residual-N-Mengen aus den Ernte- und Wurzelrückständen der Lupine. Nach Jensen, (2007) gilt für Erbse und Lupine der gleiche Faktor in der Schätzformel (1), womit sich bei einem N-Gehalt im Korn von 103 kg N ha^{-1} und im Stroh von 30 kg N ha^{-1} eine Residual-N-Menge von 56 kg N ha^{-1} errechnet.

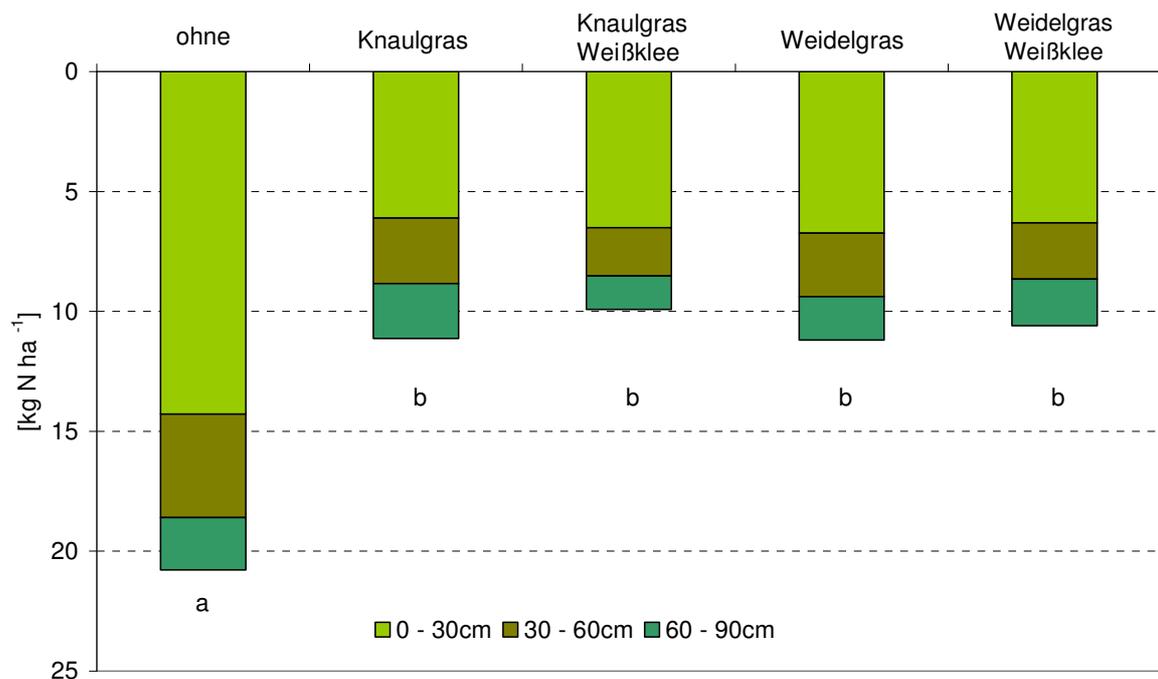


Abb. 58: N_{\min} -Mengen im Boden nach der Lupineernte 2004, der Faktorstufen Untersaat, Standort Müncheberg, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich stat. signifikant ($\alpha=0,05$; HSD $4,4 \text{ dt ha}^{-1}$)

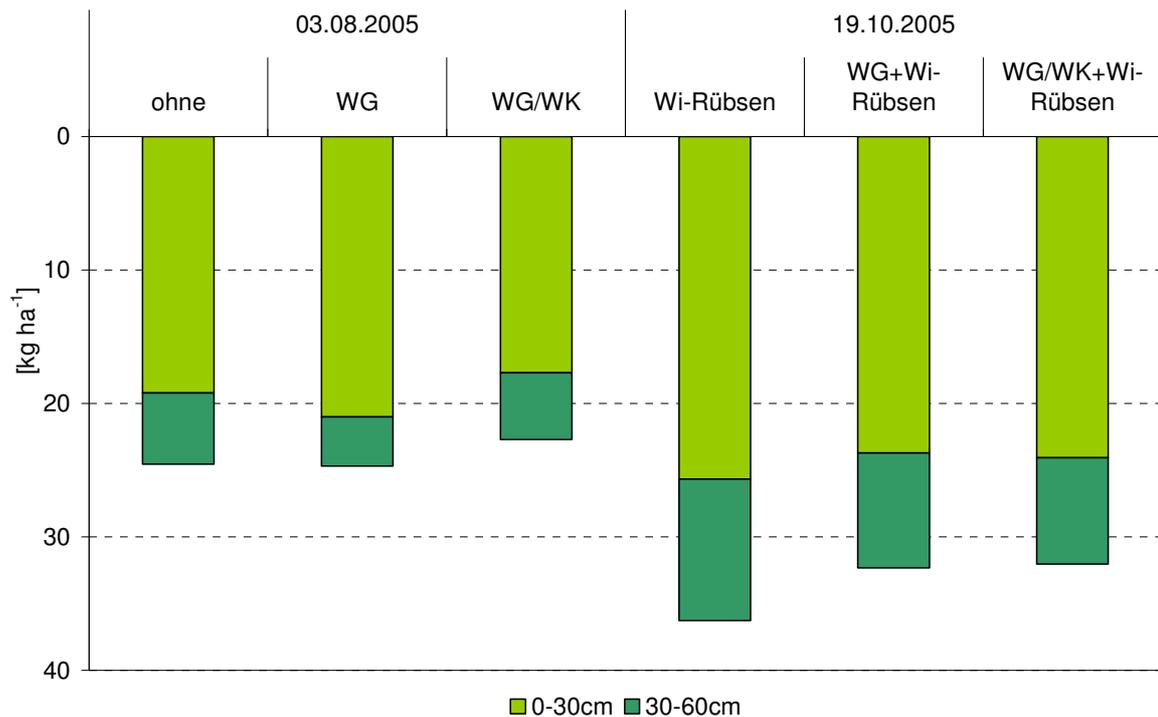


Abb. 59: N_{min}-Mengen im Boden 0-60 cm nach der Lupinenernte und Mitte Oktober 2005, getrennt nach der Faktorstufe Untersaat, Standort Wilmersdorf

Wie aus Abb. 56 zu ersehen, bestand zum 19.10. der Aufwuchs auf den Grasuntersaatvarianten zum großen Teil aus Gras. Somit kann davon ausgegangen werden, dass auch in Wilmersdorf trotz des späten Untersaattermins bei einer ungestörten Entwicklung der Grasuntersaat eine weitgehende N-Konservierung möglich gewesen wäre.

3.3.2.4 Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag der Folgekultur Hafer

Analog zu den Ergebnissen der Vorfruchtwirkungen aus den Erbsenversuchen zeigten die Hafererträge nach Lupine noch deutlicher den ertragsreduzierenden Effekt der Grasuntersaat, und zwar 2005 tendenziell auch ohne den N-konservierenden Einsatz von Winterrübsen auf den Parzellen ohne Untersaat. Dies bestätigt die von Berg et al. (2003) zitierte Praktikererfahrung, dass es nach Umbruch von gut entwickelten Grasuntersaaten bei der Folgekultur zu N-Mangel kommen kann. Berg et al. (2003) stellten 2003 verschiedene Strategien zur Minderung der Stickstoffverluste durch Nitratausträge nach der Ernte von Ackerbohnen vor. Demnach erwiesen sich in Nordrhein-Westfalen Untersaaten, die sich während der Abreife der Deckfrucht entwickelten, als geeignet, frei werdendes Nitrat aus dem Boden aufzunehmen. Allerdings muss bei diesem Verfahren sichergestellt sein, dass die Untersaat tatsächlich etabliert werden kann, was insbesondere bei Sommertrockenheit schwierig ist. Grasuntersaaten (Welsches Weidelgras oder Klee-Grasgemenge) zeigten sich hinsichtlich der Etablierung als wesentlich sicherer, als z.B. Ölrettich. Sie bildeten bis zum

Vegetationsende fast immer geschlossene Bestände und konnten bis zu 40 kg ha⁻¹ N aufnehmen.

Grundsätzlich sind Untersaaten als Mittel zur Aufnahme von Nährstoffen aus Ernterückständen bzw. zur Verhinderung von Auswaschungsverlusten bereits vor der Ernte als geeignet anzusehen. Gruber et al. (2003b) nutzten erfolgreich Lupinen mit Welschem Weidelgras als Untersaat in einer sechsfeldrigen ökologischen Fruchtfolge und äußern sich positiv über die damit einhergehende verbesserte Stickstoffverwertung.

Neben dem Aspekt des Grundwasser- und Bodenschutz sollte der Vorteil einer guten Befahrbarkeit von Untersaat-Grasbeständen im Herbst für eine Weizenspätsaat bzw. Winterfurche, aber besonders im Frühjahr z. B. zur Festmistausbringung nicht unerwähnt bleiben.

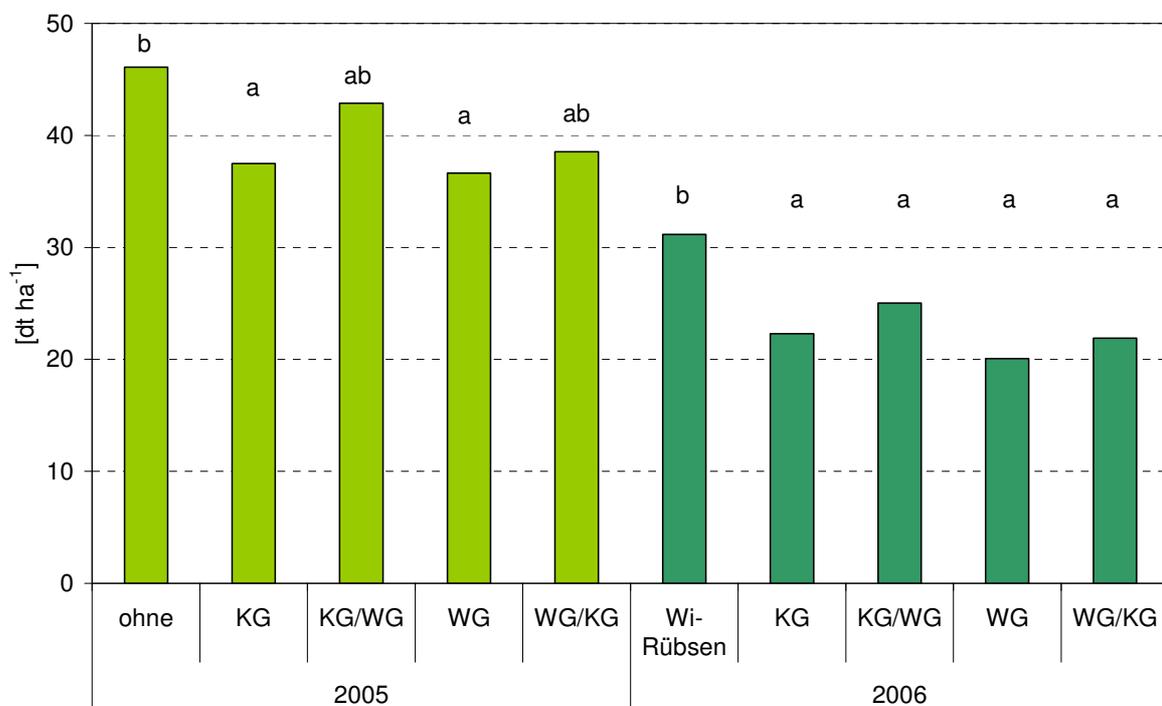


Abb. 60: Erträge der Folgefrucht Hafer nach Saatvarianten der Lupinenversuche ($\alpha=0,05$; 2005: HSD: 8,5 dt ha⁻¹; 2006: HSD: 6,0 dt ha⁻¹)

4. Zusammenfassende Bewertungen und Anbauempfehlungen

Auf Basis der Versuchsergebnisse, der Literatur und Expertenbefragungen wurden die folgenden Kurzbewertungen der untersuchten Anbauverfahren erstellt. Dabei muss allerdings einschränkend darauf hingewiesen werden, dass oftmals nur zweijährige Versuchsergebnisse vorliegen, die zudem aus den Extremjahren 2005-2006 stammen. Diese waren durch Frühsommer- und Sommertrockenheit in der Versuchsregion Brandenburg und auch in Bayern durch jeweils weit überdurchschnittlich trocken-warme Herbstwitterung gekennzeichnet. Zudem folgte dem warmen und langen Herbst 2005 ein strenger, lang andauernder und in Bayern schneereicher Winter 2005/2006 mit vor allem in Brandenburg weit unter dem langjährigen Mittel liegenden Temperaturen.

Somit sind gerade für die innovativen Anbauverfahren ‚Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten‘ und ‚Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen‘, zu denen bisher keine weiteren Ergebnisse aus Exakt- und Praxisversuchen vorliegen, nur eingeschränkt Praxisempfehlungen möglich. Die diesbezüglich beantragte Projektverlängerung wurde allerdings bisher nicht genehmigt.

Bei der ökonomischen Bewertung der Verfahren können nur deren direkt monetarisierbaren Leistungen berücksichtigt werden. Insbesondere die Leistungen a) zum Bodenschutz durch die frühere Bodenbedeckung im Herbst und b) die verbesserte C- und N-Versorgung durch die Pflanzenresiduen (Wurzeln und oberirdische Ernterückstände der Kulturpflanzen), sowie c) die unkrautunterdrückende Wirkung der Verfahren müssen aber auch in Betracht gezogen werden.

4.1 Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Beisaaten

4.1.1 Pflanzenbauliche Bewertung

Bei dem Anbauverfahren 1 sind bei der Bewertung zum einen die beiden Hauptfaktoren a) Saatzeitvorverlegung und b) Körnerleguminosenuntersaaten und zum anderen die Getreidearten Winterweizen und Winterroggen/Triticale getrennt zu betrachten.

Der positive Ertragseffekt der Frühsaat bei Winterroggen und eingeschränkt bei Triticale kann für leichtere Standorte mit geringer witterungsbedingter Auswinterungsgefahr auf Grundlage von Literatur und vorliegenden Ergebnissen als weitgehend gesichert betrachtet werden. Bei Winterweizen können durch Frühsaaten bei hoher Stickstoffversorgung und entsprechendem Schaderregeraufkommen gerade auf besseren Böden durchaus negative Ertragseffekte auftreten, was durch entsprechende Sortenwahl begegnet werden kann.

Zu den bisher nur im vorliegenden Projekt untersuchten Körnerleguminosenuntersaaten zeichnen sich folgende Tendenzen ab.

Die Praxisversuche in Bayern zeigten im Gegensatz zu Brandenburg zum Teil erhebliche direkte Ertragseffekte der legumen Beisaaten von bei Winterweizen bis zu 5dt ha⁻¹ und bei Winterroggen bis zu 10 dt ha⁻¹. Diese regionalen Unterschiede sind durch eine deutlich bessere Biomasseentwicklung der Beisaaten bei nur geringer interspezifischer Wasser- und Nährstoffkonkurrenz zur Hauptfrucht bedingt, wobei bei Winterweizen allgemein nur eine Kompensation der saatzeitbedingten Mindererträge der Frühsaat durch die Beisaaten zu beobachten war. Die bei Weizen durch parasitäres Lager bedingten Mindererträge von Frühsaaten können durch Sorten aber auch Sortenmischungen mit höherer Standfestigkeit und verbesserter Krankheitstoleranz vermindert werden. Der bei Frühsaaten mehrfach beschriebene Verdünnungseffekt des Rohproteingehaltes und die damit verbundene verringerte Backfähigkeit kann durch gut entwickelte Körnerleguminosenuntersaaten beträchtlich kompensiert werden.

Schnellwüchsige Saatpartner, die nach dem Abfrieren entweder weitgehend stehen bleiben wie Lupine oder Ackerbohne, oder wie die feinblättrige Sommerwicke sich nicht mattenartig auf den Hauptfruchtbestand legen, sind zu bevorzugen. In Gegenden mit höherem Wildbesatz ist von blauer Süßlupine wegen der sehr starken Wildverbissgefahr abzuraten.

Frühsaattermine sollten, um eine ausreichende Biomasseentwicklung zu ermöglichen, in der 1. Septemberhälfte liegen.

Aussagen über mögliche negative phytosanitäre Fruchtfolgeeffekte der legumen Beisaaten auf Futter- und Körnerleguminosen als Hauptfrüchte können auf Grundlage des heutigen Wissens nicht getroffen werden. Dennoch sollten die potenziellen Gefahren für die Leguminosenhauptfrüchte durch steigende Leguminosenanteile in Fruchtfolgen durch legumen Zwischenfruchtanbau Inhalt zukünftiger Forschungen zu Anbausystemen im Ökologischen Landbau bilden.

4.1.2 Ökologische Bewertung

Frühsaaten können allgemein zum Ressourcenschutz beitragen. Im Gegensatz zu Winterroggen, der bis zu 80 kg N ha⁻¹ vor Winter aufzunehmen vermag, ist Weizen nur in der Lage etwa die Hälfte aufzunehmen. Allgemein erreichen Frühsaaten ein deutlich verbesserter Erosionsschutz, bedingt durch die deutlich höheren und darüber hinaus schneller erreichten Bodenbedeckung. Bei Winterweizen, der kaum die 50 % Deckung bis Winter erreicht, die nach Frielinghaus et al. (1997) für einen effektiven Schutz vor Wassererosion notwendig sind, können legume Beisaaten dies im Verbund mit dem Weizen durchaus erreichen.

Für Aussagen zu biotischen Parametern wie Regenwurmabundanz konnten keine Untersuchungen erfolgen. Der Anfall von Pflanzenresiduen nach Winter lässt dennoch positive Effekte erwarten. Bachinger et al. (1999) konnten zeigen, dass Fröhsaaten bei Winterroggen zu einer signifikanten Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden führen.

4.1.3 Ökonomische Bewertung

Die Saatstärken bei den Fröhsaaten wurden gegenüber den betriebsüblichen Verfahren zum Teil erheblich reduziert. Die Verringerung der Aussaatstärke von Roggen von 350 auf 245 keimfähige Körner pro m² zieht je nach Tausendkornmasse eine Saatguteinsparung von 40-50 kg ha⁻¹. Dies entspricht einer Ersparnis von ca. 25 €/ha bei Roggen und 28 € - 30 € bei Winterweizen je nach angestrebter Qualität und eingesetztem Saatgut.

In Tab. 39 sind die im Exakt- und Praxisversuch im Wintergetreide eingesetzten Aussaatmengen und Saatgutkosten pro ha zusammengestellt. Je nach Beisat werden die Verfahren mit 20 bis 60 € ha⁻¹ durch die Saatgutkosten belastet.

Tab. 39: Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten für Öko-Z-Saatgut im Fröhsjahr 2007 (Bioland Markt GmbH, 2007a), sowie im Exakt- und Praxisversuch im Wintergetreide eingemischte Aussaatmengen und Saatgutkosten.

Beisat	Aussaatmenge [kg ha ⁻¹]	Preis [€ dt ⁻¹]	Aufwand [€ ha ⁻¹]
Körnererbse	75	65	48,75
Peluschke	55	65	35,75
Ackerbohne	92	66	60,72
Sommerwicke	25	79	19,95
Blaue Süßlupine	75	76	57,00

4.2 Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden legumen Beisaaten

4.2.1 Pflanzenbauliche Bewertung

Bei dem Anbauverfahren 2 können aus den zwei Versuchsjahren noch keine Praxisempfehlungen abgeleitet werden. Dennoch konnte gezeigt werden, dass die legumen Beisaaten bedingt durch den früheren Saattermin von Winterraps im Vergleich zu den Wintergetreide deutlich mehr Biomasse mit N-Mengen bis 80 kg N ha⁻¹ vor Winter ausbilden können. Das im Vergleich zum Winterraps starke Biomassewachstum der Beisat Erbse wurde 2004 durch die trockenheitsbedingte geringe N-Mineralisation aus den Pflanzenresiduen der Vorfrucht eines zweimal gemulchten Klee-grases hauptsächlich verursacht. Die Erbse als Leguminose war damit in ihrem Wachstum begünstigt und erreichte eine mit der Diffe-

renzmethode ermittelte N₂-Fixierungsleistung von etwa 50 kg ha⁻¹. 2005 kehrte sich dieser Effekt durch eine witterungsbedingt deutlich stärkere N-Mineralisation um.

Ab Winterbeginn 2004 wirkte es sich zusätzlich negativ auf die weitere Entwicklung des Rapsbestandes aus, dass sich der abgefrorene Erbsenaufwuchs flächig auf den Winterraps lagerte. Infolgedessen konnten weder die N-Aufnahme bis zur Blüte noch die Erträge von Winterraps ohne Beisaat erreicht werden.

Die Versuche zeigten zum einem das Ertragsrisiko dieses noch nicht praxisreifen Anbauverfahrens und zum anderen dass selbst hohe N-Residualmengen bei Frühjahrstrockenheit nur begrenzt zu einer bedarfsgerechten N-Versorgung des Winterraps beitragen können.

Mit der Wahl geeigneter „nicht lagernder“ Beisaatpartner, wie z. B. der bitterstoffhaltigen blaue Lupine, oder der niedrig wachsende Serradella sind ähnlich positiven Ertragseffekte wie bei Wintergetreide zu erwarten. Dabei sollte aber durch Anpassung der Saatstärke einer interspezifische Wasser- und Nährstoffkonkurrenz entgegengewirkt werden. Eine bedeutende unkrautunterdrückende Wirkung der verschiedenen Beisaaten konnte nicht festgestellt werden.

Wie schon beim Anbauverfahren 1 ist zu erwähnen dass über mögliche negative phytosanitäre Fruchtfolgeeffekte auf Futter- und Körnerleguminosen der legumen Beisaaten z. Z. keine Ergebnisse vorliegen und damit Inhalt zukünftiger Forschung sein sollte.

4.2.2 Ökologische Bewertung

Da bei Winterraps, bedingt durch die schnelle Pflanzenentwicklung im Herbst, während der Wintermonate weder ein erhöhtes N-Austragsrisiko noch ein Erosionsrisiko besteht, sind die legumen Beisaaten diesbezüglich als neutral zu bewerten. Zukünftige Forschungen haben abzuklären in wieweit klimarelevante gasförmige N-Verlusten aus den Pflanzenresiduen auftreten und in welchem Maße positive Einflüsse auf das Bodenleben sich ergeben.

4.2.3 Ökonomische Bewertung

Wie in den Getreideanbauverfahren wurde in den Beisaatvarianten die Saatstärke von Winterraps von den betriebsüblichen 3,5 auf 2,6 kg ha⁻¹ reduziert. Dies entspricht bei einem Saatgutpreis von 12 €/kg einer Kostenersparnis von 10 € ha⁻¹. Von den Beisaaten wurden die in Tab. 40 angegebenen Mengen eingesetzt. Das Verfahren ist zusätzlich zu den Saatgutkosten noch mit dem Aufwand für die Handhabung und die Aussaat belastet. Die Erzeugerpreise für Winterraps bewegten sich im Herbst 2007 im Bereich von 550 €/t frei Mühle netto (eigene Erhebungen). Folglich müssen Mehrerträge von 1 bis 2 dt Winter-raps erreicht werden, um das Verfahren kostendeckend zu machen.

Tab. 40: Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten für Öko-Z-Saatgut im Frühjahr 2007 (Bioland Markt GmbH, 2007a), sowie im Exakt- und Praxisversuch im Winterraps eingesetzte Aussaatmengen.

Frucht	Aussaatmenge	Preis [€/dt]
Körnererbse	100 kg ha ⁻¹	65,00
Blaue Süßlupine	100 kg ha ⁻¹	76,00

4.3 Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Klee-grasunter-saaten

4.3.1 Pflanzenbauliche Bewertung

Zielstellung dieser Verfahren war es, mit den Untersaaten eine effektive Unkrautunterdrückung zu erreichen, sowie den bereits im Frühsommer mineralisierenden Stickstoff für die Folgefrucht zu erhalten. Alternativ zu dem untersuchten Verfahren werden nach Körnerleguminosen oftmals Winterrüben als Zwischenfrucht eingesetzt.

Deren Etablierungswahrscheinlichkeit bei Stoppelsaaten ist nach Expertenabschätzung für die ostdeutschen Trockengebiete mit 30-40 % deutlich unter den von Grasuntersaaten mit 70-80% (Bachinger und Zander, 2007). Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz von Winterrüben dennoch erfolgversprechend sein kann. Eine Kombination aus beiden, wie in Wilmersdorf durchgeführt, kann die Vorteile beider Varianten zusammenführen.

Als Untersaatpartner hat sich deutsches Weidelgras am besten bewährt, da es schnellwüchsig und trockenheitstolerant ist, einen gleichmäßigen Bestand bildet und, niedriger als Knaulgras bleibt. Möglichst spät blühende Sorten sind vorteilhaft.

Bei kurzstrohigen Sorten der blauen Süßlupine (Verzweigungstypen) besteht die Gefahr des Überwachsens mit nachfolgenden Beerntungsproblemen. Untersaaten unmittelbar mit bzw. einige Tage nach der Aussaat der Hauptkultur bergen zudem die Gefahr von Verunkrautung und dem Verlust der Untersaat durch die dadurch notwendige mechanische Unkrautbekämpfung in sich.

Als günstigstes Untersaatverfahren gilt das Exaktverteilen durch Einstreuen mit anschließendem Eintriegeln (mit Technik zur Klee-grasuntersaat) im Entwicklungsstadium der Körnerleguminosen BBCH 13-19. Je niederschlagsärmer die Region und je schwerer der Boden desto früher sollte die Einsaat zur sicheren Bestandesetablierung erfolgen. Als Saatstärke genügt allgemein 8-10 kg ha⁻¹.

Die Grasuntersaat leistet zwar einen Beitrag zur C- und N-Anreicherung, zeigte aber in den Exaktversuchen auf leichten zu Frühjahrstrockenheit neigenden Standorten einen im Vergleich zu Winterrüben negativen Vorfruchteffekt bei Hafer bis zu 10 dt ha⁻¹. Da die Pflanzenresiduen mit weitem C:N-Verhältnis keine schnelle N-Mineralisation, sondern u.

U. eine Immobilisierung zur Folge haben können, empfiehlt sich eine organische Düngung vor Umbruch der Untersaat. Im Vergleich zu Varianten ohne Untersaat zeigten sich bei den Untersuchungen von Pommer (2000) keinerlei signifikante Ertragseffekte bei den Nachfrüchten.

In keinem der Versuche konnte in den entsprechenden Varianten Weißklee als Mischungs-partner etabliert werden. Dies dürfte in niederschlagsreicheren Regionen aber durchaus möglich sein und den Vorfruchteffekt verbessern.

4.3.2 Ökologische Bewertung

Unter dem Aspekt des Ressourcenschutzes bietet das Verfahren mit Grasuntersaat einen sicheren Schutz vor NO₃-Austrägen, aber auch vor Erosion, da keine Bodenbearbeitung im Sommer stattfindet und nach der Hauptfruchternte allgemein die schnellste und sicherste Bestandesentwicklung unter den möglichen Zwischenfruchtvarianten erzielt wird.

4.3.3 Ökonomische Bewertung

Der Arbeitsgang „Ausbringung der Untersaat mit Düngerstreuer und Striegel“ spart den letzten Striegelgang und ist damit ökonomisch neutral zu bewerten. Hingegen ist das kostengünstigste Ansaatverfahren der Stoppelsaat Winterrüben nach KTBL (2006) mit 50 € ha⁻¹ zu veranschlagen. Dies verteuert das Verfahren Winterrüben um diese Summe.

Die Erträge der Folgefrucht (in den untersuchten Fällen Hafer) müssen bei der Bewertung zusätzlich mit berücksichtigt werden. Sie lagen bei der Verwendung von Winterrüben als Zwischenfrucht signifikant um bis zu 10 dt ha⁻¹ höher als bei Grasuntersaaten. Zusammen mit den geringen Saatgutkosten (Tab. 41) ist die Variante Winterrüben aus ökonomischer Sicht zu bevorzugen.

Tab. 41: Preise für Öko-Z-Saatgut im Frühjahr 2007. Nettopreise ohne Transport- und Umschlagkosten (Bioland Markt GmbH, 2007b)

Untersaat/Zwischenfrucht	Aussaatmenge [kg ha ⁻¹]	Preis [€ dt ⁻¹]	Aufwand [€ ha ⁻¹]
Deutsches Weidelgras	10	3,25	32,50
Knautgras	10	3,96	39,60
Winterrüben	16	1,4	23

5. Zusammenfassung

In Anbausystemen des ökologischen Landbaus ist Stickstoff der am häufigsten limitierende Wachstumsfaktor. Dies gilt in besonderem Maße für viehlos wirtschaftende Betriebe. Neben der Optimierung des Wirtschafts- bzw. Zukaufdüngereinsatzes und der Reduktion der Nährstoffkonkurrenz durch ein effektives Unkrautmanagement, besteht die Optimierung der N-Versorgung im ökologischen Landbau im Wesentlichen aus den beiden Komponenten, a) der Reduzierung der NO_3 -Auswaschungsverluste und b) der Erhöhung des N-Inputs durch die symbiotische N_2 -Fixierung der Leguminosen.

Zur Reduzierung der N-Austräge können zum einen überwinterten Zwischenfrüchten (Unter- und Stoppelsaaten) in Anbausysteme integriert werden und zum anderen Anbauverfahren (z.B.: Frühsaat von Wintergetreide) modifiziert werden. Zur Erhöhung des N-Inputs durch die symbiotische N_2 -Fixierung der Leguminosen besteht neben dem Hauptfruchtanbau von Körnerleguminosen in Rein- bzw. Mischsaaten auch die Möglichkeiten des legumen Zwischenfruchtanbaus in Form von Unter- und Stoppelsaaten.

Im Rahmen des Projektes ‚Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdrucks im Ökologischen Landbau‘ wurden Feldversuche in den Jahren 2004 bis 2006 durch die Projektpartner Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. (Exaktversuche), Bioland Erzeugerring Bayern e. V. (Praxisversuche) und Gut Wilmersdorf GbR (Praxisversuche) durchgeführt. Drei Anbauverfahren mit Unter- bzw. Beisaaten wurden auf ihre Wirkungen auf a) den N-Haushalt, b) die Ertragsleistung von Haupt- bzw. Folgefrucht, c) die Unkrautentwicklung und d) Aspekte des abiotischen Ressourcenschutzes (N-Austrag, Bodenerosion) sowie e) ihre Praxisrelevanz untersucht:

Anbauverfahren 1: Wintergetreide mit abfrierenden Körnerleguminosen als Untersaaten

Anbauverfahren 2: Winterraps mit abfrierenden Körnerleguminosen

Anbauverfahren 3: Körnerleguminosen mit Gras- und Kleeergrasuntersaaten

Bei dem **Anbauverfahren 1** sind die beiden Hauptfaktoren a) Saatzeitvorverlegung und b) Körnerleguminosenuntersaaten getrennt zu betrachten. Der positive Ertragseffekt der Frühsaat bei Winterroggen und eingeschränkt bei Triticale konnte für leichtere Standorte in Brandenburg mit geringer Auswinterungsgefahr bestätigt werden. Frühsaaten bei Winterweizen führten bei hoher Stickstoffversorgung sortenabhängig zu parasitärem Lager mit teils erheblichen Ertragseinbußen. Im Gegensatz zu Brandenburg zeigten die legumen Untersaatvarianten in Bayern, u.a. bedingt durch eine bessere Untersaatenbiomasseentwicklung, zum Teil erhebliche positive Ertragseffekte bei Winterweizen (bis zu 5 dt ha^{-1}) und bei Winterroggen (bis zu 10 dt ha^{-1}). Durch die Untersaaten war bei Winterweizen im Vergleich zur späteren Normalsaat nur eine Kompensation der saatzeitbedingten Mindererträge der Frühsaat ohne Untersaaten zu beobachten.

Bei dem **Anbauverfahren 2** konnte 2004/2005 gezeigt werden, dass im Vergleich zu den Wintergetreiden legume Untersaaten bei Winterraps deutlich mehr Biomasse mit N-Gehalten bis 80 kg N ha^{-1} bei Erbse vor Winter ausbilden können. Dabei stammten ca. 50 kg N ha^{-1} des Stickstoffs aus der symbiotischen N_2 -Fixierung. Diese vor allem bei Erbsen-untersaat intensive Biomasseentwicklung hatte im Praxisversuch eine ertragsreduzierende Wirkung, bedingt durch Konkurrenz und Bedeckung des Winterrapses mit abgefrorener Biomasse. Bei trockener Frühjahrswitterung trugen selbst hohe Residualmengen nur begrenzt zu einer bedarfsgerechten Versorgung des Winterrapses bei. Eine leicht unkraut-unterdrückende Wirkung der verschiedenen Untersaaten konnte festgestellt werden. Dem gegenüber wurden 2005 die legumen Beisaaten durch den sehr stark entwickelten Winter- raps weitgehend unterdrückt. Witterungsbedingt waren die Versuche nicht oder nur eingeschränkt auf Ertragseffekte auswertbar. Die verwendete neue Saatechnik zur simul- tanen Ansaat von Winterraps und Beisaaten in getrennten Saatzeilen mit angepassten Aussaatmengen und -tiefen konnte in beiden Jahren eine sichere Etablierung beider Saatpartner gewährleisten. Somit kann von einer allgemeinen Eignung dieser Technik für Beisaat-Verfahren ausgegangen werden. Durch starken Schädlingsbefall in 2005 und weitgehender Auswinterung im Winter 2006 konnten keine verallgemeinerbaren Ertrags- daten erfasst werden.

In **Anbauverfahren 1 und 2** eigneten sich schnellwüchsige Saatpartner, wie Lupine oder Ackerbohne, besser, da diese nach dem Abfrieren entweder weitgehend stehen blieben oder, wie die feinblättrige Sommerwicke, sich nicht mattenartig auf den Hauptfruchtbe- stand legten. In Gegenden mit höherem Wildtierbesatz erwies sich die blaue Süßlupine wegen sehr starkem Wildverbiss als nicht geeignet.

Die nur in Brandenburg durchgeführten Versuche zu **Anbauverfahren 3** bestätigten, dass Grasuntersaaten in Körnerleguminosen eine effektive Maßnahme zum Schutz vor N- Austrägen und Erosion nach Körnerleguminosen darstellen. Es zeigte sich auch eine deutlich unkrautunterdrückende Wirkung in der Nachernteperiode. Weißklee als Mi- schungspartner konnte nicht etabliert werden. Im Vergleich zu Winterrübsen-Stoppelsaat, die eine deutlich geringere Etablierungswahrscheinlichkeit bei Sommertrockenheit auf- weist, wurden bei der Nachfrucht Hafer zum Teil deutliche Ertragseinbußen beobachtet. Es kann erwartet werden, dass eine Kombination beider Verfahren diese Gefahr deutlich reduziert.

Die durchschnittlichen Kosten der Verfahren sind stark abhängig von der Art des einge- setzten Saatgutes für die Untersaaten und dem Aufwand für die evtl. zusätzlich anfallende Arbeit. Sie belaufen sich auf 25-100 € pro Anbaujahr. Dem gegenüber stehen die poten- ziellen Mehrerträge und die Kostenersparnis durch die Reduzierung der Anzahl an Ar- beitsgängen

6. Abstract

In organic cropping systems nitrogen is the most limiting factor for plant growth, especially in cash crop systems. Beyond optimising the use of farmyard manure or of purchased organic fertiliser and reducing the nutrient competition by effective weed control, the optimisation of the N-supply aims at the reduction of nitrate leaching and the enhancement of N input through symbiotic nitrogen fixation of legumes.

In general, nitrate leaching can be reduced (i) by incorporation of undersown or stubble-seeded hardy catch crops into the cropping system and (ii) by modifying cropping methods like early sowing of winter cereals.

To increase the N-Input, legumes can be grown as sole crops or within mixed crops, or as inter-cropped or stubble-seeded catch crops.

Within the project 'Novel cropping methods for increasing the N-efficiency and reducing the weedage in organic farming', three novel cropping methods were developed and tested with respect to (i) N-supply, (ii) yield effects on the main crop and the following crop, (iii) weeds, (iv) environmental effects and (v) practical relevance. From 2004 to 2006, field experiments were jointly carried out by the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) Müncheberg (plot experiments), the Bioland producer association Bavaria e. V. (on-farm experiments), and the Manor Wilmersdorf GbR (on-farm experiments)

Cropping method 1: Mixed cropping of winter cereals with non-hardy grain legumes

Cropping method 2: Winter rape with inter-cropped non-hardy grain legumes

Cropping method 3: Grain legumes with undersown grass and clover-grass

In the case of **cropping method 1**, the two main characteristics (i) early sowing date and (ii) inter-cropped non-hardy grain legumes should be considered separately. The positive yield effects of early sowing dates in winter rye and triticale could be confirmed for sandy soils in the federal State of Brandenburg with low risk of winter killing. At high levels of N-supply, early sown winter wheat showed a cultivar-specific stem break with substantial yield losses, especially at one farm experiment in Bavaria.

In contrast to the farm experiments in Brandenburg, in Bavaria the winter cereal plots with different undersown grain legumes showed significant positive yield effects of 0.5 t ha⁻¹ (winter wheat) to approx. 1 t ha⁻¹ (winter rye), caused by increased biomass growth of the inter-cropped legumes in autumn. However, most of the inter-cropped legume crops in winter wheat could only compensate the negative yield effect of early sowing.

In 2004/2005, the experiments with **cropping method 2** showed that pea inter-cropped in winter rape can result, in comparison to winter cereals, in a significant higher biomass production with N-contents of up to 80 kg N ha⁻¹ before winter. About 50 kg N ha⁻¹ of the

N-content was symbiotically fixed. However, the particularly intensive biomass growth of the inter-cropped pea in the first year led to a negative yield effect in rape caused by the inter-specific competition and the covering of the winter rape with the frozen off biomass of the pea plants. In 2005, the intercropped legumes were suppressed by a too far developed winter rape. In dry weather conditions as in spring 2005, even high amounts of legume residues were hardly able to contribute sufficiently to the N demand of the winter rape.

Intensive pest infestation in summer 2005 and frost killing in winter 2006 caused significant up to total yield losses in both years.

Winter rape and grain legumes were both well established using the new sowing technique for simultaneous drilling. This technique seems to be a promising tool for inter-cropping systems.

For **cropping methods 1 & 2** fast growing inter-crops like lupine or faba bean are most suitable because they remain upright when frozen off. Also common vetch was found to be suitable because the plant residues do not cover the main crop after freezing off. Especially in autumn, blue lupine showed an extremely high attraction for game, which caused considerable game damage and therefore is not suitable in regions with high game density.

The results with **cropping method 3** confirm that undersowing grass in grain legumes is an effective and reliable precaution method to avoid post-harvest nitrate leaching and soil erosion. Furthermore, a significant post-harvest weed suppression effect was found. But additionally undersown white clover could not be successfully established. Compared to stubble-seeded winter turnip rape, which showed a significantly lower establishment probability in case of summer drought, undersown grass as a catch crop induced significant yield losses in oat as the following crop. The combination of both, as done in one farm experiment, can be expected to reduce yield losses.

The average costs of the different cropping methods depend mainly on cost of the inter-cropped legume species and the additional work necessary for preparing seed mixtures. They differ from 25 to 100 € ha⁻¹ y⁻¹. This is partly compensated by increased yields and cost savings through the omission of single work steps like the post-emergence weed harrowing in cropping method 3.

7. Literaturverzeichnis

- Andersen, K.Th., 1937. Die Blattrandkäfer *Sitona griseus* F. und *Sitona gressorius* F. als Lupinenschädlinge. *Anz.f.Schädlingskunde* XIII 7, 81-84.
- Aufhammer, W., Stützel, H., Kübler, E., Fiegenbaum, A., 1992. Interplanting of non-legumes into faba bean (*Vicia faba* L.) to reduce the risk of nitrate contamination of ground water. *Eur.J.Agron.* 1, 2, 59-69.
- Bachinger, J., Frielinghaus, M., Pauly, J., Wirth, S., 1999. Entscheidungshilfen zur Planung der Wintergetreideaussaat unter Berücksichtigung von Bodenschutz- und Produktionszielen in ökologisch wirtschaftenden Großbetrieben Nordostdeutschlands. In: Hoffmann, H., Müller, S. (Eds.). 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte". (Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte"). Köster, Berlin, pp. 126-129.
- Bachinger, J., Hufnagel, J., Zander, P., 2003. Regionalisierung von Anbausystemen des Ökologischen Landbaus. In: Freyer, B. (Ed.). 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. (Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau der Zukunft). Manz Cross-media GmbH & Co KG, Wien, pp. 61-64.
- Bachinger, J., Stein-Bachinger, K., 2000. Organic farming on large farms with special reference to eastern Germany - Management strategies, environmental effects and economic aspects. In: Wilson, M.J., Maliszewka-Kordybach, B. (Eds.), *Proceeding of the NATO-Advanced Research Workshop on Soil Quality in Relation to Sustainable Development of Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 125-138.
- Bachinger, J., Zander, P., 2007. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. *Europ.J.Agronomy* 26, 2, 130-143.
- Baresel, J.P., Reents, H.J., Zimmermann, G., 2003. Möglichkeiten Züchterischer Verbesserung der N-Effizienz bei Weizen im ökologischen Landbau. In: Freyer, B. (Ed.). 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau *Ökologischer Landbau der Zukunft*. Wien, pp. 37-40.
- Becker, K. 2006. Virtues of the wide row system for the improvement of baking quality and proceeding value in ecologically produced winter wheat. Justus-Liebig-Universität Giessen. Dissertation.
- Berg, M., Haas, G., Leisen, E., Schenke, H., 2003. Stickstoffmanagement im ökologisch wirtschaftenden Betrieb: Minderung von Stickstoffverlusten. In: *Dokumentation 10 Jahre Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen*. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, pp. 64-75.
- Bioland Markt GmbH, 2007b, Bestellschein Öko-Z-Saatgut Frühjahr 2007. 1-2. 2007a. Augsburg, Bioland Markt GmbH. In:
- Bioland Markt GmbH, 2007c, Öko-Saatgut Frühjahr 2007 für Feldfutteranbau Grünlandan- und nachsaat, Zwischenfrucht. 1-24. 2007b. Augsburg, Bioland Markt GmbH. In:
- Chen, X., 1994. Untersuchungen zur zeitlich-räumlichen Ähnlichkeit von phänologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluss geökologischer Faktoren auf die phänologische Entwicklung im Gebiet des Taunus. Offenbach a. M.
- DeVries, G., 2007. Roggen - Pflanzenbauliche Grundlagen. In: *Roggen - Anbau und Vermarktung* 1.Auflage. Roggenforum e.V., Hannover und Bergen, pp. 46-53.
- Dickler, E., 2007. Untersuchungen zur Besiedlung von wiesennahen Leguminosenkulturen durch Rüsselkäfer. *Z.angew.Zoologie* 55, 129-192.

- Endlicher, W., Hendl, M., 2003. Klimaspektrum zwischen Zugspitze und Rügen. In: Leibniz-Institut für Länderkunde (Ed.), Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg und Berlin, pp. 32-33.
- Felgentreu, C. 2007. persönl. Mitteilung.
- Frielinghaus, M., Höflich, G., Joschko, M., Rogasik, H., Schäfer, H., 1997. Auswertung eines Langzeitexperimentes zur konservierenden Bodenbearbeitung von Sandböden und Einschätzung des Erfolges. Arch.Acker- Pfl.Boden. 41, 383-402.
- Geisler, G., 1988. Pflanzenbau Ein Lehrbuch - biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Gruber, H., Thamm, U., Michel, V., 2003b. Effektive Nutzung des Leguminosenstickstoffs in der Fruchtfolge. Ökologie & Landbau 127, 29-31.
- Gruber, H., Thamm, U., Michel, V., 2003a. Einfluss der Saatstärke auf Ertragsmerkmale bei Getreide [Influence of seed rate on parameters of yield for grain]. In: Freyer, B. (Ed.). 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau Ökologischer Landbau der Zukunft. Wien, pp. 465-466.
- Gutteridge, R.J., Hornby, D., 2003. Effects of sowing date and volunteers on the infectivity of soil infested with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and on take-all disease in successive crops of winter wheat. Ann.appl.Biol. 143, 3, 275-282.
- Heuwinkel H., Locher F., Gutser R., Schmidhalter U., 2005. How and why does legume content of multispecies legume-grass vary in field? In: Frankow-Lindberg B.E., Collins R.P., Lüscher A., Sèbastia T., Helgadóttir Á. (Eds.) Proceedings of the 1st COST 852 workshop, Ystad, Schweden 20-23.09.2004. pp. 262-265.
- Heß, J., 1989. Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen. Universität Bonn.
- Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, G.u.N. 2003. Landessortenversuche 2003 - Hessen Sortenprüfung Blaue Lupine - Ökologischer Anbau. Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz.
- Jensen, E.S., 2007. The Role of Grain Legume N₂ Fixation in the Nitrogen Cycling of Temperate Cropping Systems. The Royal Veterinary and Agricultural University.
- King, R.W., Chadim, H., 1983. The Physiology of Pre-Harvest Sprouting. In: Kruger, J.E., LaBerge, D.E. (Eds.). Third international symposium on pre-harvest sprouting in cereals. pp. 36-42.
- Köpke, U., 1995. Nutrient Management in Organic Farming Systems: the Case of Nitrogen. In: Kristensen, L., Stopes, C., Kolster, P., Granstedt, A., Hodges, D. (Eds.). Nitrogen leaching in ecological agriculture. Proceedings of an International Workshop, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. AB Academic Publishers, Bicester (United Kingdom), pp. 15-29.
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt. 2003. Versuchsbericht Landessortenversuche Blaue Lupinen 2003. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Zentrum für Acker- und Pflanzenbau, Bernburg
- Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung. Brandenburg 2007. Landessortenversuche, Güterfelde, http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/blupi_07.pdf
- La Rue, T.A., Patterson, T.G., 1981. How much nitrogen do legumes fix? Advances in Agronomy 34, 15-38.
- Lütke-Entrup, N., Stegmann, G., 1990. Biologische Stickstoffbindung durch Ackerbohnen und Stickstoffsicherung mit Untersaaten. Mitt.Ges.Pflanzenbauwiss. 3, 285-288.

- Meyercordt, A., Mücke, M., 2006. Ergebnisse der Landessortenversuche Öko-Körnerleguminosen 2006 Körnererbse, Ackerbohne und Blaue Lupine der Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- Möller, K., Leithold, G., Michel, J., Schnell, S., Stinner, W., Weiske, A. 2006. Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau - Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch wirtschaftender Betrieb. Osnabrück
- Olesen, J.E., 1996. Simulating nutrient balances in crop rotations. *Aspects of Applied Biology* 47, 85-92.
- Pauly, J., Bachinger, J., 1997. Zur standorts- und situationsbezogenen Etablierung von Wintergetreidebeständen im Ökologischen Landbau. In: Köpke, U., Eisele, J.-A. (Eds.), Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Bonn, pp. 286-287.
- Pommer, G., 2000. Anbauverfahren mit Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau; Teil 1: Ertrag der Körnerleguminosen; Teil 2: Ertrag der Nachbaufrüchte Winterweizen und Winterroggen, Vergleich mit der Vorfrucht Klee gras als Rotationsgrünbrache. SÖL Berater-Rundbrief 3, 29-36.
- Redelberger, H., 2004. Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. KTBL/Landwirtschaftsverlag, Münster .
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg), Öko-Sortenempfehlungen 2007 – Winterweizen. 2007. In:
- Schnell, W., 1955. Synökologische Untersuchungen über Rüsselkäfer der Leguminosekulturen. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 37, 192-237.
- Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., Vögel, R., Werner, A., 2000. Feldversuche auf landwirtschaftlichen Betrieben: Leitfaden für die Landwirte zur Durchführung produktionsbezogener Experimente. RKL , 1072-1117.
- Stopes, C., 1995. Nitrate Leaching, Farming Systems and Diet-Comparative Evaluation and Research. In: Kristensen, L., Stopes, C., Kolster, P., Granstedt, A., Hodges, D. (Eds.). Nitrogen leaching in ecological agriculture. Proceedings of an International Workshop, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. AB Academic Publishers, Bicester (United Kingdom), pp. 33-40.
- Thiemt, E., 2007. Triticale mit verbesserter Stickstoffeffizienz für den Ökologischen Landbau.
- Timmermann, M. 2006. Bericht zum Forschungsprojekt: Einfluss der Saatzeit auf Ertrag und Qualität von Winterweizen im ökologischen Landbau auf leichten Standorten in Niedersachsen.
- Tischner, H., Bauer, G., 2000. Monitoring für Getreidekrankheiten - Grundlage für den regionalen Warndienst. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch., Berlin-Dahlem.
- Ujvarosi, M., 1973. A gyomnövényzet mennyiségi vizsgálat. In: Ujvarosi, M. (Ed.), Gyomirtás. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, pp. 269-284.
- Vereijken, P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *Eur.J.Agron.* 7, 1-3, 235-250.
- Watson, C.A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L.R., Rayns, F.W., 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil Use Manage.* 18 plant nutrition, 239-247.