

Doris Wagner

**Reduktion des Nitrataustrages
beim Anbau von Winterraps
im Zweikultur-Nutzungssystem**



Cuvillier Verlag Göttingen

Universität Kassel
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Reduktion des Nitrataustrages beim Anbau von Winterraps
im Zweikultur-Nutzungssystem

Dissertation zur Erlangung des akademischen Titels
Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)
Im Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

vorgelegt von Doris Wagner

Gutachter: Prof. Dr. Konrad Scheffer
Prof. Dr. Michael Wachendorf

Witzenhausen 2006

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2007
Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2006

978-3-86727-279-7

Vom Promotionsausschuss als Dissertation angenommen.
Datum der Disputation: 20.12.2006

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2007
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2007

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-279-7

*Glaube mir,
Du wirst mehr in den Wäldern finden als in Büchern.
Bäume und Sträucher werden Dich lehren,
was kein Lehrmeister Dir zu hören gibt.*

(Bernhard von Clairvaux, um 1100)

Reduktion der Nitratauswaschung durch Anbau von Winterraps im Zweikultur-Nutzungssystem – Abstrakt

Raps gilt in Deutschland als die wichtigste Ölf Frucht mit den höchsten Erträgen unter den Ölpflanzen. Neue Sorten eignen sich zur Herstellung von Speiseöl wie auch zur Gewinnung von Biodiesel und ferner für eine Vielzahl technischer Anwendungsbereiche. In den letzten Jahrzehnten konnte im Rapsanbau eine kontinuierliche Zunahme der Anbauflächen beobachtet werden. Im Jahr 2004 wurde die bisher größte Fläche von 1,3 Mio. ha und damit ca. 11% der gesamten Ackerfläche mit Winterraps bestellt.

Der Anbau von Winterraps (*Brassica napus* L.) ist ökologisch nicht unbedenklich, denn für hohe Kornerträge sind ein erheblicher Pestizideinsatz und hohe Mengen an Stickstoffdünger erforderlich. Durch entweder unvollständig aufgenommenen Stickstoff, aus vorzeitigem Blattfall oder aus Ernterückständen verbleiben nach der Ernte erhebliche Mengen an auswaschungsgefährdetem Nitrat-Stickstoff auf dem Acker. Zwar kann Raps dem Boden auch hohe Stickstoffmengen von 200 kg N/ha und mehr entziehen, aber es wird nur ein geringer Teil mit dem Erntegut Korn vom Acker abgefahren. Der größte Teil verbleibt mit der Blatt- und Strohmasse auf der Fläche und wird nach der frühen Ernte, verbunden mit einer intensiven Bodenbearbeitung zur Bekämpfung des Ausfallrapses, zu Nitrat mineralisiert. Da durch nachgebaute Zwischenfrüchte oder den in der Fruchtfolge üblichen Winterweizen diese hohen Stickstoffmengen nicht aufgenommen werden können, verbleiben in der Regel Restnitratmengen von 100 kg N/ha und mehr. Große Mengen davon werden im Herbst mineralisiert und nitrifiziert und unterliegen der Gefahr der Auswaschung in das Grundwasser. Dabei wird der Wert in Ackerböden, der hinsichtlich der Grundwasserbelastung als tolerabel gilt, nach Rapsanbau oft um das dreifache überschritten.

Im Zweikultur-Nutzungssystem werden zwei Kulturen je Vegetationsperiode angebaut, die beide vor der generativen Reife zum Zeitpunkt des höchsten Biomasseertrages (bei Winterraps im EC 85) als Ganzpflanze geerntet werden. Nach der Ernte der ersten Kultur erfolgt die Einsaat der zweiten Kultur direkt in die Stoppel der geernteten Pflanze. Aufwachsende Wildpflanzen oder Unkräuter können in diesem System toleriert werden, da sie einen zusätzlichen Biomasseertrag darstellen. Beide Ernten werden siliert und stehen damit ganzjährig und witterungsunabhängig zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage zur Verfügung. Die permanente Bodenbedeckung stellt einen Erosionsschutz dar und minimiert die Gefahr, dass mineralisch freigesetzter Stickstoff als Nitrat in das Grundwasser eingetragen werden kann. Durch die Ganzpflanzenernte des Grünraps erfolgt die Abfuhr des gesamten oberirdisch gebundenen Stickstoffs, d.h., es bleiben nur wenig leicht abbaubare Bestandteile der Pflanze wie Blätter, Stroh oder Schoten zurück. Verbleibende Reststickstoffmengen können von der ungedüngten Zweitkultur entzogen werden. Biodiversität wird möglich gemacht durch den Anbau beliebiger Arten- und Sortenmischungen sowie die Tolerierung von Wildpflanzen.

Reduction of nitrate leaching by cultivating winter rapeseed in the double-cropping-system - Abstract

In Germany, winter rapeseed is the most important oil crop with regard to yield. New varieties are suitable both for the production of edible oils and biodiesel as well as for a number of other technical applications. Over the last decades, the cultivation of winter rapeseed has continuously been growing. In 2004, 1.3 million hectares corresponding to 11% of the whole agricultural crop land was tilled with winter rapeseed.

From an ecological point of view, however, the cultivation of rapeseed (*Brassica napus* L.) is problematic, because high amounts of pesticides and nitrogen fertilizers are required to optimize the yield of seeds. Extensive quantities of water soluble nitrate remain on the fields due to an incomplete uptake of nitrogen by the plants, the premature loss of leaves and post harvest residues.

Rapeseed takes up to 200 kg of nitrogen per hectare or even more from the soil. Only a small percentage of this nitrogen, however, is harvested with the seeds, whereas the main part remains on the field in leaf and straw. After an early harvest and intensive tillage operations to counteract self-sown grain these residues are mineralized to nitrate. The consequent tillage of suitable crops like the frequently used winter wheat is not sufficient to remove this nitrate from the fields. On the average, 100 kg of nitrogen or more will remain in the soil as nitrate. Following catch crops or wheat, which is common at the position of rotation, are not able to absorb these high amounts of nitrogen. In autumn, a part of this nitrate is mineralised and washed out into the groundwater. Consequently, the maximum allowable nitrate concentration in soil which is tolerable with regard to groundwater quality is often exceeded by a factor of three after the cultivation of rapeseed.

In the double-cropping-system, two crops per year are cultivated. Both crops are harvested as whole plants at the time they achieve the maximum yield in biomass (in case of rapeseed it is EC 85). After harvesting the first crop, the second one is drilled directly in the stubble of the harvested crops without any tilling operations. The growth of weeds is tolerated in this system, as they represent an additional yield. Their seeds will not reach their final ripeness. Both of the harvested crops are stored as silage. In this way the biomass will be available for biogas production during the whole year and independent of weather conditions. The prolonged utilization of soil minimizes erosion and the danger of nitrate leaching to the groundwater. By harvesting the whole plants instead of only the rapeseed, all nitrogen accumulated in the crop parts above ground level will be completely discharged. Only minor parts of the crop such as leaves, straw or sheet ropes that easily decompose will remain on the field. The nitrogen that is left in the soil will be taken up by the second culture, which is not fertilized. By the cultivation of a wide range of plant varieties and species and the acceptance of weed growth, biodiversity will be promoted.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Grund- und Trinkwasserbelastung durch Rapsanbau.....	3
2.2	Energetische Ganzpflanzennutzung	5
2.3	Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem.....	7
3	Beschreibung der Versuchsstandorte	11
3.1	Versuchsstandort Lemshausen	11
3.1.1	Schlag „An den Teufelsköpfen“ 2001/02	11
3.1.2	Klimaverlauf	12
3.1.3	Schlag „Hinter dem Hof“ 2002/03.....	12
3.1.4	Klimaverlauf	13
3.1.5	Standort 2003/04: Schlag „Berg“	14
3.2	Versuchsstandort Hebenshausen.....	15
3.2.1	Schlag „Meierbreite“	15
3.2.2	Klimaverlauf	16
3.3	Versuchsanlage.....	19
3.3.1	Lemshausen	19
3.3.2	Hebenshausen.....	20
4	Material und Methoden.....	21
4.1	Beschreibung der angebauten Sorten	21
4.2	Aussaat- und Erntetermine	22
4.3	Düngung	23
4.4	Pflanzenschutz-Behandlungen in der konventionell bewirtschafteten Versuchsvariante (+PSM).....	24
4.5	Ertragserhebung	24
4.6	Bonituren	25
4.7	N-Anreicherung durch Blattfall	25
4.8	Zweikultur	26
4.9	N _{min} -Untersuchungen.....	26
4.10	Stickstoffgehalt im Erntegut.....	26
4.11	Stickstoffbilanz.....	27

4.12	Statistische Auswertung	27
4.13	Deckungsbeitragsberechnungen	28
4.14	Potentielle Marktleistung bei Verstromung	28
5	Ergebnisse	30
5.1	Biomasseerträge Lemshausen	30
5.1.1	Lemshausen 2001/02.....	30
5.1.2	Lemshausen 2002/03.....	32
5.1.3	Lemshausen 2003/04.....	35
5.1.4	Biomasseerträge Hebenshausen.....	37
5.1.4.1	Hebenshausen 2001/02	38
5.1.4.2	Hebenshausen 2002/03	41
5.1.4.3	Hebenshausen 2003/04	45
5.2	Stickstoff-Dynamik	48
5.2.1	Hebenshausen 2001/02	49
5.2.2	Hebenshausen 2002/03	49
5.2.3	Hebenshausen 2003/04	50
5.2.4	Lemshausen 2001/02.....	53
5.2.5	Lemshausen 2002/03.....	53
5.2.6	Lemshausen 2003/04.....	54
5.3	Stickstoff-Bilanzen	56
5.3.1	Lemshausen 2001/02.....	56
5.3.2	Lemshausen 2002/03.....	57
5.3.3	Lemshausen 2003/04.....	59
5.3.4	Hebenshausen 2001/02	60
5.3.5	Hebenshausen 2002/03	61
5.3.6	Hebenshausen 2003/04	64
5.4	Vorernteverlust durch Blattfall bei Winterraps.....	66
5.5	Betriebswirtschaftliche Betrachtungen	67
5.5.1	Lemshausen 2001-2004	68
5.5.2	Hebenshausen 2001-2004.....	69
6	Diskussion	72
6.1	Biomasseerträge in Abhängigkeit von Produktionssystem und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	72

6.2	Stickstoff	77
6.2.1	N _{min} -Dynamik	77
6.2.2	N-Bilanzierung	84
6.3	Monetärer Vergleich der Produktionssysteme	92
7	Zusammenfassung	99
8	Literaturverzeichnis	102
9	Anhang	117

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2001/02	12
Abb. 2:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2002/03	13
Abb. 3:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2003/04	14
Abb. 4:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2001/02.....	16
Abb. 5:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2002/03.....	17
Abb. 6:	Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2003/04.....	18
Abb. 7:	Versuchsanlage Lemshausen 2001-2004	19
Abb. 8:	Versuchsanlage Hebenshausen 2001-2004.....	20
Abb. 9:	Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2001/02	31
Abb. 10:	Rapskorn und –strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2001/02	31
Abb. 11:	Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2002/03	32
Abb. 12:	Rapskorn und -strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2002/03	33
Abb. 13:	Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Lemshausen 2002/03	34
Abb. 14:	Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2003/04	35
Abb. 15:	Rapskorn und –strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2003/04	36
Abb. 16:	Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Lemshausen 2003/04	37
Abb. 17:	Biomasseerträge von Winterrapssorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2001/02.....	38

Abb. 18: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2001/02.....	39
Abb. 19: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Express“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2001/02.....	40
Abb. 20: Biomasseerträge Winterrapssorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03.....	41
Abb. 21: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2002/03.....	42
Abb. 22: Biomasseertrag „Express“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03.....	43
Abb. 23: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Hebenshausen 2002/03.....	44
Abb. 24: Biomasseerträge Winterrapssorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03.....	45
Abb. 25: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2002/03.....	46
Abb. 26: Biomasseertrag „Express“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2003/04.....	47
Abb. 27: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Hebenshausen 2003/04.....	48
Abb. 28: N_{\min} -Dynamik bei RapsGP, im ZKN und bei Körnerraps, Hebenshausen 2002-2004	52
Abb. 29: N_{\min} -Dynamik bei RapsGP, im ZKN und bei Körnerraps, Lemshausen 2002-2004	55
Abb. 30: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2001/02.....	56
Abb. 31: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2002/03.....	58
Abb. 32: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2003/04	59
Abb. 33: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2001/02.....	60

Abb. 34: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2002/03.....	62
Abb. 35: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2003/04.....	64
Abb. 36: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapssorte „Arthus“, Lemshausen 2001-2004	69
Abb. 37: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapssorte „Panther“, Hebenshausen 2001-2004	70
Abb. 38: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapssorte „Express“, Hebenshausen 2001-2004	71
Abb. 39: Korrelation zwischen N_{\min} und N-Bilanzsaldo beim Anbau von Winterraps	83
Abb. 40: N-Akkumulation durch einen Rapsbestand.....	87

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Aussaat- und Erntetermine auf den Standorten Hebenshausen und Lemshausen 2001-2004	22
Tab. 2:	Düngung an den Versuchsstandorten Lemshausen und Hebenshausen	23
Tab. 3:	Pflanzenschutz an den Versuchsstandorten Lemshausen und Hebenshausen	24
Tab. 4:	Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapssorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2001/02	61
Tab. 5:	Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapssorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2002/03	62
Tab. 6:	Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapssorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2003/04	65
Tab. 7:	Vorernteverluste bei Winterraps („Panther“) durch Blattfall, Hebenshausen 2003/04.....	66
Tab. 8:	Gesamt- Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem [t TM/ha] mit und ohne PSM-Anwendung, Lemshausen und Hebenshausen 2001-04	74
Tab. 9:	Biomasseerträge der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen [t TM/ha] mit und ohne Stickstoffdüngung, Lemshausen und Hebenshausen 2002-04	76
Tab. 10:	Stickstoff-Saldo in verschiedenen Produktionssystemen mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen und Hebenshausen 2001-04	85
Tab. 11:	Potentieller Erlös aus Verstromung im Vergleich zum Deckungsbeitrag bei Verkauf der Biomasse (Winterrapssorten „Arthus“ und „Panther“), Lemshausen und Hebenshausen 2001-04	96

Verzeichnis der Abkürzungen

Akh	Arbeitskraftstunde
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
GP	Ganzpflanzen
GPS	Ganzpflanzensilage
GE	Gesamtenergie
ha	Hektar
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrische Energie
N	Stickstoff
NAWARO	Nachwachsender Rohstoff
N _{min}	mineralischer Stickstoff: Nitrat und Ammonium
NO ₃	Nitrat
MJ	Megajoule
PSM	Pflanzenschutzmittel
t	Tonne
TM	Trockenmasse
XL	Rohfett
XF	Rohfaser
XX	Nfreie Extraktstoffe
W-Raps	Winterraps
ZKN	Zweikultur-Nutzungssystem
ZKN+N	Zweikultur-Nutzungssystem mit zusätzlicher Düngung

1 Einleitung

Winterraps (*Brassica napus* L.) gilt in Deutschland als die wichtigste Ölfrucht mit den höchsten Erträgen unter den Ölpflanzen. Neue Sorten eignen sich zur Herstellung von Speiseöl wie auch zur Gewinnung von Biodiesel und ferner für eine Vielzahl technischer Anwendungsbereiche. In den letzten Jahrzehnten konnte im Rapsanbau eine kontinuierliche Zunahme der Anbauflächen beobachtet werden. Im Jahr 2004 wurde die bisher größte Fläche von 1,3 Mio. ha und damit ca. 11% der gesamten Ackerfläche mit Winterraps bestellt.

Der Anbau von Winterraps ist mit hohen ökologischen Belastungen verbunden, da für hohe Kornerträge ein erheblicher Pestizideinsatz und hohe Mengen an Stickstoffdünger erforderlich sind. Durch entweder unvollständig aufgenommenem Stickstoff, aus vorzeitigem Blattfall oder aus Ernterückständen verbleiben nach der Ernte von Winterraps erhebliche Mengen an auswaschungsgefährdetem Nitrat-Stickstoff auf dem Acker. Zwar kann Raps dem Boden auch hohe Stickstoffmengen von 200 kg N/ha und mehr entziehen, aber es wird nur ein geringerer Teil mit dem Erntegut Korn vom Acker abgefahren. Der größte Teil verbleibt mit der Blatt- und Strohmasse auf der Fläche und wird nach der frühen Ernte, verbunden mit einer intensiven Bodenbearbeitung zur Bekämpfung des Ausfallrapses, zu Nitrat mineralisiert. Da durch nachgebaute Zwischenfrüchte oder den in der Fruchtfolge üblichen Winterweizen diese hohen Stickstoffmengen nicht aufgenommen werden können, verbleiben in der Regel Restnitratwerte von 100 kg N/ha und mehr. Diese Mengen werden im Herbst mineralisiert und unterliegen als Nitrat-Stickstoff der Gefahr der Auswaschung in das Grundwasser. Dabei wird der Wert in Ackerböden, der hinsichtlich der Grundwasserbelastung als tolerabel gilt, nach Rapsanbau oft um mehr als das dreifache überschritten. Zur Vermeidung bzw. Minderung dieser ökologischen Belastungen werden besonders in Trinkwasserschutzgebieten große Anstrengungen unternommen, die Landwirte durch finanzielle Anreize zur Reduktion von Pestizid- und Düngermengen sowie veränderten Ackerbau zu bewegen. Diese Maßnahmen erwiesen sich jedoch in der Vergangenheit trotz erheblicher Geldausgaben (z. B. „Wassergroschen“) als wenig erfolgreich.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Anbau von Winterraps im Zweikultur-Nutzungssystem untersucht. Durch die hoch effiziente energetische Nutzung der Raps Ganz-

pflanze wird ein Weg aufgezeigt, der zu einem von finanziellen Zuschüssen befreiten und zudem ökologisch unbedenklichen Anbau von Winterraps führt.

2 Literaturübersicht

2.1 Grund- und Trinkwasserbelastung durch Rapsanbau

Seit Mitte der achtziger Jahre hat mit Einführung der 00-Rapssorten der Körnerrapsanbau deutlich zugenommen (ANTHONY 1994). Unter den in Deutschland angebauten landwirtschaftlichen Kulturen weist Winterraps neben einigen Sonderkulturen die höchsten N-Bilanzüberschüsse auf (GÄTH 1997). Nach der Rapsernte werden regelmäßig sehr viel höhere N_{\min} -Gehalte im Boden gemessen als z.B. nach Getreide. Mittlere N_{\min} -Mengen reichen von 70 bis 100 kg N/ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe, Spitzenwerte allerdings liegen deutlich über 200 kg N/ha (TEIWES ET AL 1996). 93% der Raps-Anbauflächen fallen in N-Überschuss-Klassen von >75 kg N/ha/Jahr, rund 33% fallen bereits in Bereiche über >150 kg N/ha (ANTHONY 1994).

Die Ursache der hohen Überschüsse liegt zum einen in der unvollständigen Stickstoff-Translokation aus den vegetativen Organen in die Samen während der reproduktiven Wachstumsphase. Dies erfordert eine weit über den Entzug durch die Samen hinausgehende N-Düngung. Zum anderen werden dem Boden durch den schon vor der Blüte einsetzenden Blattfall bedeutende Mengen an Stickstoffverbindungen zugeführt (LICKFETT ET AL 1997). Dieses Pflanzenmaterial weist ein enges C/N-Verhältnis auf (DIEPENBROCK ET AL 1995; KESSEL ET AL 1999), was für seinen schnellen mikrobiellen Abbau verantwortlich ist. Demnach können zum Zeitpunkt der Ernte bzw. kurz danach bereits erhebliche Mengen an Nitrat mineralisiert worden sein (AUFHAMMER ET AL 1994). Diese speziellen Gegebenheiten beim Wachstumsverlauf des Rapses führen zu stark ansteigenden N_{\min} -Gehalten im Boden und folglich zu einer potentiellen Gefährdung der Wasserqualität (LICKFETT ET AL 1997). Die beschriebene Problematik der hohen Reststickstoffgehalte nach dem Anbau von Winterraps ist bekannt und resultiert besonders in Trinkwasserschutzgebieten in Anbaurestriktionen. Forderungen gehen soweit, den Rapsanbau auf ertragschwachen und besonders auswaschungsgefährdeten Standorten zu untersagen. Da die Problemstellung der hohen N-Bilanzüberschüsse nach Winterraps vor allem auf der hohen Stickstoffaufnahme bis Blühbeginn, aber der nur unvollständigen Retranslokation von N aus den vegetativen Organen in die Samen gekennzeichnet ist, stellt eine stark verminderte N-Düngung keine Problemlösung dar, da sie mit stark sinkenden Erträgen einhergeht, aber keine Verminderung der Nitratauswaschung erfolgt (ANTONY 1994, MEYER ET AL. 2000; BEHRENS 2002). LICKFETT (1994,1997)

erzielte in mehrjährigen Versuchen bei reduzierter Düngung von durchschnittlich 96 kg N/ha zwar ausgeglichene N-Bilanzen, verzeichnete aber auch stark verminderte Kornerträge zwischen 2,0 bzw. 1,0 t/ha. Negative Salden von durchschnittlich -45 kg N /ha konnten nur bei jeglichem Verzicht auf Düngung erzielt werden. Die Kornerträge lagen hier im Mittel über drei Versuchsstandorte und fünf Jahre zwischen 1,6 und 0,6 t/ha. Eine ausreichende Versorgung des Rapses ist nach VEENKER ET AL. (2003) bei einem ausgeglichenen N-Bilanzsaldo für diese Fruchtart nicht möglich. Demzufolge kann auch eine stark verminderte Düngung weder eine praktikable Lösung für den Landwirt, noch eine erfolgreiche Strategie zur Verringerung der N-Bilanzüberschüsse bei Winterraps darstellen.

Ein weiterer Ansatz zur Verminderung hoher Rest-Stickstoffmengen nach Raps stellt der Zwischenfruchtanbau dar. Jedoch werden auch beim Zwischenfruchtanbau die unvermeidbaren Verluste umso größer sein, je höher die dem Boden zugeführten N-Mengen sind und je mehr N im Boden zirkuliert (CLAUPEIN 1994). Auch Ausfallrapsbestände nehmen bis zur Winterweizenaussaat nur 40 bis maximal 75 kg/N auf (AUFHAMMER ET AL. 1994; NLÖ 2001). VEENKER ET AL. (2003) erzielten durch verbleibende Ausfall-Rapsbestände eine Stickstoffkonservierung zwischen 22 und 49 kg N/ha. LICKFETT (1997) berichtet von einer biologischen N-Konservierung von 30-40 kg N/ha durch Ausfallraps oder die Aussaat von *Phacelia* nach Winterraps, weist aber darauf hin, dass dieses Vorgehen nicht immer erfolgreich ist. Bei ungünstigen Auflaufbedingungen (Trockenheit, hohe Pflanzendichte) oder frühen Frosteinbrüchen kann die Begrünung durch nicht winterharte Zwischenfrüchte scheitern. KETELSEN ET AL. (2003) weisen darauf hin, dass auch bei Zwischenfruchtanbau z.T. hohe N_{\min} -Werte vorgefunden wurden und diese Maßnahme daher keine generelle Garantie für niedrige Herbst- N_{\min} -Werte darstellt.

SCHEFFER ET AL. (1997) stellten als Alternative zum Rapsanbau die potentiellen Auswirkungen von Flächenstilllegungen zur Verminderung von Nitratausträgen am Beispiel Niedersachsens dar. Es wurde errechnet, dass bei einer Reduktion der Ackerflächen um 30% der Nitrataustrag lediglich um 5 kg N/ha/Jahr vermindert würde. Diese Reduktion würde relativ wenig zur Entlastung der Gewässer beitragen. Eine solche Maßnahme würde die weitreichende Umstellung der landwirtschaftlichen Nutzung beinhalten, dem Erhalt der Kulturlandschaft zuwiderlaufen und zudem hohe Ausgleichszahlungen erfordern. Auch die Zusatzberatung in Wasserschutzgebieten mit der Erfassung jedes einzelnen Betriebes ist mit erheblichen Kosten von ca. 140

€/ha verbunden (ZEIDLER ET AL. 2000). Flächenstilllegungen oder das Verbot des Rapsanbaus in auswaschungsgefährdeten Gebieten können keine Lösung für den Landwirt darstellen.

Seit dem 22.12.2000 ist die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) mit der Zielvorgabe „Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustandes der Gewässer der EU innerhalb von 15 Jahren“ in Kraft getreten. Von der WRRL ist in besonderem Umfang auch die Landwirtschaft betroffen, da sie als Hauptverursacher der Gewässerbelastung gilt. Gemäß diverser Studien erreichen die deutschen Gewässer hinsichtlich der Nitratbelastung nur zu 14% das Qualitätsurteil „gut“ (LAWA & LABO 2002). Es wird davon ausgegangen, dass die NO₃-Belastung des Grundwassers in Deutschland weiterhin jährlich um 1 bis 2 mg/l steigt (HARTMANN ET AL 2002). Das zentrale Element der WRRL ist ein koordiniertes länderübergreifendes Vorgehen, was eine Abstimmung unter allen Beteiligten voraussetzt. Die Zielerreichung der EG-WRRL wird deshalb wesentlich von der Umsetzung der landwirtschaftlichen Maßnahmenprogramme abhängig sein, weshalb die Kooperation von Wasser- und Landwirtschaft ebenfalls eine zentrale Rolle einnehmen wird, d.h. sich auch die Landwirtschaft in den Prozess einbringen muss.

Auch wenn eine landwirtschaftliche Produktion ohne jegliche diffuse Stoffeinträge nicht möglich ist, sollte doch die Option genutzt werden, die Einträge durch ein optimiertes Stoffmanagement so zu steuern, dass gebietsbezogene Frachten in einem akzeptablen Rahmen bleiben. Die Integration des Winterrapsanbaus in das Zweikultur-Nutzungssystem, das die energetische Nutzung von silierten Ganzpflanzen aus jährlich zwei Ernten zum Ziel hat, bietet die Möglichkeit, die „Entweder-oder-Lösung“ zwischen Ökologie und Ökonomie zu umgehen. Besonders auf auswaschungsgefährdeten Standorten sollte die verlustarme Ganzpflanzennutzung mit dem damit verbundenen Export des gesamten in der Pflanze enthaltenen Stickstoffs einer Körnernutzung unbedingt vorgezogen werden.

2.2 Energetische Ganzpflanzennutzung

Die Energieversorgung der EU ist aufgrund erheblicher struktureller Schwächen mit Unsicherheiten behaftet. Aufgrund des ansteigenden Energiebedarfs wird ohne Änderung unserer bestehenden Lebensgewohnheiten die EU nach Schätzungen in 20 - 30 Jahren ihren Energiebedarf bis zu 70% aus eingeführten Importen decken

müssen. Damit ist verbunden, dass auch die Preisausschläge am internationalen Energiemarkt deutlich zunehmen werden, ohne dass darauf ein nennenswerter Einfluss genommen werden kann. Um Konflikte bezüglich der zu Neige gehenden fossilen Rohstoffe zu vermeiden und gleichzeitig dem drohenden globalen Klimakollaps entgegenzuwirken, soll die derzeit primär genutzte fossile Ressourcenkette durch Energieträger mit weitestgehend ausgeglichener CO₂-Bilanz ergänzt werden (STAIß 2003). Der Plan der EU-Kommission strebt eine Verdopplung der regenerativen Energien bis 2010 (gegenüber 2000) an, die bis Mitte des Jahrhunderts sogar rund die Hälfte des Energieverbrauchs decken sollen. Ausgangspunkt für diese Ziele ist ein sogenannter Energiemix, der besagt, dass 35 % der Energie aus Wasserkraft und 60% aus Biomasse bereitgestellt werden soll. Die energetische Nutzung von Biomasse an der gesamten Energieversorgung soll bis 2010 von derzeit 3,3% auf 8,5% angehoben werden. Dieser geplante Zuwachs soll zur Hälfte erreicht werden über die Nutzung bisher unerschlossener Potentiale in der Land- und Forstwirtschaft, zur anderen Hälfte über die Nutzung von extra angebauten Energiepflanzen (BMVEL 2004, BMU 2002).

Biomasse kann in fester, flüssiger oder gasförmiger Form zur Wärme- und Stromversorgung, aber auch als Treibstoff eingesetzt werden. Die Biogasproduktion aus extra angebauten Energiepflanzen hat gegenwärtig die größte Bedeutung. Unter Energiepflanzen werden nach KALTSCHMITT ET AL (1997) Pflanzen verstanden, die ausschließlich zur energetischen Nutzung produziert werden. Der Landwirt kann schon heute den Rohstoff ab Feld zu Kosten produzieren, die um den Faktor 3 bis 4 niedriger liegen als Heizöl (KESTEN 2005). Auf Grund hoher Konversionskosten bzw. geringer Konversionseffizienz geht dieser Preisvorteil beim Endprodukt vielfach wieder verloren. Daher müssen Konversionsverfahren entwickelt werden, die hohe Nettoenergieausbeuten erreichen. Gleiches gilt für die Flächennutzung. Das Ziel, einen hohen Anteil zukünftiger Energieversorgung aus Biomasse bereitzustellen, kann nur erreicht werden, wenn der Nettoenergieertrag pro Flächeneinheit hoch ist, d.h. höchster Flächenertrag bei minimalem Aufwand an Betriebsmitteln. Gleichzeitig muss die neue Produktionsrichtung „Energiepflanzenanbau“ mit einer deutlichen Minderung von Umweltbelastungen durch Pestizid- und Nitrateinträge in das Grundwasser und Bodenerosion bei gleichzeitiger Ausweitung der Biodiversität verbunden sein. Der Anbau von Energiepflanzen nach dem in Witzenhausen entwickelten Zweikulturnutzungssystem (ZKN) entspricht weitgehend diesen

Forderungen und garantiert seit der Novelle des „Erneuerbare-Energien-Gesetzes“ (EEG) von 2004 und der damit stark gestiegenen Einspeisevergütung für Strom auch eine wirtschaftlich lohnende Landnutzung. Ferner fördert die energetische Nutzung des pflanzlichen Aufwuchses zur Energiegewinnung in einer Biogasanlage den dezentralen Einsatz regenerativer Energien und schafft damit neue Einkommensquellen in Land- und Forstwirtschaft. Zurzeit liegt der Branchenumsatz im Bereich „Erneuerbare Energien“ bei über 9 Mrd. € pro Jahr und bietet mehr als 130.000 Menschen Beschäftigung (SONNLEITNER 2004). Prinzipiell ist denkbar, dass sich die Landwirte über den Schritt zu sogenannten „Energiewirten“ zu Strom-, Wärme oder Biokraftstoffproduzenten für sich und die eigene Region wandeln und damit wiederum zur Stärkung des ländlichen Raumes beitragen (SCHEFFER 2003). Die für einen Energiepflanzenbau nutzbaren Anbauflächen werden laut BMU (2004) zurzeit auf 2 Millionen Hektar in Deutschland geschätzt; was ca. 1/6 der derzeit genutzten Ackerfläche entspricht. Bis zum Jahr 2030 könnten laut Schätzungen 4,4 Millionen ha Acker- und Wiesenflächen frei werden, da die Landwirtschaft mit steigenden Erträgen immer weniger Fläche benötigt, um die sinkende Bevölkerung zu ernähren (ÖKO-INSTITUT 2004).

2.3 Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem

Das Prinzip des Zweikultur-Nutzungssystems beinhaltet den Anbau von zwei Kulturen, die vor der generativen Reife zum Zeitpunkt des höchsten Biomasseertrages geerntet werden. Die vorgezogene Ernte der ersten Kultur schafft zusätzliche Vegetationszeit und ermöglicht den Anbau einer Sommerung in der gleichen Wachstumsperiode. Dieses Anbausystem ist für ein breites Spektrum von Kulturpflanzen geeignet. Als erste Kultur stehen neben Raps, Rübsen und Winterleguminosen alle Getreidearten zur Verfügung. Als Zweitkultur eignen sich beispielsweise Mais, Sonnenblumen, Hanf, Hirsen und Sudangras. Prinzipiell können im ZKN alle ertragreichen landwirtschaftlichen Kulturen zum Anbau kommen. Nach der Ernte der Ganzpflanzen und anschließender Silierung steht das Erntegut ganzjährig und witterungsunabhängig als Substrat zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage zur Verfügung.

Grundlage vorliegender Arbeit war die Kombination von Winterraps mit einem Gemisch aus Mais und Sonnenblumen. Nach der frühen Rapserte im EC 85, in dem

nach Untersuchungen von SCHWERIN VON (2000) der höchste Ganzpflanzenertrag bei hohen Ölgehalten im Korn erzielt wird, erfolgt die Einsaat der zweiten Kultur ohne vorherige Bodenbearbeitung im Direktsaatverfahren. Beide Kulturen werden bei der Ernte aus dem Stand gehäckselt und feucht siliert. Diese Form der Lagerung ermöglicht die ganzjährige Bereitstellung des Erntematerials zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage. Die Stoppeln des Rapses und die Wurzeln der Zweitkultur bieten Schutz vor Erosion, der Verzicht auf Bodenbearbeitung wirkt der ansonsten beschleunigten Mineralisation von Humus entgegen. Aufwachsende Wildpflanzen oder Unkräuter können in diesem System toleriert werden, da sie ebenfalls energetisch genutzt werden können. Durch den frühen Erntetermin erreichen die Wildpflanzen in der Regel nicht die Samenreife, weshalb sich das Samenpotential auf den Flächen nicht erhöht. Speziell bei Raps als Erstkultur könnte daher auf das üblicherweise sehr breite Spektrum an Herbiziden, Insektiziden und Fungiziden verzichtet werden, da nicht Qualität und Quantität des Kornertrages im Vordergrund stehen, sondern ein hoher Biomasseertrag. Durch den Verzicht auf Pestizide wäre die Forderungen nach Artenvielfalt und Verringerung der Einleitung gefährlicher Schadstoffe in das Grundwasser erfüllt.

Bei Verzicht auf eine zusätzliche Stickstoffdüngung der Zweitkultur wird dem Boden bis in den Herbst hinein Stickstoff entzogen, der vom Raps hinterlassen wurde. Mit der Ernte des gesamten oberirdischen Pflanzenmaterials könnte somit garantiert werden, dass die gesamte Menge an oberirdisch gebundenem Stickstoff vom Feld exportiert wird. Da den Pflanzen bei der Biogasproduktion nur Kohlenstoff und Wasserstoff entzogen wird, bleiben die restlichen Nährstoffe im Gärrest fast vollständig erhalten. Mit der Ausbringung des Gärrückstandes auf das Feld stehen diese der Folgefrucht wieder als Dünger zu Verfügung, woraus ein nahezu geschlossener Nährstoffkreislauf resultiert.

Durch die Integration des Rapsanbaus in das Zweikultur-Nutzungssystem ließe sich eine erhebliche ökologische und speziell im Bereich des Grundwasserschutzes auch finanzielle Entlastung realisieren. Im Jahr 2001 wurden allein in Niedersachsen rd. 10 Mio. € zur Entschädigung von Ertragseinbußen gezahlt, die aus grundwasserschutzorientierten Wirtschaftsweisen resultierten. Weitere 8 Mio. € wurden in die Zusatzberatung investiert (WITTE 2002).

In dem vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie unterstützten F+E-Projekt „Reduktion des Nitrataustrages beim Anbau von Winterraps durch ein neues Anbauverfahren“ wurde geprüft, ob durch die Integration von Winterraps in das Zweikultur-Nutzungssystem auch in trinkwassersensiblen Gebieten ein grundwasserschonender Rapsanbau realisiert werden kann. Dazu sind die folgenden Arbeitshypothesen untersucht worden:

- Ein einträglicher Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem ist ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln möglich.
- Durch die frühe Ernte des Rapses im EC 85 wird eine N-Anreicherung durch leicht zersetzbare Pflanzenmaterial bzw. Vorernteverluste vermieden.
- Die Ganzpflanzennutzung von Raps und der Anbau einer zweiten Kultur führen zu ausgeglichenen Stickstoffbilanzen.
- Der Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem und die Nutzung der Biomasse in einer Biogasanlage ist im Vergleich zum herkömmlichen Winterrapsanbau rentabel.

Zur Überprüfung der genannten Arbeitshypothesen wurde das System „Winterraps im Zweikulturnutzungssystem“ über drei Jahre auf zwei Versuchsstandorten im Feldversuch geprüft.

3 Beschreibung der Versuchsstandorte

Die der Arbeit zugrunde liegenden Feldversuche wurden in den Jahren 2001-2004 auf den Versuchsstandorten Hebenshausen und Lemshausen durchgeführt. Die einzelnen Schläge sowie die zugehörigen Klimadaten werden im Folgenden beschrieben. Im Rahmen des F+E-Projektes wurde ein dritter Standort (Achim-Uesen, Kreis Verden) untersucht und vom Bodentechnologischen Institut (BTI), Bremen betreut. Diesbezügliche Ergebnisse sind im Abschlussbericht „Reduktion des Nitrat-austrages beim Anbau von Winterraps durch ein neues Ernteverfahren, Teil NlfB Bremen AZ 62400/02-52“ dokumentiert und beim Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) einsehbar.

3.1 Versuchsstandort Lemshausen

Der Versuchsstandort Lemshausen befindet sich ca. 10 km entfernt von Göttingen im Trinkwassereinzugsgebiet Tiefenbrunn. Für den Versuchsstandort Lemshausen wurden durchgängig über alle Versuchsjahre die Klimadaten einer Wetterstation in Rosdorf verwendet. Die Bereitstellung der Daten erfolgte über den Deutschen Wetterdienst (DWD). Aufgrund der sehr heterogenen Standorte wurden am Standort Lemshausen für die Jahre 2001-2004 einzelne Bodenprofile erstellt.

3.1.1 Schlag „An den Teufelsköpfen“ 2001/02

Bodentyp: stark erodierte Pseudogley-Parabraunerde aus Löß (SS-LL)

Horizontabfolge:

Ap	0-30
Bt	30-70
IC-Sw	70->140

Ap-Horizont	sehr stark durchwurzelt, Bröckelgefüge, schwach bis mittel verfestigt, entkalkt
Bt-Sw-Horizont	mittel durchwurzelt, rostfleckig und kleine Manganflecken, stark porös, entkalkt
IC-Sw-Horizont	durchwurzelt, rostfleckig, Manganflecken größer, stark porös, carbonathaltig

3.1.2 Klimaverlauf

Das Versuchsjahr 2001/02 war durch extrem hohe Niederschläge gekennzeichnet. Wie aus Abb. 1 ersichtlich, waren besonders hohe Niederschlagsmengen im September 2001 (nach der Herbstdüngung) sowie im Folgejahr im Mai, Juli und zum Jahresende zur Phase der Grundwasserneubildung zu messen. Insgesamt betrachtet lag die Niederschlagsmenge rund 25% oder 213 mm über dem langjährigen Mittel. In den Monaten April bis August lag die Monatsdurchschnittstemperatur durchgängig über dem langjährigem Mittel.

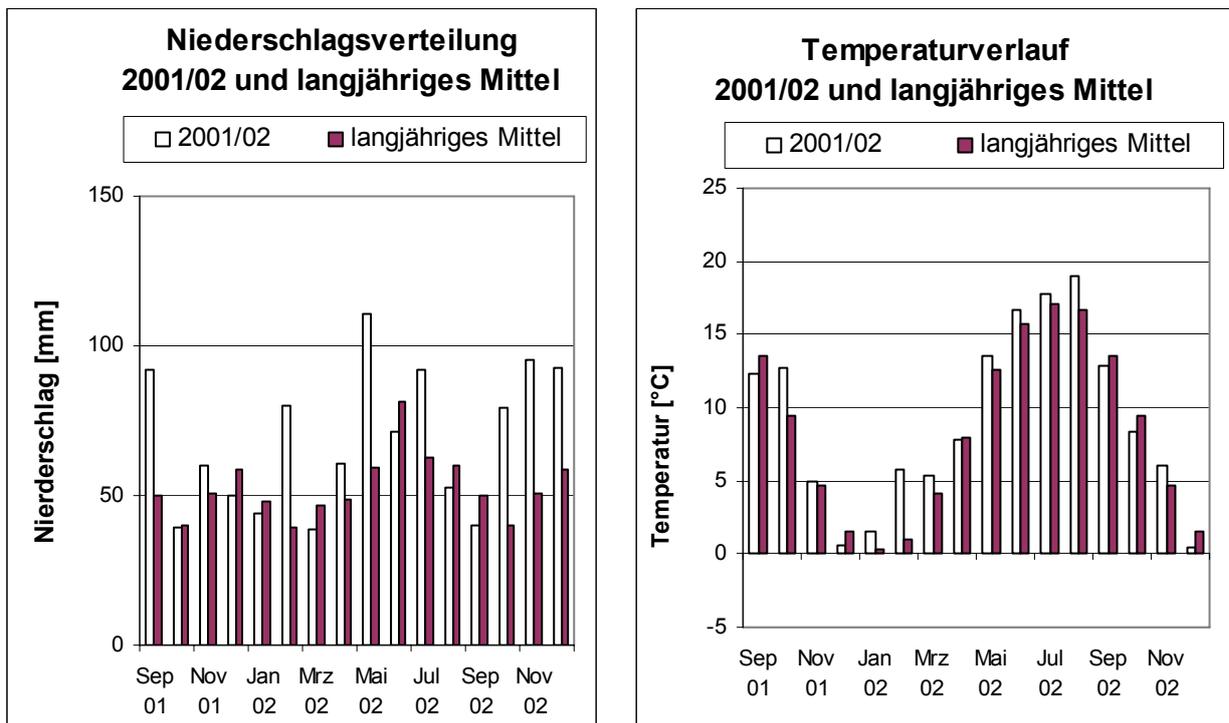


Abb. 1: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2001/02

3.1.3 Schlag „Hinter dem Hof“ 2002/03

Bodentyp: Kalksteinverwitterungsboden mit erheblichen Lößbeimischungen

Horizontabfolge:

Ap 0-30 cm
 Bt 30-60 cm
 C ab 60 cm

Ap-Horizont erhebliche Lössbeimischungen, stark entkalkt, Tongehalt ca. 30%

Bt-Horizont mittel durchwurzelt, entkalkt, kleine Manganflecken, stark porös
 C-Horizont Ausgangsgestein Kalk, in den oberen 20 cm stark verwittert

3.1.4 Klimaverlauf

Im Gegensatz zu dem sehr feuchten Versuchsjahr 2001/02 fielen im Versuchsjahr 2002/03 (Abb. 2) wesentlich geringere Niederschlagsmengen. Besonders in der Hauptwachstumszeit des Rapses lagen die monatlichen Niederschlagsmengen weit unter dem langjährigen Mittel. Im Vergleich zum langjährigem Durchschnitt fielen über das Jahr verteilt 181mm und damit über 1/4 geringere Niederschlagsmengen.

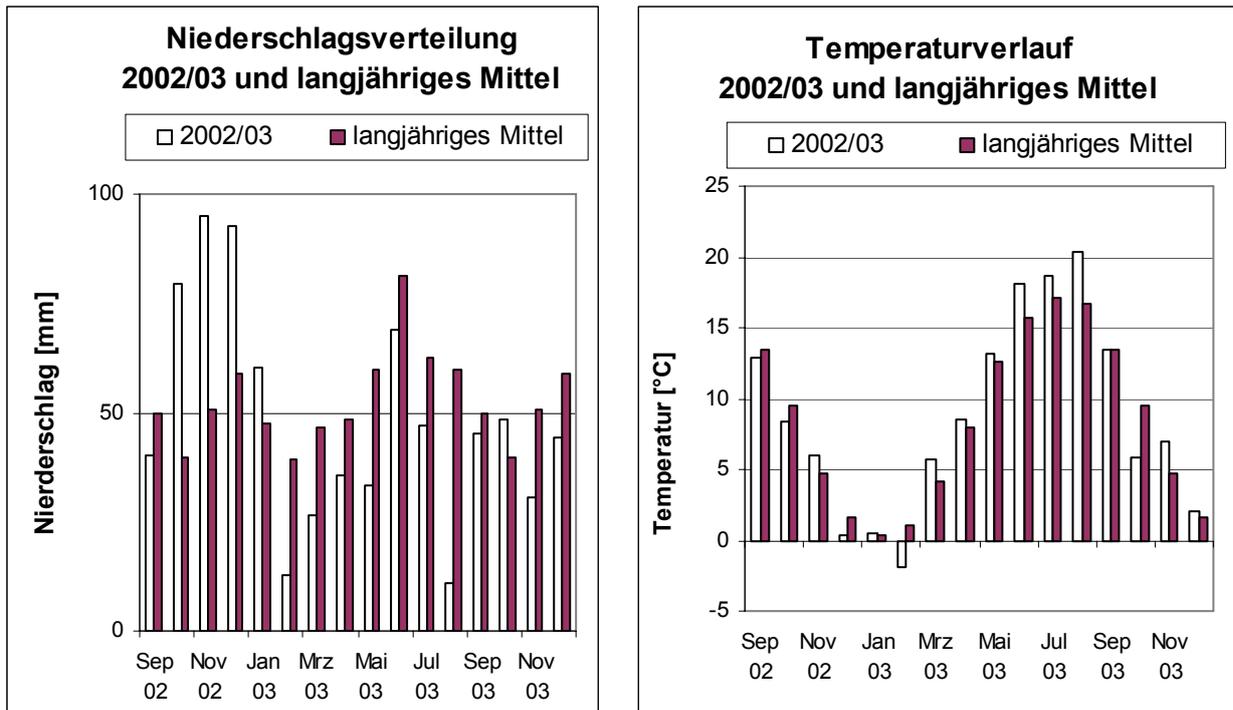


Abb. 2: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2002/03

Der Februar 2003 war mit durchschnittlich -3°C deutlich kälter als das langjährige Mittel, die Temperaturen von März bis August dagegen lagen durchgängig darüber. Der Oktober war ebenfalls deutlich kühler als die langjährig gemittelten Temperaturen.

3.1.5 Standort 2003/04: Schlag "Berg"

Bodentyp: Terra fusca-Rendzina (CF-RR) mit Lößbeimischung im Ap-Horizont

Horizontabfolge:

Ap 0-20
T+cCv 20-<40 cm

Ap-Horizont Polyedergefüge, Gefügeelemente mittelgroß (100-<200mm), stark verfestigt, mittel durchwurzelt, starker Regenwurmbesatz, mittlerer Steinbesatz (2-5%), entkalkt

Cv-Horizont schwach durchwurzelt (Wurzeln verlaufen häufig horizontal an Schichtgrenzen, oder entlang von Kluftrissen), redoxymorphe Merkmale, äußerst hoher Steinbesatz (40-50%), carbonathaltig

Das Versuchsjahr 2003/04 war besonders in der zweiten Jahreshälfte durch relativ hohe Niederschlagsmengen (s. Abb. 3) gekennzeichnet, die monatlich z.T. mehr als 20 mm über dem langjährigen Mittel lagen. Der Temperaturverlauf während der Versuchsperiode 2003/04 entsprach im wesentlichen den langjährigen Mittelwerten.

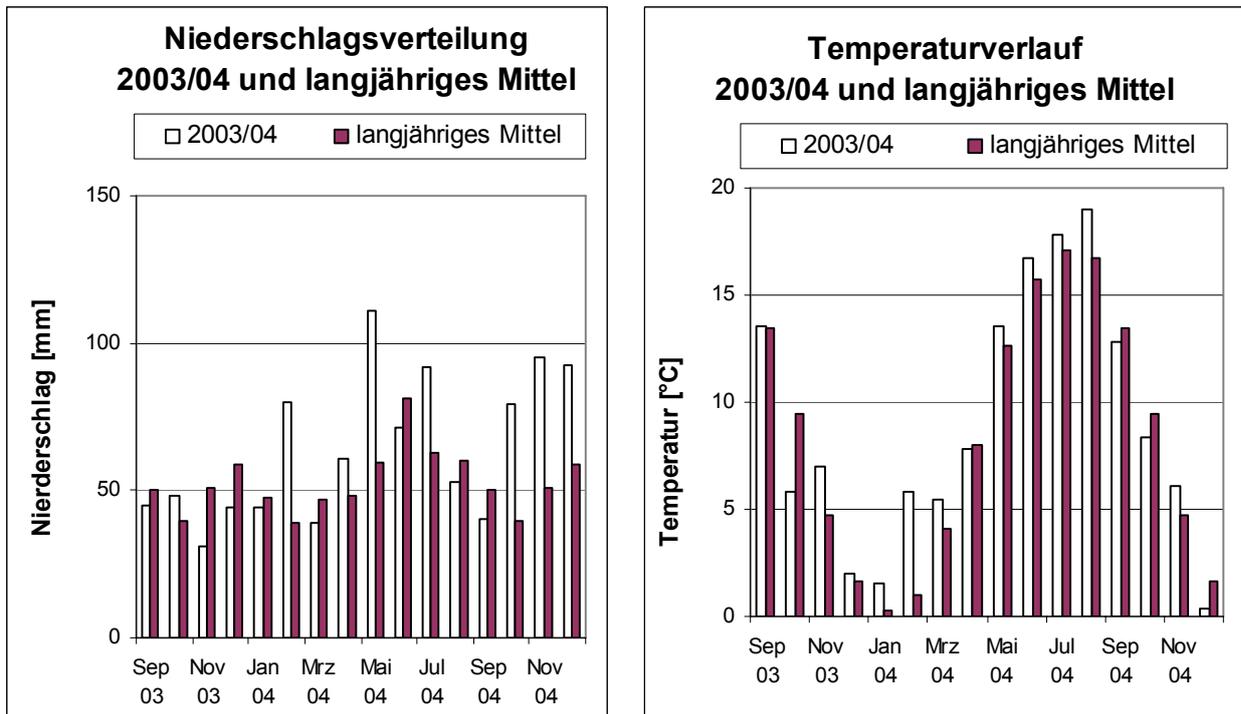


Abb. 3: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Lemshausen 2003/04

3.2 Versuchsstandort Hebenshausen

Das Versuchsfeld Hebenshausen (Meierbreite) gehört zu den Versuchsflächen der Universität Kassel/Witzenhausen und liegt ca. 10 km nördlich von Witzenhausen am südlichen Ortsrand von Hebenshausen. Die Höhenlage beträgt 250 m über NN. Bodenart ist eine tiefgründige Löss-Parabraunerde mit leichter Pseudovergleyung. Die Versorgung mit den Grundnährstoffen Phosphat, Kalium und Magnesium entspricht der Gehaltsklasse C. Die Bewertung des Standortes liegt bei 80 Bodenpunkten, der pH-Wert bei 6,4. Die Klimadaten wurden direkt auf der zur Versuchstation Hebenshausen gehörenden Wetterstation erhoben. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlages liegt bei 619 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur bei 7,8° C.

3.2.1 Schlag „Meierbreite“

Bodentyp: Pseudogley-Parabraunerde

Horizontabfolge:

Ap	0-29 cm
A _I	29-70 cm
S _w B _t	70-120 cm
B _v	> 120

Ap-Horizont	dunkelbraun, mittel toniger Schluff (Ut3), mittel humos, Krümelgefüge, sehr geringe Lagerungsdichte, stark durchwurzelt.
A _I -Horizont	gelblichbraun, geringer Anteil kleiner Eisenflecken, mittel toniger Schluff (Ut3), sehr schwach humos, Subpolyederggefüge, geringe Lagerungsdichte, mittel durchwurzelt
B _t	gelblichbraun, Eisen- und Manganflecken, mittel toniger Schluff, Kohärentgefüge

3.2.2 Klimaverlauf

Folgende Abbildungen beschreiben den klimatischen Verlauf der einzelnen Versuchsjahre am Standort Hebenshausen. Im Untersuchungszeitraum 2001/02 waren fast durchgängig wesentlich höhere Niederschlagsmengen zu verzeichnen als im langjährigen Durchschnitt. Eine Ausnahme stellten die besonders ertragsrelevanten Monate Juni, Juli und August dar (Abb. 4). Insgesamt betrachtet lag die Niederschlagsmenge im Jahr 2002 um 263 mm und damit knapp 1/3 höher als im langjährigen Durchschnitt.

Die gemessenen Temperaturen lagen in der zweiten Jahreshälfte deutlich unter dem langjährigen Mittelwerten. Eine Ausnahme stellt der November dar, in dem die gemessene Temperatur mit 1,5 °C leicht über dem langjährigen Mittel lag.

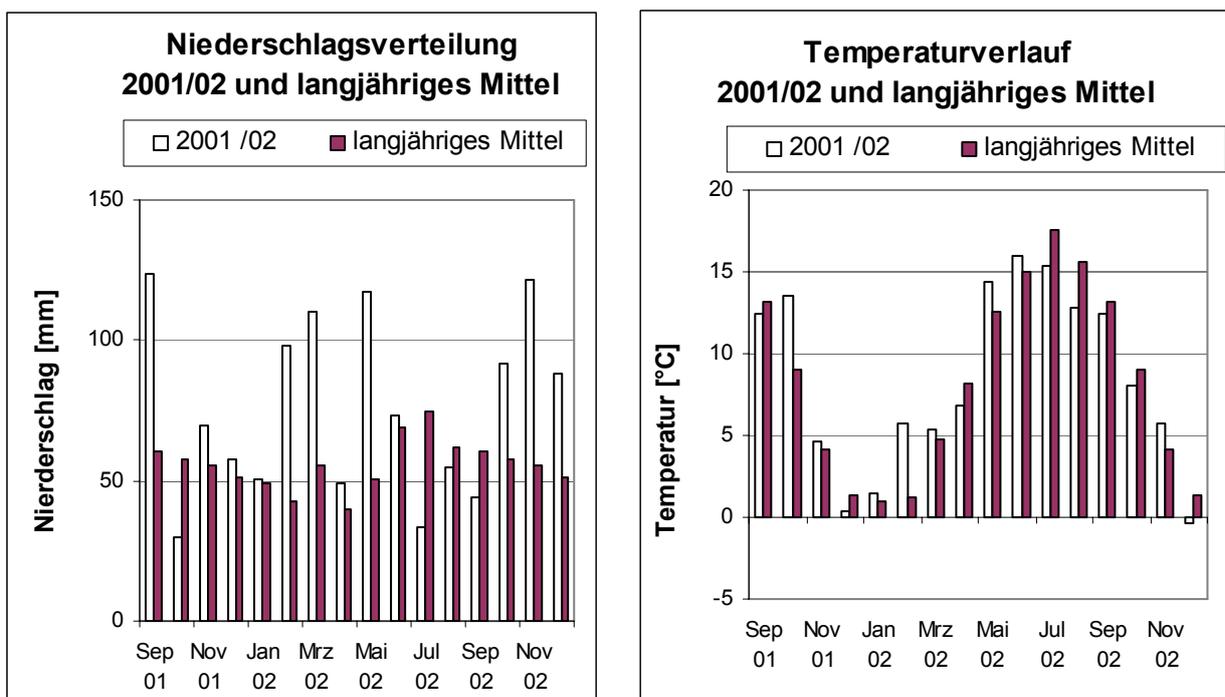


Abb. 4: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2001/02

In der Vegetationsperiode 2002/03 lagen die Niederschlagsmengen fast durchgängig unter dem langjährigen Mittel. Besonders deutlich zeigten sich diese Abweichungen im Zeitraum Februar bis April sowie Juli und August. Speziell in den Sommermonaten Juli und August fielen zusammen 110 mm weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel. Über das gesamte Jahr gerechnet waren die Niederschlagsmengen um 25% geringer als im langjährigen Durchschnitt. Die gemessene

Temperatur des Jahres 2003 lag in den ersten beiden Monaten deutlich unter dem durchschnittlichen Jahresmittel. Im Rest des Jahres hingegen entsprachen sie bis auf den Monate Juni und Oktober (Abb. 5) dem langjährigen Mittel, die Abweichung betrug im Jahresmittel $-0,2$ C. Die Niederschlagsmengen im Untersuchungszeitraum 2002/03 lagen im Herbst 2003 deutlich unter dem langjährig gemessenem Durchschnitt.

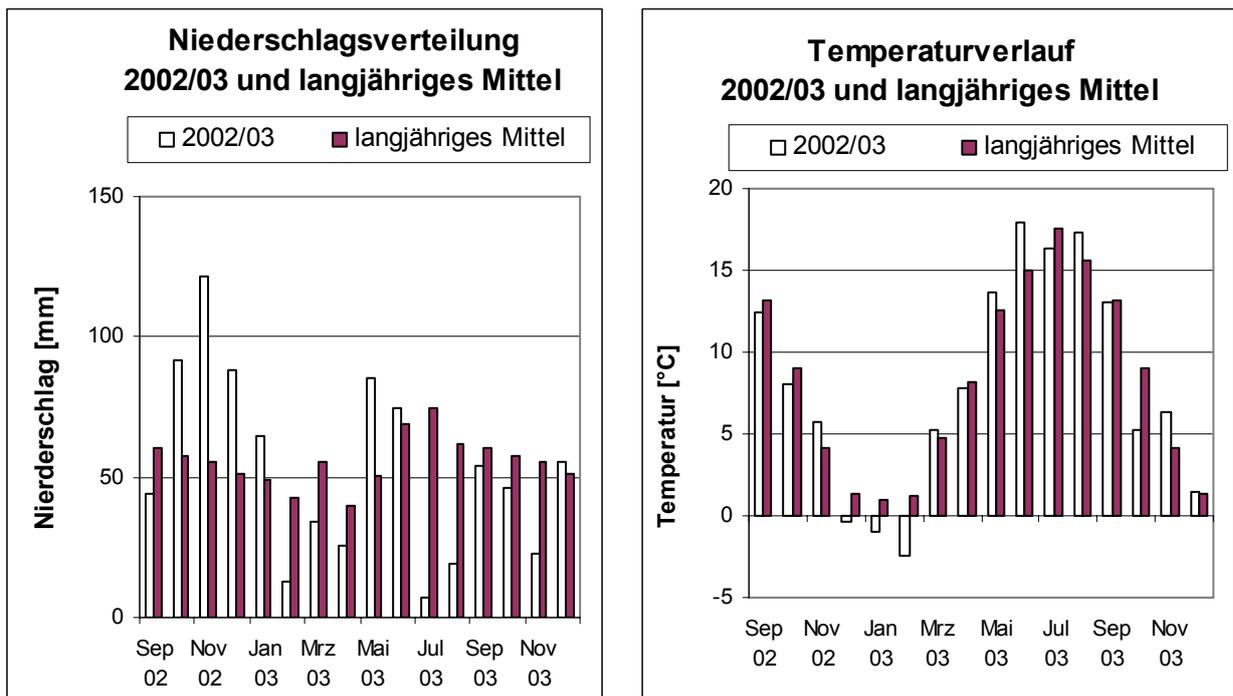


Abb. 5: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2002/03

In der ersten Jahreshälfte 2004 lagen die Niederschlagsmengen deutlich unter dem langjährig gemessenem Durchschnitt (s. Abb. 6). Der Temperaturverlauf in der Vegetationsperiode 2003/04 entsprach bis auf die Ausnahmen Oktober, November 2003 und Juli, August 2004 im Wesentlichen den langjährigen Mittelwerten.

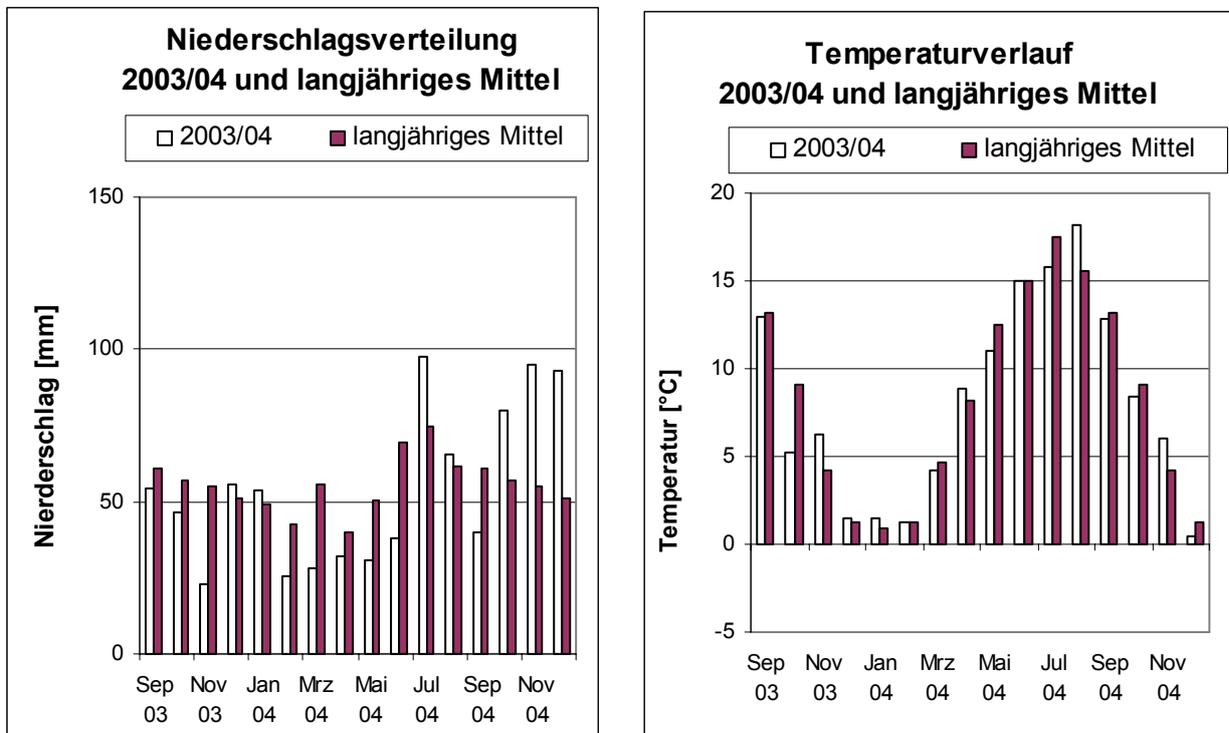


Abb. 6: Niederschlagsverteilung, Temperaturverlauf und Abweichung vom langjährigen Mittel, Hebenshausen 2003/04

3.3 Versuchsanlage

3.3.1 Lemshausen

Am Standort Lemshausen wurde als Versuchsdesign eine variierte Blockanlage gewählt. In den Blöcken „+PSM“ erfolgte eine konventionelle Bearbeitung, d.h. die praxisübliche Anwendung von Pestiziden und Wachstumsregulatoren. Im Block „- PSM“ wurde gänzlich darauf verzichtet. An beiden Versuchsstandorten wurde die Variante „Zweitkultur, gedüngt“ zusätzlich eingeführt. Für die Versuchsvariante „Zweitkultur, gedüngt“ erfolgte wie in Hebshausen eine Zweiteilung der Versuchspartellen. Abb. 7 zeigt die Anordnung der Versuchspartellen am Standort Lemshausen, die zusätzlich gedüngten Zweitkultur-Partellen sind farbig markiert. Die Codierung stellt die folgenden Varianten dar:

- 1: Rapsganzpflanzenernte ohne Zweitkultur, Ernte EC 85
- 2: Rapsganzpflanzenernte EC 85, anschließend Zweitkultur Sonnenblumen/Mais
- 3: Körnerrapsernte EC 92

Die einzelnen Partellen hatten eine Gesamtgröße von 68,15 m² (14,5 m x 4,7 m). Die Trennung zwischen den Blöcken betrug je 1,5 m.

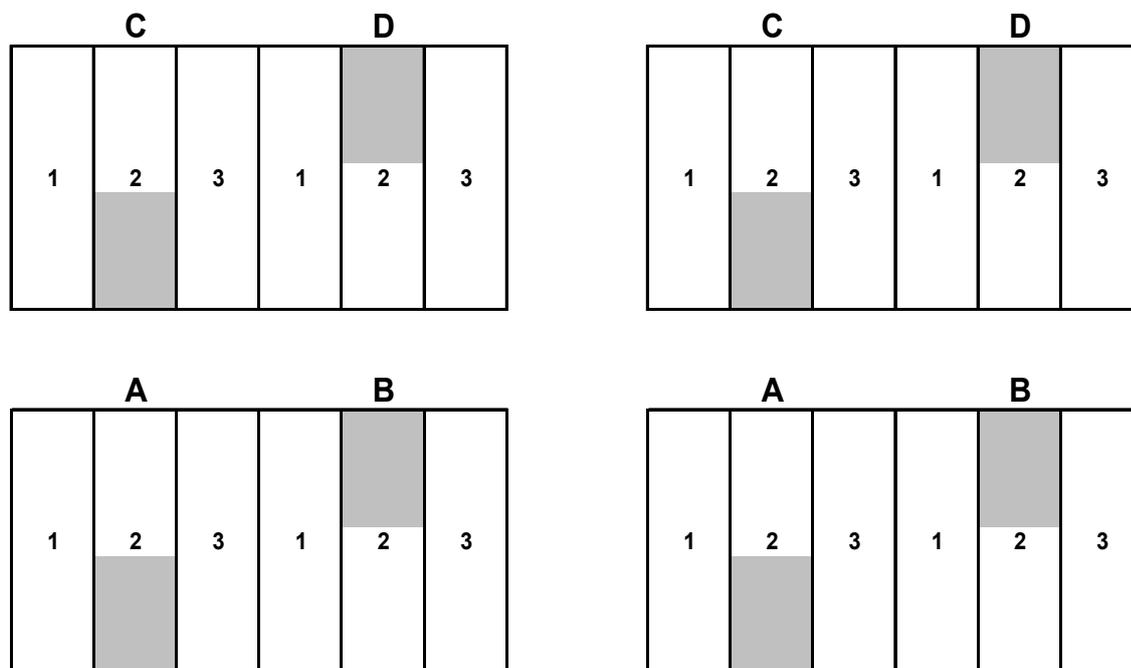


Abb. 7: Versuchsanlage Lemshausen 2001-2004

3.3.2 Hebenshausen

Der Versuch am Standort Hebenshausen wurde als vollständig variierte Blockanlage (s. Abb. 8) angelegt. Aufgrund der Bearbeitungsintensität der einzelnen Parzellen war eine vollkommene Randomisierung nicht möglich. Für die zusätzlich eingeführte Versuchsvariante „Zweitkultur, gedüngt“ (farbig markiert) erfolgte eine Zweiteilung der Versuchspartzellen. Die Raps Ganzpflanzenernte im EC 85 mit anschließender Zweitkultur erfolgte auf den Parzellen **A1; B1; C1; D1**, die Körnerrapsenernte im EC 92 auf **A2; B2; C2; D2**. Jede Parzelle hatte eine Gesamtgröße von 75m² (15m x 5m). Der horizontale Abstand zwischen den Blöcken betrug 1,5m, in vertikaler Ausrichtung 10,0m.

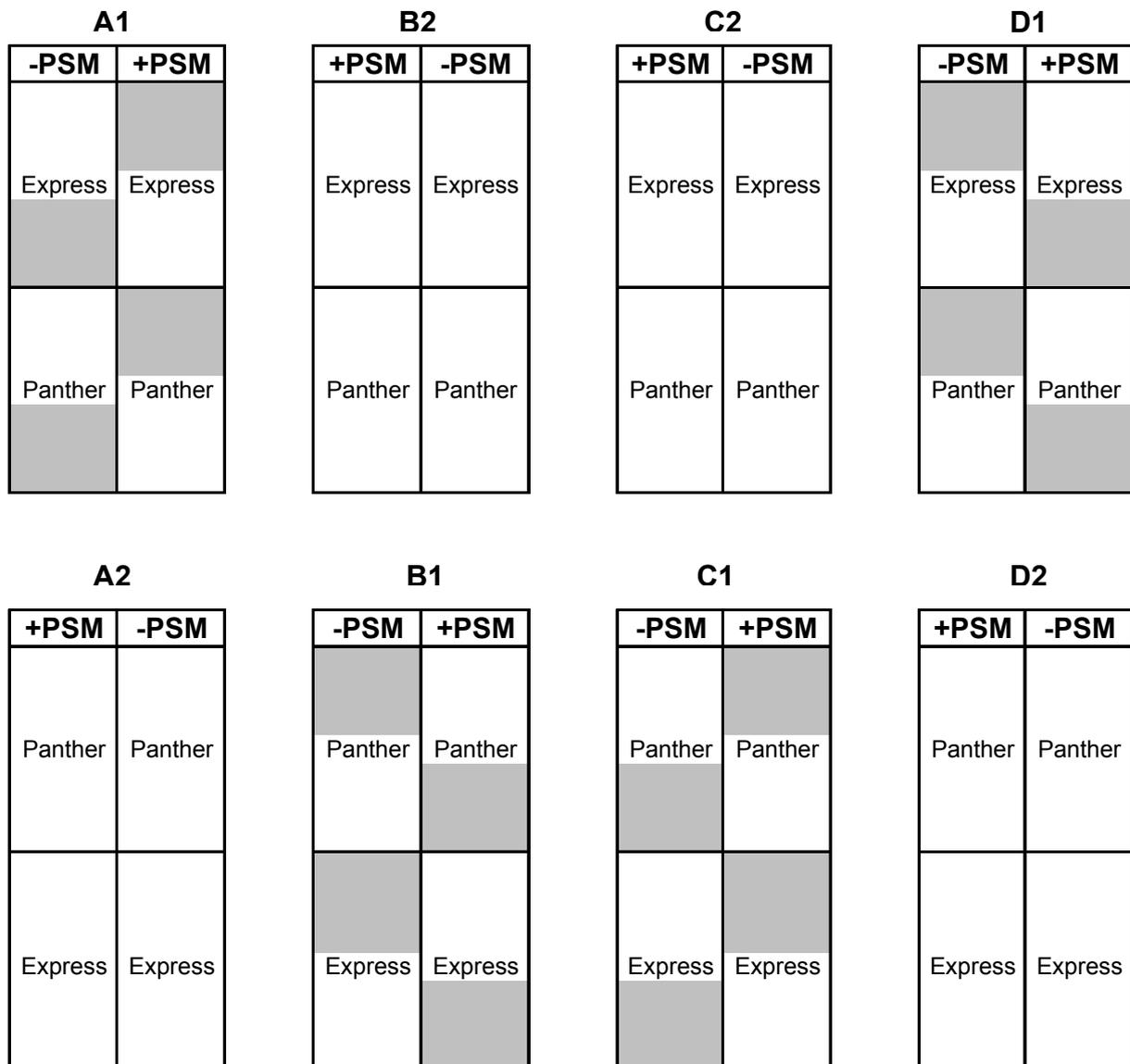


Abb. 8: Versuchsanlage Hebenshausen 2001-2004

4 Material und Methoden

4.1 Beschreibung der angebauten Sorten

Im Folgenden sind die wichtigsten Ertrageigenschaften der angebauten Sorten in der Erst- (Winterraps) und Zweitkultur (Mais, Sonnenblumen) aufgeführt.

- **Winterraps „Express“**
mittelfrühe Liniensorte, kurzwüchsig, stabile mittlere Erträge bei hohem Ölgehalt, gute Standfestigkeit, Resistenz gegen *Phoma lingam*
- **Winterraps „Panther“**
Hybride mit stabil hohen Erträgen, mittlerer Ölgehalt, spätsaatgeeignet, mittlere Resistenz gegen *Phoma lingam*, mittlere Standfestigkeit, Wachstumsregulator empfohlen
- **Winterraps „Arthus“**
Hybride mit guten Ertragsleistungen, hoher Ölgehalt, mittlere Krankheitsresistenz und Standfestigkeit, Wachstumsregulator empfohlen
- **Silomais „Diplomat“**
zügige Jugendentwicklung, überdurchschnittliche Standfestigkeit, geringe Lagerneigung, hoher Gesamttrockenmasseertrag, mittlere Verdaulichkeit und mittlerer Stärkegehalt, geringe Anfälligkeit für Stängelfäule, hoher Kornertrag
- **Sonnenblume „Helena“**
freiabblühend, mittlere Pflanzenlänge, mittlere Standfestigkeit, mittlere Neigung zum Blühen, hoher Trockenmasse- und Rohproteingehalt

4.2 Aussaat- und Erntetermine

Die Termine für Aussaat und Ernte der ersten und zweiten Kulturen sind in Tab. 1 für beide Versuchsstandorte getrennt dargestellt:

Tab. 1: Aussaat- und Erntetermine auf den Standorten Hebenshausen und Lemshausen 2001-2004

Hebenshausen						
	Aussaat Raps	Ernte Raps EC 80	Ernte Raps EC 85	Ernte Raps EC 92	Aussaat ZK	Ernte ZK
2001/02	22.08	--	05.07.	22.07.	06.07.	21.10.
2002/03	25.08	--	16.06.	15.07.	17.06.	01.11.
2003/04	24.08.	15.06.	22.06.	23.07.	30.06.	08.10.
Lemshausen						
	Aussaat Raps	Ernte Raps EC 80	Ernte Raps EC 85	Ernte Raps EC 92	Aussaat ZK	Ernte ZK
2001/02	23.08.	--	05.07.	22.07.	06.07.	15.10.
2002/03	15.08.	--	28.06.	17.07.	17.06.	30.09.
2003/04	25.08.	15.06.	30.06.	23.07.	28.06.	11.10.

4.3 Düngung

Die Düngung der Versuchflächen mit insgesamt 200kg N/ha erfolgte in zwei Gaben im Herbst nach der Aussaat des Rapses sowie im Frühjahr. Die Zusammensetzung der Düngergaben in den einzelnen Jahren sind in Tab. 2 aufgeführt:

Tab. 2: Düngung an den Versuchsstandorten Lemshausen und Hebenshausen

Lemshausen			
		Menge N/ha	Ausbringung
2001/02	Schweinegülle	50 kg	10.08.2001
	Phospor-Kali	30 kg	27.08.2001
	Harnstoff	50 kg	04.03.2002
	Schwefelsaures Ammoniak	70 kg	15.02.2002
2002/03	Piammonsulfat	90 kg	21.02.2003
	AHL (Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lsg.)	90kg	18.03.2003
	KAS (Kalkammonsalpeter)	20 kg	02.05.2003
2003/04	Schweinegülle	70 kg	12.08.2003
	Piammonsulfat	30 kg	19.02.2004
	Harnstoff	50 kg	18.03.2004
	40er Kali/Magnesium (für 4 Jahre)	50 kg	13.08.2004
Hebenshausen			
2001/02	Rindergülle	70 kg	26.08. 2001
	SSA (Schwefelsaures Ammoniak)	46 kg	06.03.2002
	KAS (Kalkammonsalpeter)	34 kg	21.03.2002
	KAS (Kalkammonsalpeter)	50 kg	21.03.2002
2002/03	SSA (Schwefelsaures Ammoniak)	53 kg	12.03.2002
	Triplesuperphosphat	67 kg	12.03.2002
	KAS (Kalkammonsalpeter)	81 kg	02.04.2002
2003/04	Rindergülle	78 kg	25.08. 2003
	SSA (Schwefelsaures Ammoniak)	56 kg	12.03.2004
	KAS (Kalkammonsalpeter)	66 kg	30.03.2004

4.4 Pflanzenschutz-Behandlungen in der konventionell bewirtschafteten Versuchsvariante (+PSM)

Die zeitliche und mengenmäßige Verteilung der Pflanzenschutzmaßnahmen, die in den Parzellen „+PSM“ durchgeführt wurden, sind in Tab. 3 für beide Standorte getrennt aufgeführt.

Tab. 3: Pflanzenschutz an den Versuchsstandorten Lemshausen und Hebenshausen

Lemshausen			
	Präparat	Menge/ha	Ausbringung
2001/02	Butisan Top (Herbizid)	2,0 l	28.08. 2001
	Schneckenkorn	7,0 kg	28.08. 2001
	Fusilade Max (Herbizid)	1,5 l	08.10. 2001
	Caramba (Fungizid)	0,7 l	28.03. 2002
	Moddus (Wachstumsregler)	0,3 l	28.03.2002
	Konker (Fungizid)	1,5 l	09.05.2002
2002/03	Karate Zeon (Insektizid)	0,2 l	10.04.2003
	Caramba (Fungizid)	0,7 l	18.04.2006
	Konker (Fungizid)	1,5 l	03.05.2006
2003/04	Schneckenkorn	6,5 kg	24.08.2003
	Caramba (Fungizid)	0,7 l	13.04.2004
	Karate Zeon (Insektizid)	0,2 l	18.03.2004
	Butisan Top (Herbizid)	2,0 l	30.08.2003
	Moddus (Wachstumsregler)	0,3 l	13.04.2004
	Cantus (Fungizid)	0,5 l	03.05.2004
Hebenshausen			
2001/02	Butisan Top (Herbizid)	2,0 l	27.08.2001
	Folicur (Fungizid, Wachstumsregler)	0,8 l	30.04.2002
2002/03	Butisan Top (Herbizid)	2,0 l	27.08.2002
	Decis (Insektizid)	0,3 l	23.10.2002
	Folicur (Fungizid, Wachstumsregler)	0,7 l	30.04.2003
2003/04	Butisan (Herbizid)	2,0 l	01.09.2003
	Caramba (Fungizid)	1,0 l	11.04.2004
	Karate Zeon (Insektizid)	0,1 l	11.04.2004
	Folicur (Fungizid, Wachstumsregler)	0,8 l	03.04.2004

4.5 Ertragserhebung

Zur Ertragsermittlung des Rapses wurden in den Stadien EC 85 und zur Totreife im EC 92 (2004 zusätzlich EC 80) im Kernbereich jeder Parzelle zwei Probenschnitte mit Hilfe eines Schneidrahmens durchgeführt. In jeder Parzelle wurde eine Fläche von 0,5 m² beerntet. Nach Bestimmung der Frischmasse wurde eine repräsentative Teilprobe mit Hilfe eines Versuchshäckslers (Typ Hege 44) homogenisiert und bei

105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, so dass der Trockenmasseertrag bestimmt werden konnte. Nach der Trocknung erfolgte per Hand eine Fraktionierung der Rapsespflanzen, um den Korn- und Strohanteil zu bestimmen. Die Ermittlung der Biomasseerträge der Zweitkultur erfolgte nach demselben Prinzip, wobei zur Bestimmung kulturpflanzenspezifischer Unterschiede Mais und Sonnenblumen getrennt beerntet wurden.

4.6 Bonituren

Die Entwicklungsstadien des Rapses wurden in regelmäßigen Abstand bonitiert. Verwendet wurde dazu der Bestimmungsschlüssel der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig (BBA 1982). Wurden bei der Bonitur zwei Stadien gleichzeitig festgestellt, wurde die Note des späteren Stadiums festgehalten.

4.7 N-Anreicherung durch Blattfall

Zur mengenmäßigen Bestimmung des Stickstoffanteils, der durch den Blattfall des Rapses in der Reifephase verloren geht, wurden im Versuchsjahr 2003/04 zwischen dem EC 35 und EC 37 (Prozess des Längenwachstums, Abstand zwischen Kotelydonen und dem Vegetationspegel beträgt 15 bis 20cm) witterungsbeständige Fliese in den Bestand in Hebenshausen (Sorte „Panther“) eingearbeitet. Diese wurden derart fixiert, dass die Rapsstängel eng umschlossen waren und das gesamte während des Reifeprozesses abfallende Pflanzenmaterial aufgefangen wurde. Das Fliesmaterial bedeckte an sechs Stellen eine Bodenfläche von jeweils ca. 4 m². Durch den engen Reihenschluss der reifenden Rapspflanzen konnte der Anfall von artfremden Material nahezu ausgeschlossen werden. Jeweils drei Fliese wurden zu den Reifestadien EC 85 und EC 92 abgesammelt. Um einen Randeffect auszuschließen, wurde lediglich das Pflanzenmaterial, welches sich im Zentrum des bedeckten Bereiches befand, aufgenommen. Das Material wurde bei 60° C getrocknet und auf seinen Stickstoffgehalt analysiert. Da diese Beprobung nur in einem Versuchsjahr auf einer relativ kleinen Fläche stattfand, wurden diese Ergebnisse nicht varianzanalytisch verrechnet.

4.8 Zweitkultur

Die Zweitkultur Mais/Sonnenblumen wurde an beiden Versuchstandorten in alternierenden Reihen mit 0,75 m Abstand und 0,13 m Abstand in der Reihe im Direktsaatverfahren ohne vorherige Bodenbearbeitung direkt in die Stoppeln des Rapses gesät. Die Aussaat erfolgte am Tag der Rapserte bzw. mit einem Tag Verzögerung. Im ersten Versuchsjahr (2001/02) bestand die Zweitkultur auf beiden Versuchstandorten ausschließlich aus Sonnenblumen.

4.9 N_{\min} -Untersuchungen

Proben zur Untersuchung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden (N_{\min}) wurden in allen Versuchsvarianten von Beginn der Vegetationsperiode bis in den Winter in monatlichen Abständen gezogen. Die Proben wurden mit Hilfe von Pürckhauer Bohrstöcken aus 0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe mit jeweils drei Einstichen je beprobter Parzelle entnommen. In Ausnahmefällen musste der Beprobungszyklus wegen starker Niederschläge und daraus resultierender mangelnder Begehrbarkeit der Versuchsflächen auf sechs Wochen ausgedehnt werden.

4.10 Stickstoffgehalt im Erntegut

Zur Untersuchung der Stickstoffbilanzen fand die Bestimmung des Stickstoffgehaltes im gesamten oberirdischen Aufwuchs statt:

- Rapskorn und –stroh im EC 85
- Rapskorn und –stroh im EC 92
- Mais-GPS
- Sonnenblumen-GPS.

Die Gesamtmenge an pflanzenverfügbarem Stickstoff (=Gesamtstickstoff) errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$\begin{aligned} & \text{mineralischer Stickstoff im Boden} \\ & + \underline{\text{Stickstoffgehalt im Aufwuchs}} \\ & = \text{Gesamtstickstoff} \end{aligned}$$

Zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes im Erntegut wurden zur Ernte jeweils vier repräsentative Pflanzen aus der zu untersuchenden Parzelle ausgewählt, im Versuchshäcksler homogenisiert, bei 60°C getrocknet und auf N-Gehalt (nach Kjeldahl) analysiert. Sämtliche Boden- und Pflanzenanalysen wurden im Bodentechnologischen Institut Bremen (BTI) durchgeführt.

4.11 Stickstoffbilanz

Zur Berechnung der N-Flächenbilanzen wurde pro Versuchsjahr und Standort eine Stickstoffbilanz in Form einer Einzelschlagbilanz erstellt. Der Saldo zeigt das Ergebnis aus Nährstoffzufuhr (über organische und mineralische N-Düngung) und Nährstoffabfuhr, also dem Stickstoff-Export über das Erntegut.

4.12 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms JMP aus dem Hause SAS ausgewertet. Stetige normalverteilte, varianzhomogene Daten wurden durch t-Test, einfaktorielle Varianzanalyse und Korrelation ausgewertet. Die Varianzhomogenität, Verteilgüte der Residuen der abhängigen Variablen und Linearität des Einflusses der unabhängigen Variablen wurden geprüft. Falls notwendig fand die Durchführung von Transformationen statt.

Alle Ergebnisse wurden als arithmetische Mittelwerte dargestellt. Die berechneten Unterschiede sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ ($p < 0,05$) signifikant. Die Auswertung der Messwertwiederholungen für die N_{\min} -Bestimmungen in 0-90 cm Bodentiefe wurde als ANOVA gerechnet. Die beschreibenden Faktoren für die Versuchsvarianten wurden als Bewirtschaftungsverfahren zusammengefasst, da eine sinnvolle multifaktorielle Auswertung unter Berücksichtigung der Wirkung der Einzel-faktoren nicht möglich war. Sämtliche Analyseergebnisse, die einen Gehalt an mineralischen Bodenstickstoff < 1 kg N/ha auswiesen, wurden gleich Null gesetzt.

4.13 Deckungsbeitragsberechnungen

Die Datensammlung des KTBL (2002/03) zusammen mit der „Betriebsplanung im ökologischen Landbau“ (REDLBERGER 2004) bildete die Grundlage für die Berechnung der Deckungsbeiträge beim herkömmlichen Anbau von Winterraps. Um den monetären Ertrag der Produktionsverfahren „konventioneller Winterrapsanbau“ und „Winterraps im Zweikultur-Nutzungssystem“ vergleichen zu können, wurden die Bereitstellungskosten (inklusive Lagerung und Transport) für die im Zweikultur-Nutzungssystem geerntete Biomasse als potentieller Erlös kalkuliert. Die Bereitstellungskosten der Zweikultur Mais/Sonnenblumen (Ganzpflanzensilage) orientieren sich an Berechnungen verschiedener Autoren (KARPENSTEIN ET AL 2004, BREITSCHUH ET AL 2004, FLAIG ET AL 1993) und wurden mit 70€ t/TM angesetzt. Dem Wert für die früh geerntete Raps Ganzpflanzensilage (EC 85) liegen eigene Berechnungen zugrunde, da für diese Art Erntegut keine Bewertung in der Literatur verfügbar war. Der errechnete Wert für die anteilige Strohfraktion liegt bei 65 €/t TM, für den Kornanteil aufgrund des fast doppelt so hohen Energiegehaltes (Kornfraktion ~ 36 MJ/Kg; Strohfraktion ~16,5-19,0 MJ/kg) bei 130 €/t TM. Für die Lohn- und Maschinenkosten, durchschnittliche Trocknungs- und Lagerverluste sowie Transportkosten wurde auf Standardsätze des KTBL zurückgegriffen. Ebenso ist das angewandte Berechnungsschema (s. Anhang) den Datensätzen des KTBL angelehnt. In sämtliche Berechnungen sind die Zahlungen von Flächenprämien eingeschlossen, da auf stillgelegten Flächen, für die ein Anspruch auf Prämienzahlung besteht, auch der Anbau von Energiepflanzen möglich ist. Die Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen sind im Anhang zu finden.

4.14 Potentielle Marktleistung bei Verstromung

In dieser Schrift wurde keine Vollkostenrechnung für eine Biogasanlage erstellt, weshalb es strenggenommen ebenfalls nicht möglich ist, den realen Erlös aus der energetischen Nutzung der Biomasse zu berechnen. Um dennoch eine Orientierung über den potentiellen monetären Stromerlös zu geben und diesen der Marktleistung von Rapskorn gegenüberstellen zu können, wurde die Marktleistung bei potentieller Einspeisung der geernteten Biomasse in eine Biogasanlage beim konventionellen Anbau von Winterraps und im Zweikultur-Nutzungssystem berechnet. Dabei wurden die für die jeweiligen Erntejahre aktuellen Vergütungssätze nach dem Erneuerbare-

Energien-Gesetz (EEG) zugrunde gelegt. Der Bruttoertrag in dt/ha bezieht sich beim System „Winterraps konventionell“ auf das Korn mit einer Restfeuchte von 12%, im Zweikultur-Nutzungssystem auf die trockene Biomasse (dt TM/ha).

5 Ergebnisse

5.1 Biomasseerträge Lemshausen

Im Folgenden sind die Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem sowie beim konventionellen Rapsanbau für die Standorte Lemshausen (Winterrapssorte „Arthus“) und Hebenshausen (Winterrapssorten „Express“ und Panther“) über drei Jahre dargestellt. Zum Zeitpunkt der Ernte im EC 85 setzt sich der Gesamt-Biomasseertrag aus der Raps Ganzpflanze sowie der Zweitkultur zusammen. Die Rapsernte zum Zeitpunkt der Totreife im EC 92 bestand nur aus dem Rapskorn, die Stroherträge wurden zu Vergleichszwecken erhoben. Weiterhin werden Ertragsdifferenzen aufgezeigt, die aus der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (+PSM) und der Düngung der Zweitkultur resultieren.

5.1.1 Lemshausen 2001/02

Abb. 9 zeigt eine Übersicht der Gesamt-Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem und bei konventioneller Körnerrapsernte. Weiterhin wurde nach dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unterschieden. Im Untersuchungszeitraum 2001/02 bestand die Zweitkultur ausschließlich aus Sonnenblumen ohne zusätzliche N-Düngung. Auf die Darstellung der Variante „Winterraps-Ganzpflanzenernte ohne Zweitkultur“ wurde verzichtet, da sich die Erträge der Raps-Ganzpflanzen in der Variante mit und ohne Zweitkultur nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Die maximalen Gesamtbiomasseerträge wurden im Zweikultur-Nutzungssystem erzielt. Sie betragen in der Systemvariante „ohne PSM“ 12,35 t TM/ha, mit Anwendung von PSM insgesamt 12,75 t TM/ha. Beim Körnerrapsanbau wurde ein Gesamtbiomasseertrag aus Stroh und Korn von 11,09 t TM/ha (ohne PSM) bzw. 11,83 t TM/ha (mit PSM) erwirtschaftet. Die diesbezügliche Differenz im Kornertrag belief sich auf 0,4 t TM/ha.

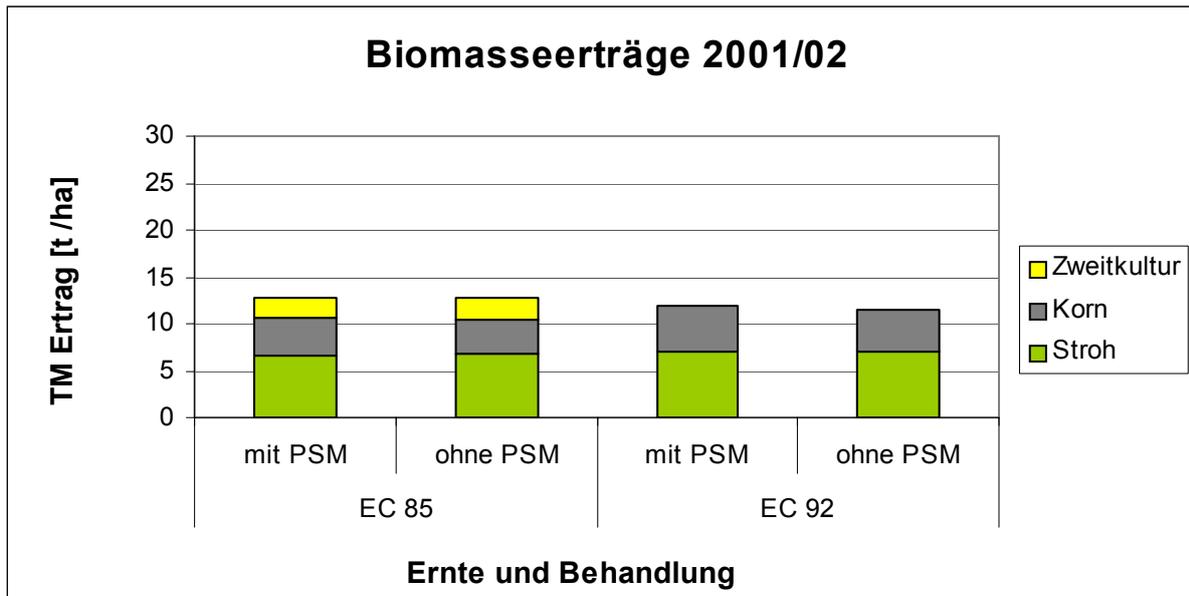


Abb. 9: Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2001/02

Eine differenzierte Betrachtung der Biomasseerträge in Abhängigkeit von der PSM-Behandlung erfolgt in Abb. 10. Generell lagen die Rapsstroh- und Kornenerträge im EC 85 geringfügig unter den Erträgen, die im EC 92 erzielt wurden. Die gemessenen Abweichungen waren jedoch nicht signifikant. Eine Wechselwirkung der Faktoren Ernte und Pflanzenschutz in Bezug auf den Trockenmasseertrag bestand im Vegetationsjahr 2001/02 nicht.

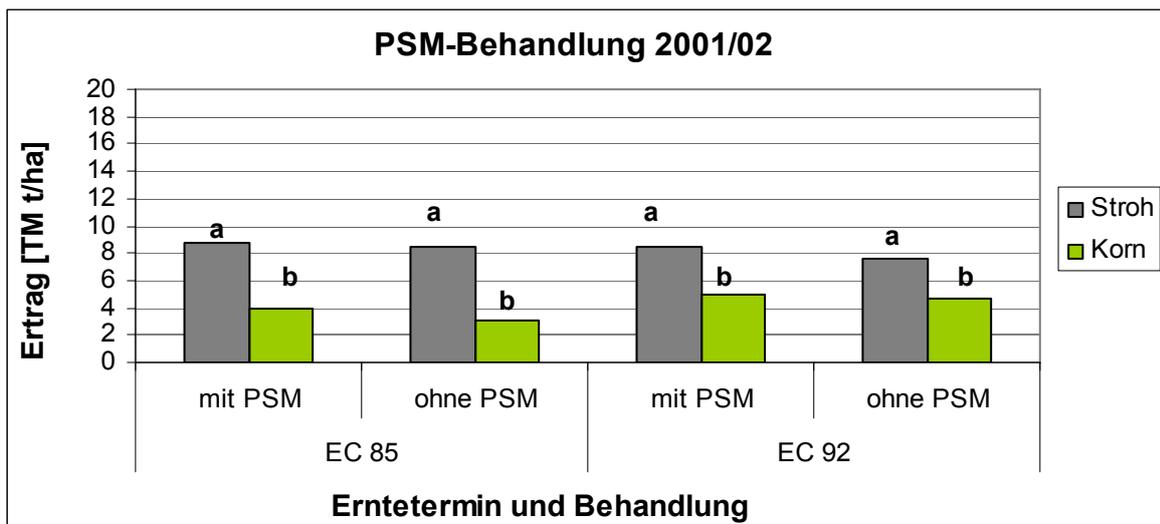


Abb. 10: Rapskorn und –strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2001/02. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

5.1.2 Lemshausen 2002/03

Abb. 11 zeigt die Gesamt-Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem und bei konventionellem Rapsanbau mit und ohne Pflanzenschutzmittelbehandlung in einer Übersicht. Im Untersuchungszeitraum 2002/03 bestand die Zweikultur aus Mais und Sonnenblumen. Die kumulierten, durchschnittlichen Trockenmasseerträge (mit/ohne Düngung) sind in nachstehender Grafik als „Zweikultur“ zusammengefasst. Die höchsten Gesamtbiomasseerträge wurden mit 20,7 t TM/ha (mit PSM) bzw. 19,3 t TM/ha (ohne PSM) im Zweikultur-Nutzungssystem erreicht. Die Erträge aus Stroh und Korn zur Totreife des Rapses lagen bei 13,4 t TM/ha bzw. 12,3 t TM/ha (ohne PSM), wobei die maximale Ertragsdifferenz in der Strohfraktion lag. Durch die Ernte der Raps Ganzpflanzen zuzüglich der zweiten Kultur wurden TM-Erträge erzielt, die im Mittel (mit/ohne PSM) fünfmal höher lagen als bei der alleinigen Ernte des Rapskorns.

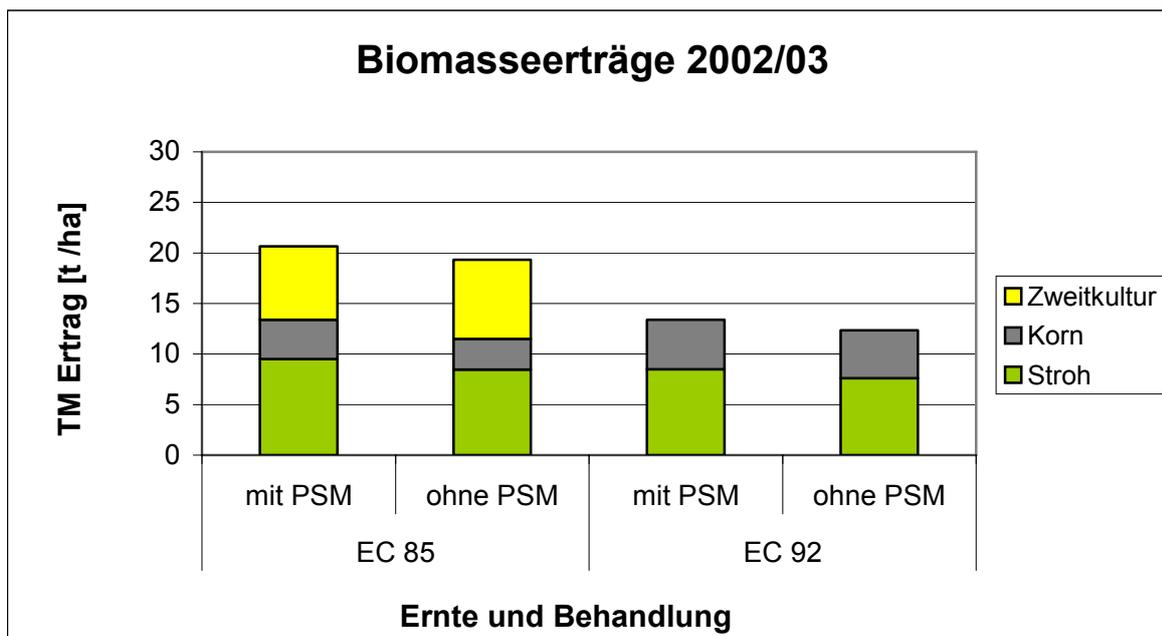


Abb. 11: Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2002/03

Abb. 12 zeigt die Erträge aus Rapskorn- und Stroh zu den zwei Ernteterminen und den diesbezügliche Einfluss der PSM-Anwendung im Einzelnen. Beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln waren die Gesamterträge aus Korn und Stroh zu den zwei Erntezeitpunkten EC 85 und EC 92 annähernd gleich. Mit fortschreitender Vegetationsdauer konnte ein sinkender Stroh- und ansteigender Kornanteil beobachtet werden. Eine ähnliche Verschiebung der Korn- und Strohverhältnisse war in der Systemvariante „ohne PSM“ zu verzeichnen, jedoch war hier ein tendenziell höherer Gesamtbiomasseertrag des Rapses im EC 92 zu verzeichnen. Zum Zeitpunkt der Totreife wurden im Mittel 25% höhere Kornerträge erzielt als im Entwicklungsstadium EC 85. Eine absicherbare Differenz durch den PSM-Einsatz wurde nicht festgestellt.

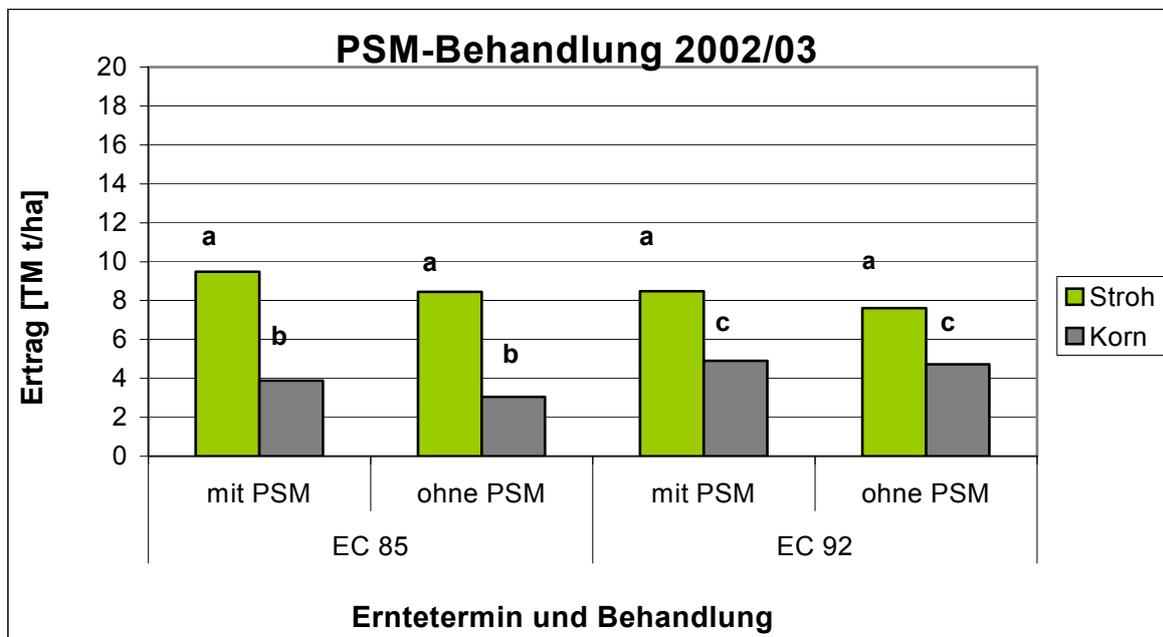


Abb. 12: Rapskorn und -strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Bei getrennter Betrachtung der Korn- und Stroherträge des Rapses konnte lediglich zum Zeitpunkt der Totreife ein signifikanter Ertragsunterschied in der Kornfraktion festgestellt werden. Die spät geernteten Parzellen lieferten im Mittel (mit/ohne PSM) einen um 25% höheren Kornertrag. Ein Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Strohertrag lag nicht vor.

In Abb. 13 ist die Verteilung der Ganzpflanzenerträge in der Zweitkultur Mais und Sonnenblumen dargestellt. Verglichen wurden die unterschiedlichen Erträge bei zusätzlicher Düngung der Zweitkultur mit 40 kg Stickstoff in Form von Kalkammonsalpeter. Ein tendenziell höherer Gesamtbiomasseertrag aus Mais und Sonnenblumen wurde mit 3,9 t TM/ha in der Düngungsvariante gemessen (ohne Düngung 3,8 t TM/ha). Ein signifikanter Einfluss der Düngung konnte jedoch bei keiner der beiden Kulturen festgestellt werden. Die Sonnenblumen-Ganzpflanzen erbrachten mit durchschnittlich 4,70 t TM/ha einen um 60% höheren Ertrag als die Mais-Ganzpflanzen mit 2,85 t TM/ha.

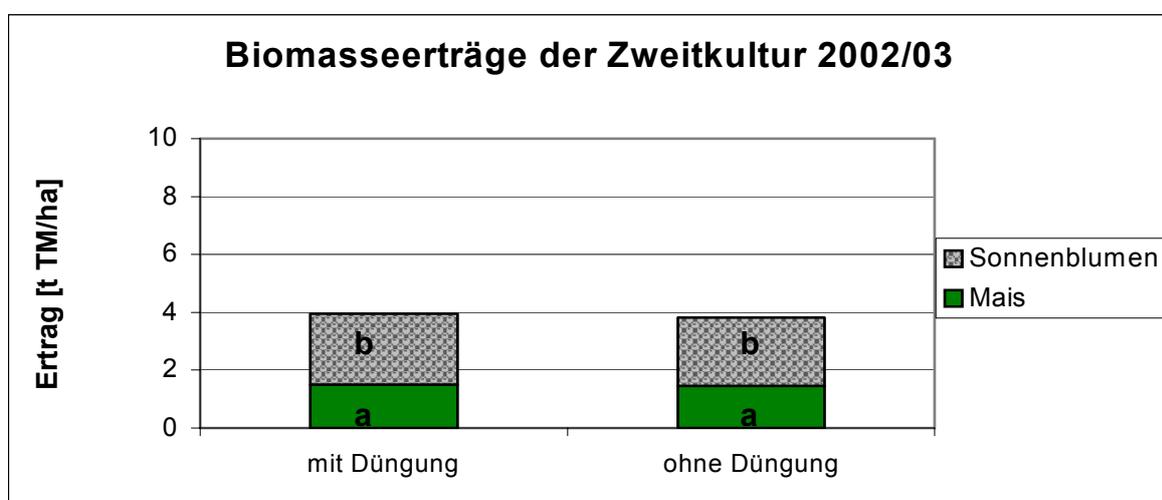


Abb. 13: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Lemshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Eine Auswirkung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Raps auf den Ertrag der Zweitkultur konnte nicht festgestellt werden. Eine Wechselwirkung der Faktoren „Pflanzenschutz“ und „Düngung“ wurde ebenfalls nicht nachgewiesen.

5.1.3 Lemshausen 2003/04

Im Versuchsjahr 2003/04 fand eine zusätzliche Raps-Ganzpflanzenernte im Vegetationsstadium EC 80 statt. Abb. 14 stellt in einer Übersicht die durchschnittlichen Gesamtbiomasseerträge dar. Als „Zweitkultur“ wurden die gemittelten (gedüngt/ungedüngt) Erträge von Sonnenblumen und Mais bezeichnet. Zum Zeitpunkt des Entwicklungsstadiums EC 80 wurden im Vergleich zum EC 85 mit 4,6 t TM/ha (mit PSM) bzw. 3,32 t TM/ha (ohne PSM) signifikant höhere Rapsstroherträge als zu den späteren Erntezeitpunkten erzielt. Die frühe Rapsernte im EC 80 war im Vergleich zum EC 85 und 92 jedoch auch mit signifikant niedrigeren Kornenerträgen verbunden, die im Mittel 60% unter den Ertragsleistungen lagen, die zu den späteren Zeitpunkten realisiert wurden. Die höchsten Biomasseerträge konnten mit insgesamt 25,0 t TM/ha (mit PSM) bzw. 23,5 t TM/ha (ohne PSM) im Zweikultur-Nutzungs-system erwirtschaftet werden. Im Gegensatz zur Körnerrapsernte im EC 92 lagen die Gesamtbiomasseerträge hier um den Faktor 6 höher.

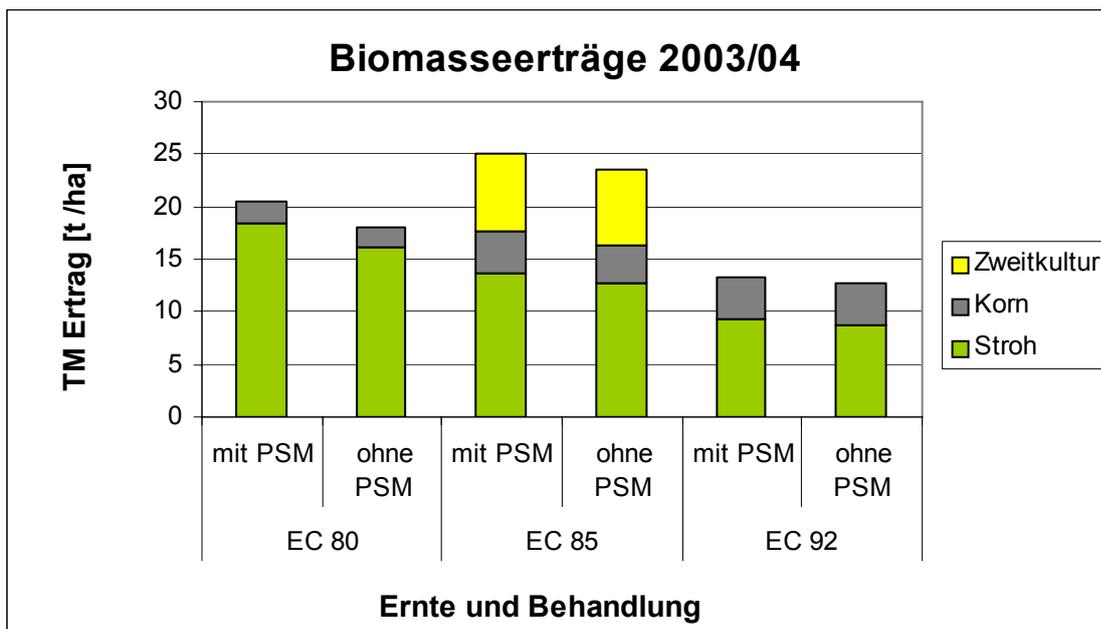


Abb. 14: Biomasseerträge bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Lemshausen 2003/04

Abb. 15 spiegelt die Erträge von Rapsstroh und -korn zu den drei Ernteterminen wieder. Die höchsten Biomasseerträge sind zum ersten Erntetermin im EC 80 erzielt worden. Bei fortschreitender Vegetationsdauer sind kontinuierlich sinkende Gesamtbiomasseerträge bei sinkenden Stroh- und ansteigenden Kornmengen zu verzeichnen. Zu allen Ernteterminen liegen die Erträge von Rapsstroh und -korn in den Parzellen „mit PSM“ tendenziell höher als in der unbehandelten Variante. Der höchste Gesamt-Biomasseertrag wurde mit durchschnittlich 19,2 t TM/ha (mit/ohne PSM) im Entwicklungsstadium EC 80 geerntet. Zum zweiten Erntetermin im EC 85 lag der durchschnittliche Ertrag aus Stroh und Korn bei 17,0 t TM/ha, bei der Ernte im EC 92 im Mittel bei 13,2 t TM/ha. Die getrennte Betrachtung der Korn- und Strohfraktionen zeigt, dass im EC 80 signifikant niedrigere Kornerträge vorlagen als zu den beiden späteren Erntezeitpunkten. Der Strohertrag nahm mit fortschreitender Vegetationszeit ab und unterschied sich zu allen Erntezeitpunkten signifikant. Der maximale Einfluss der Pflanzenschutzmittel auf den Gesamtertrag war zum ersten Erntetermin im EC 80 zu registrieren. Durch den PSM-Einsatz wurde ein um 13,4% höherer Gesamt-Biomasseertrag erwirtschaftet. Im EC 85 sank die Ertragsdifferenz zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen auf 8,4%, im EC 92 auf 4,6% ab. Eine Wechselwirkung zwischen den Faktoren „Erntezeitpunkt“ und „Einsatz von Pflanzenschutzmitteln“ konnte nicht nachgewiesen werden.

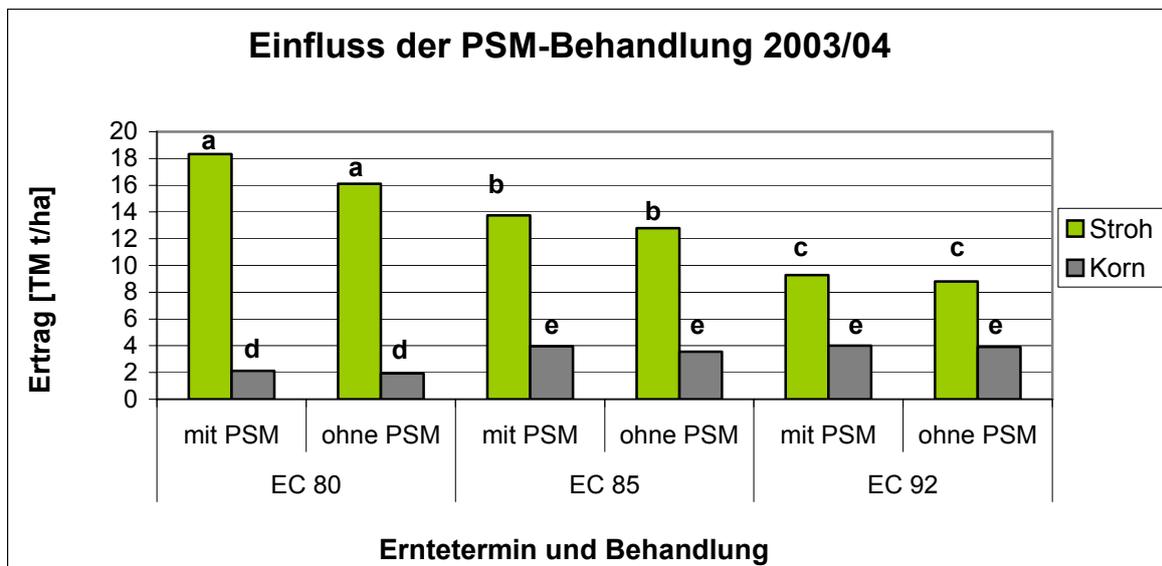


Abb. 15: Rapskorn und –strohertrag mit und ohne Pflanzenschutz, Lemshausen 2003/04. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Abb. 16 zeigt die Ganzpflanzenerträge der Zweitkultur Mais und Sonnenblumen und den Einfluss der Stickstoffdüngung. Ein tendenziell höherer Gesamtbiomasseertrag aus Mais und Sonnenblumen wurde mit 7,7 t TM/ha in der Düngungsvariante geerntet (ohne Düngung 6,9 t TM/ha). Beim Mais bewirkte die Stickstoffgabe im Gegensatz zur ungedüngten Variante einen signifikanten Mehrertrag von 17%. Die Sonnenblumen reagierten weniger stark auf die Düngung und erbrachten einen Mehrertrag von rund 8%. Im Mittel lieferten die Sonnenblumen-Ganzpflanzen rund 50% mehr Biomasse als der Mais. Der Pflanzenschutzmitteleinsatz im Raps zeigte weder eine Wirkung auf das Wachstum des Maises noch der Sonnenblumen. Ebenfalls konnte keine Wechselwirkung der Faktoren „Pflanzenschutz“ und „Düngung“ nachgewiesen werden.

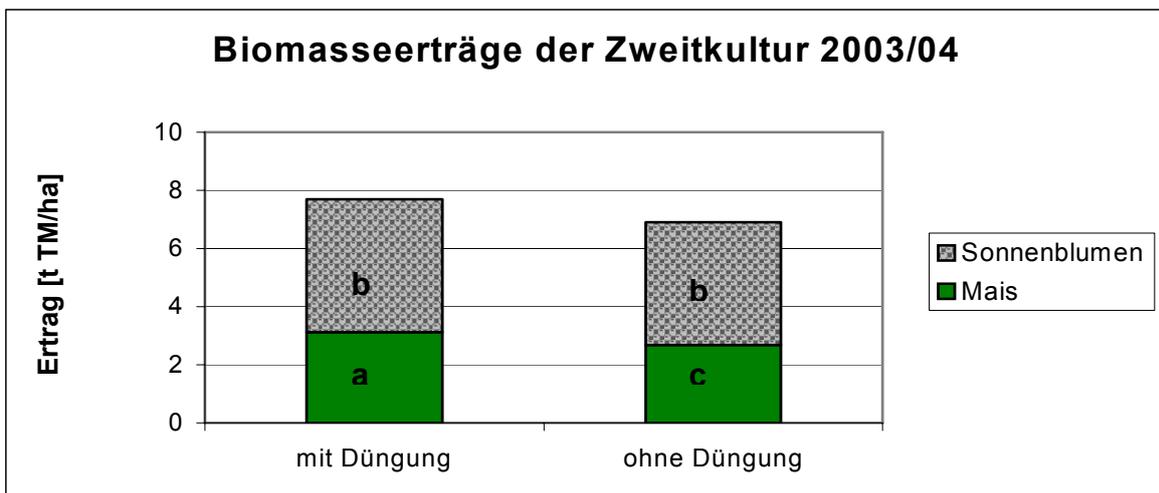


Abb. 16: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Lemshausen 2003/04. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

5.1.4 Biomasseerträge Hebenshausen

Im Folgenden sind die Biomasseerträge der Winterrapssorten „Panther“ und „Express“ für den Standort Hebenshausen analog zur Sorte „Arthus“ am Standort Lemshausen dargestellt. Wegen begrenzter Kapazitäten wurden die Biomasseerträge der Zweitkultur nur im Anbau nach der Hybridsorte „Panther“ erhoben, da zu Zwecken der Biomassenutzung die Hybrid- den Liniensorten vorzuziehen sind.

5.1.4.1 Hebenshausen 2001/02

In Abb. 17 sind die Gesamtbiomasseerträge dargestellt, die beim Anbau der Winterrapssorte „Panther“ und der Zweitkultur geerntet wurden. Im Versuchsjahr 2001/02 bestand die Zweitkultur ausschließlich aus Sonnenblumen. Eine Düngung der Sonnenblumen erfolgte nicht. Die Rapsenerträge der Versuchspartellen „Winter-rapsenernte im EC 85 ohne Zweitkultur“ unterscheiden sich nicht von den Erträgen der Variante „Winter-rapsenernte im EC 85 mit Zweitkultur“, weshalb auf die Darstellung verzichtet wurde. Die höchsten Biomasseerträge insgesamt wurden mit 9,9 t TM/ha bzw. 9,3 t TM/ha (ohne PSM) im Zweikultur-Nutzungssystem durch den zusätzlichen Ertrag der Sonnenblumen erzielt. Bei der Ernte im EC 92 lagen die Gesamtbiomasseerträge aus Korn und Stroh bei 8,46 t TM/ha bzw. 8,13 t TM/ha (ohne PSM).

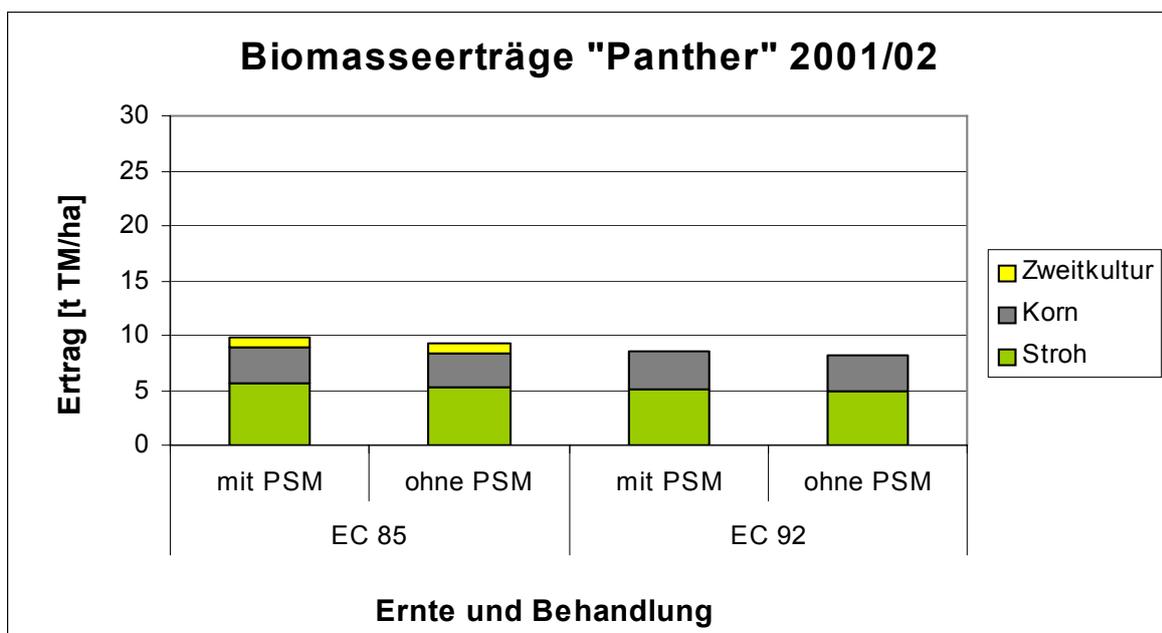


Abb. 17: Biomasseerträge von Winterrapssorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2001/02

Abb. 18 zeigt den Einfluss der PSM-Anwendung auf die Korn- und Stroherträge der Winterrapsorte „Panther“. Zum Erntezeitpunkt EC 85 lagen die Gesamtbiomasseerträge in den Parzellen mit „PSM“ 5% höher als in den unbehandelten, bei der Ernte zur Totreife belief sich die Differenz auf 4%. Die Kornerträge lagen unabhängig von Erntezeitpunkt und Pflanzenschutz bei durchschnittlich 3,3 t TM/ha. auf einem Niveau. Mit fortschreitender Vegetationszeit konnte ein tendenzielles Absinken der Stroherträge beobachtet werden. Der signifikant niedrigste Strohertrag wurde in der Versuchsvariante EC 92 „ohne PSM“ gemessen.

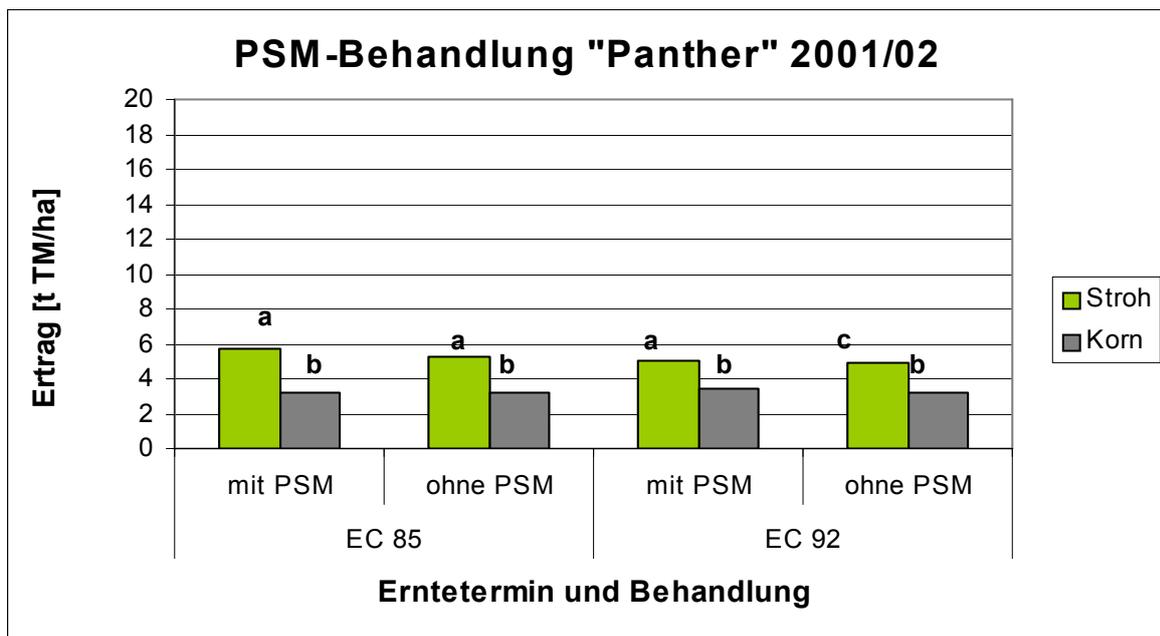


Abb. 18: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2001/02. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Die Kornerträge der Sorte „Express“ lagen zum Zeitpunkt der Totreife tendenziell höher als beim frühen Erntetermin zum EC 85 (Abb. 19). Die größte Strohmenge wurde mit 5,24 t TM/ha (mit PSM) im EC 85 geerntet, die geringste im EC 92 ohne Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Die tendenziell höchsten Biomasseerträge aus Stroh und Korn wurden in den Varianten „mit PSM“ geerntet und lagen bei beiden Ernteterminen im Mittel bei 8,0 t TM/ha. Bei Verzicht auf PSM war der Gesamtbiomasseertrag um 4% geringerer. Mit insgesamt 7,62 t TM/ha wurde der geringste Gesamtertrag im EC 85 bei Verzicht auf PSM gemessen. Prozentual ausgedrückt beläuft sich die Differenz zwischen Minimal- und Maximalertrag auf 5%.

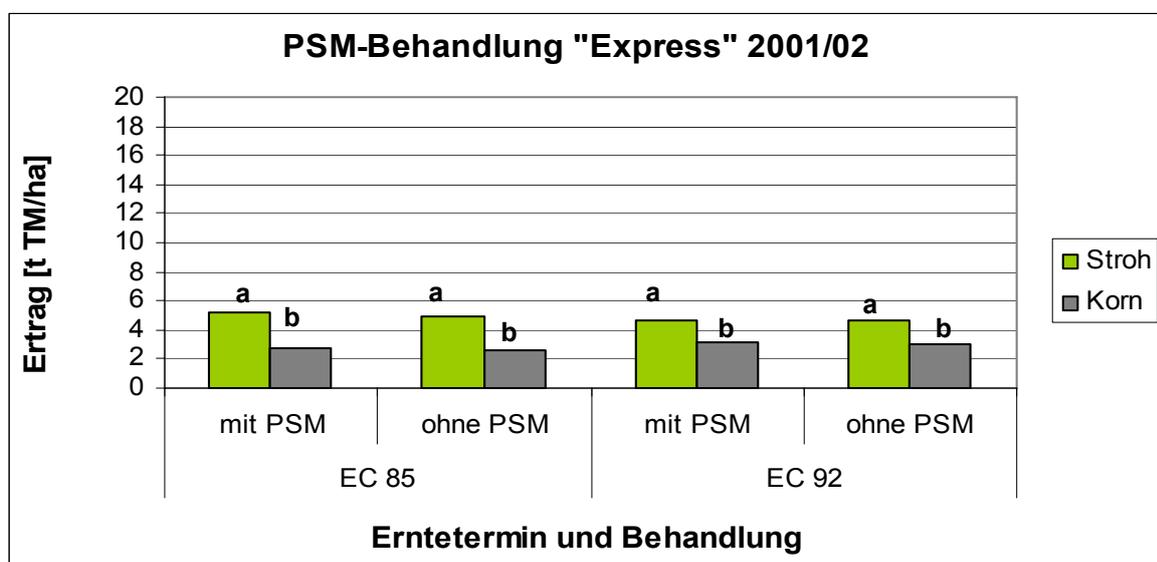


Abb. 19: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Express“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2001/02. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Im Vegetationsjahr 2001/02 war die Sorte „Panther“ der Sorte „Express“ in Korn- und Strohertrag überlegen. Ein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den Sorten konnte jedoch nicht konstatiert werden, ebenso keine Wechselwirkung zwischen Erntezeitpunkt und Sorte.

5.1.4.2 Hebenshausen 2002/03

Die höchsten Gesamtbiomasseerträge im Vergleich der Systeme wurden bei der frühen Rapsernte im EC 85 mit 15,8 t TM/ha bzw. 15,3 t TM/ha (ohne PSM) erzielt (Abb. 20). Die geringsten Erträge wurden mit 8,8 t TM/ha bei der Rapsernte zur Totreife in der pestizidfreien Variante gemessen. Die Gesamterträge im Zweikultur-Nutzungssystem einschließlich Stroh lagen im Mittel (mit/ohne PSM) um 62% höher als bei der Ernte des Körnerrapses.

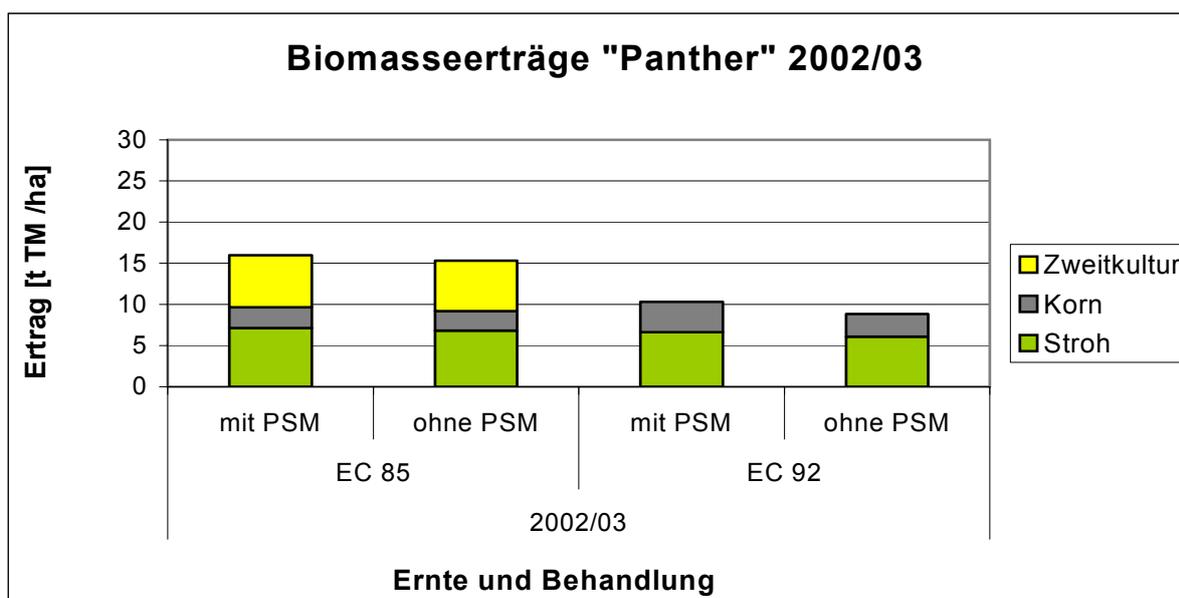


Abb. 20: Biomasseerträge Winterrapssorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03

In Abb. 21 sind die Erträge der Korn- und Strohfractionen der Rapsorte „Panther“, abhängig vom PSM-Einsatz, dargestellt. Der Strohertrag in den einzelnen Varianten lag unabhängig von Pestizideinsatz und Erntetermin auf gleichem Niveau bei durchschnittlich 6,7 t TM/ha. Tendenziell konnte ein Absinken der Strohanteiles mit fortschreitender Reife beobachtet werden, ein signifikanter Ertragsunterschied wurde jedoch nicht konstatiert. Zum zweiten Erntetermin stiegen die Kornerträge an. Beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wurde mit 3,7 t TM/ha ein signifikant höherer Kornertrag als in den übrigen Parzellen mit im Mittel 2,6 t Korn/ha geerntet.

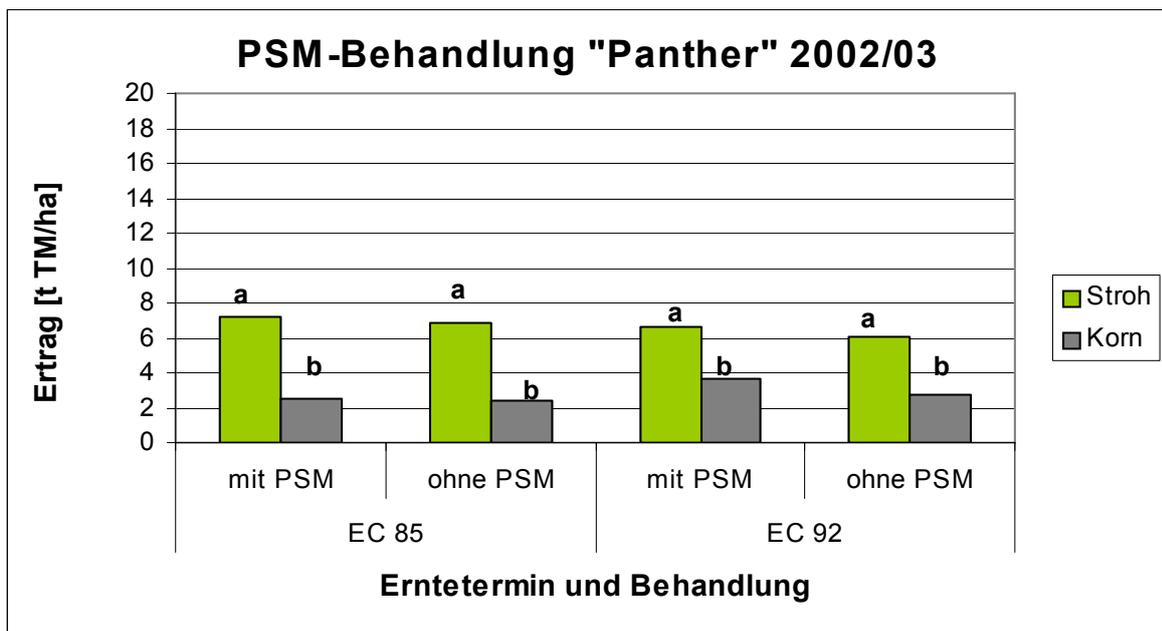


Abb. 21: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Die Biomasseerträge der Sorte „Express“ sind in Abbildung 22 abgebildet. Tendenziell höhere Stroherträge wurden zur Totreife des Rapses gemessen. Im EC 85 wurde bei Verzicht auf PSM insgesamt 19% weniger Biomasse (Korn und Stroh) geerntet als im EC 92. Bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln betrug die totale Ertragsdifferenz insgesamt 16%. Wie im Vorjahr war die Sorte „Panther“ der Sorte „Express“ im Biomasseertrag tendenziell überlegen. Eine Wechselwirkung zwischen Erntetermin und der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln konnte bei beiden Sorten nicht nachgewiesen werden.

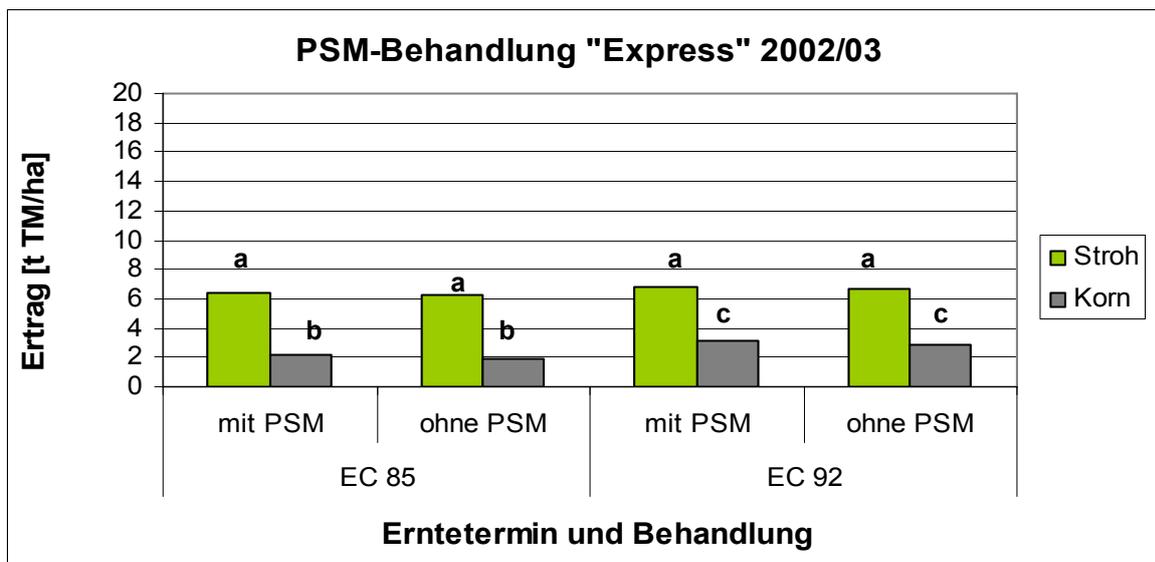


Abb. 22: Biomasseertrag „Express“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Die Biomasseerträge der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen und der Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Ertrag sind in Abb. 23 dargestellt. In der gedüngten Variante wurde ein Gesamtbiomasseertrag aus Mais- und Sonnenblumenganzpflanzen von 6,3 t TM/ha ermittelt. Daraus errechnet sich ein Mehrertrag zu den ungedüngten Parzellen von 0,2 t TM/ha. Bei getrennter Betrachtung der beiden Kulturen ist festzustellen, dass die Sonnenblumen im Mittel 60% mehr Ertrag lieferten als die Maispflanzen mit durchschnittlich 2,4 t TM/ha. Ein signifikanter Einfluss der Düngung auf den Ertrag konnte nicht festgestellt werden.

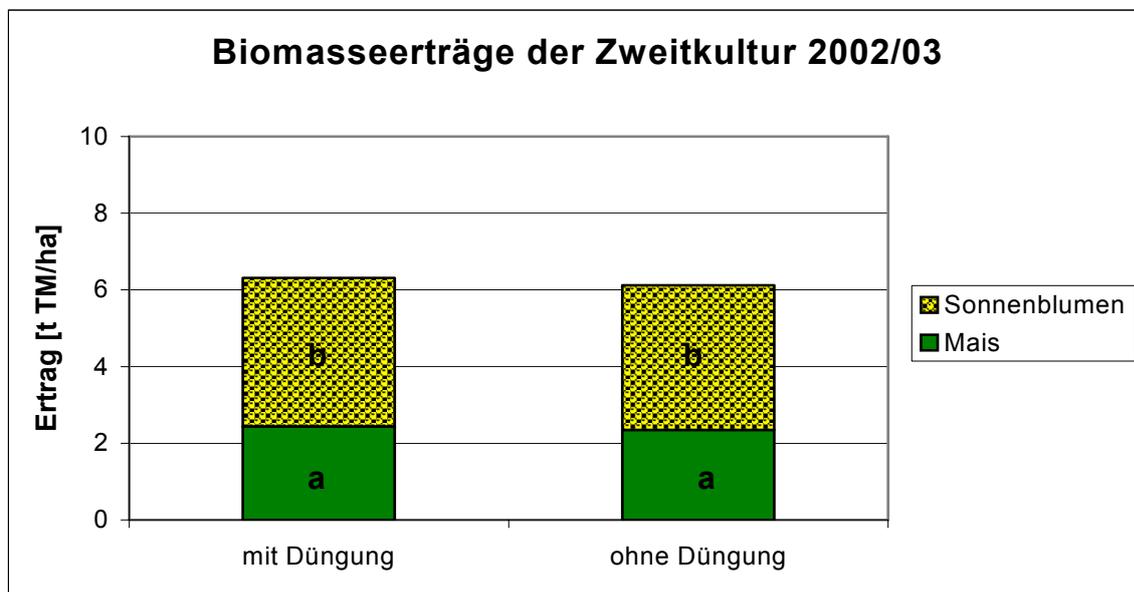


Abb. 23: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Hebenshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

5.1.4.3 Hebenshausen 2003/04

Abb. 24 zeigt die Gesamtbiomasseerträge der Winterrapsorte „Panther“ beim konventionellen Rapsanbau und im Zweikultur-Nutzungssystem. 2003/04 fand zusätzlich eine dritte Ernte der Rapsanzpflanzen im Entwicklungsstadium EC 80 statt. Innerhalb der Vegetationsstadien EC 80 bis EC 92 war eine kontinuierliche Verringerung des Strohanteils sowie eine Zunahme in der Kornfraktion zu beobachten. Die signifikante Umverteilung wirkte sich jedoch kaum auf den Gesamtertrag aus. Bis auf die Varianten „EC 80 und 85 ohne PSM“ lagen die kumulierten Rapsrerträge aus Korn und Stroh zu allen Erntezeitpunkten und bei allen Behandlungen auf einem Niveau. Die höchsten Biomasseerträge wurden im Zweikultur-Nutzungssystem geerntet und lagen bei 22,2 t TM/ha bzw. 21,3 t TM/ha (ohne PSM). Durch den Anbau der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen lagen die Gesamterträge im Zweikultur-Nutzungssystem im Durchschnitt (mit/ohne PSM) um 44% höher als in den Körnerraps-Varianten.

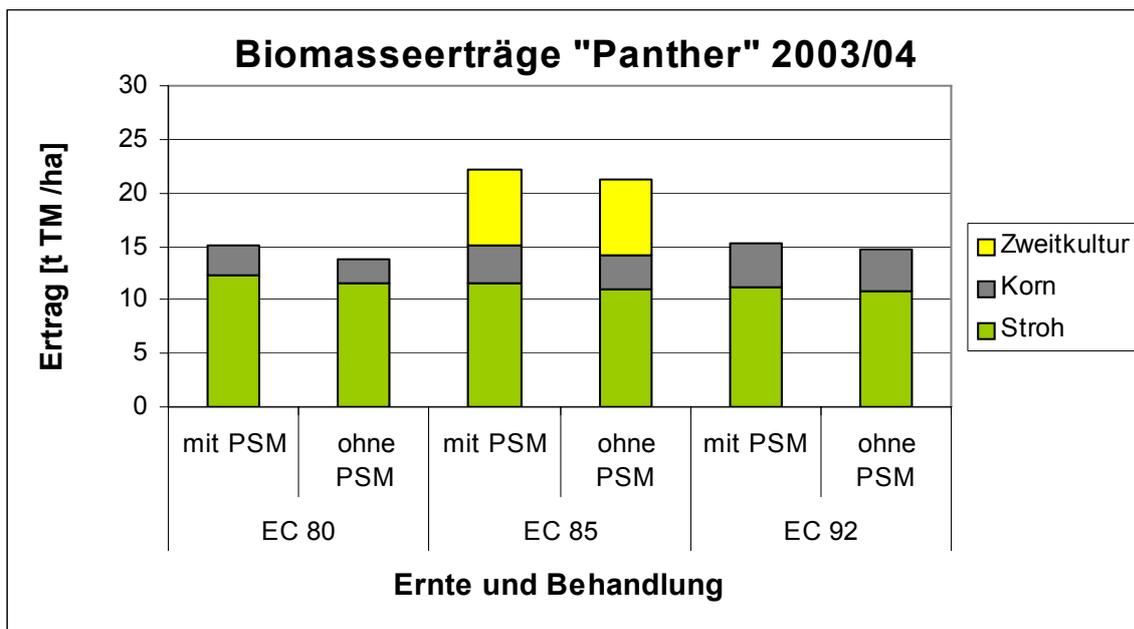


Abb. 24: Biomasseerträge Winterrapsorte „Panther“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2002/03

Abb. 25 zeigt den unterschiedlichen Korn- und Strohertrag der Sorte „Panther“ zu den drei Ernteterminen mit und ohne Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Höchste Stroherträge waren mit 12,3 t TM/ha im EC 80 (mit PSM) zu verzeichnen, der geringste wurde mit 10,7 t TM/ha im EC 92 (ohne PSM) gemessen. Die Pestizid-anwendung hatte zu allem Ernteterminen höhere Stroherträge zur Folge, ein signifikanter Einfluss konnte jedoch nicht festgestellt werden. In der Kornfraktion wurden in allen behandelten Parzellen zu allen Ernteterminen signifikant höhere Erträge gemessen. Der geringste Kornertrag war im EC 80 ohne PSM mit 2,3 t TM/ha zu verzeichnen, der höchste im EC 92 mit 4,0 t TM/ha.

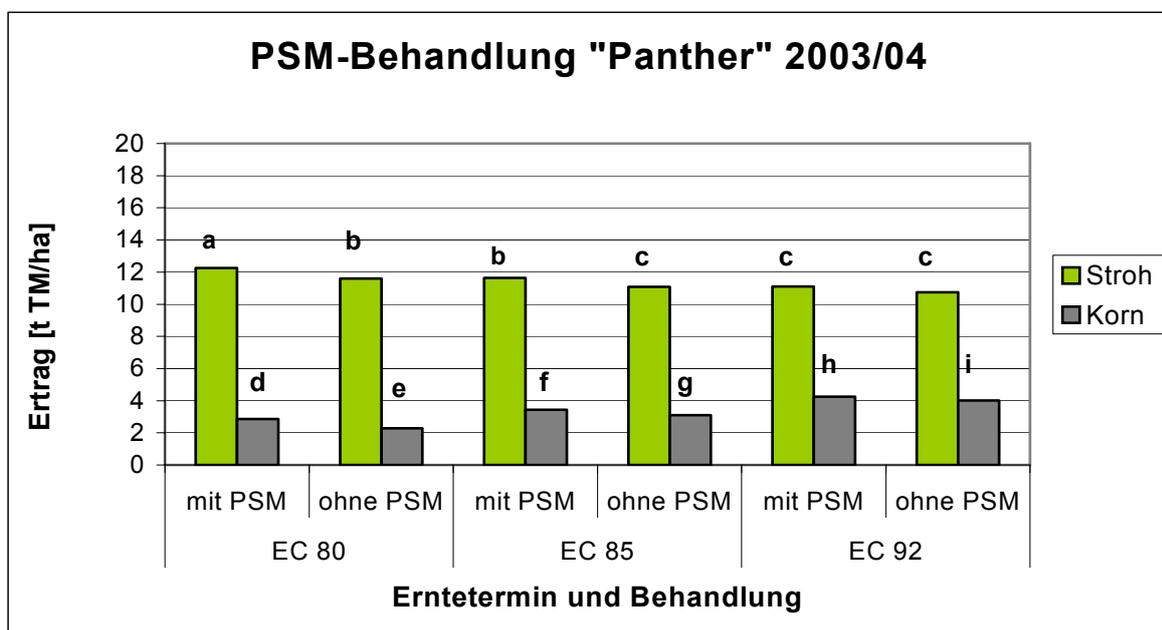


Abb. 25: Rapskorn und –strohertrag Sorte „Panther“ mit und ohne Pflanzenschutz, Hebenshausen 2002/03. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Abb. 26 zeigt die Biomasseerträge der Sorte „Express“ zu den drei Ernteterminen EC 80, 85 und 92. Die höchsten Stroherträge wurden zu den ersten beiden Ernteterminen im EC 80 und 85 gemessen. Die höchsten Kornenerträge wurden im EC 85 und 92 erzielt. Ein signifikanter Einfluss der Pflanzenschutzmittelanwendung war nicht festzustellen. Die höchsten Gesamtbiomasseerträge aus Korn- und Stroh wurden mit 15,17 t TM/ha im EC 85 bei Anwendung von PSM erzielt. Bei Verzicht auf PSM war der Ertrag um insgesamt 0,50 t TM/ha geringer. Die niedrigsten Gesamterträge waren zur Totreife des Rapses festzustellen und lagen im Mittel (mit/ohne PSM) bei 11,94 t TM/ha. Durch den Anbau der Sorte „Panther“ konnten, wie bereits in den vorangegangenen Jahren, im Mittel höhere Gesamterträge erzielt werden.

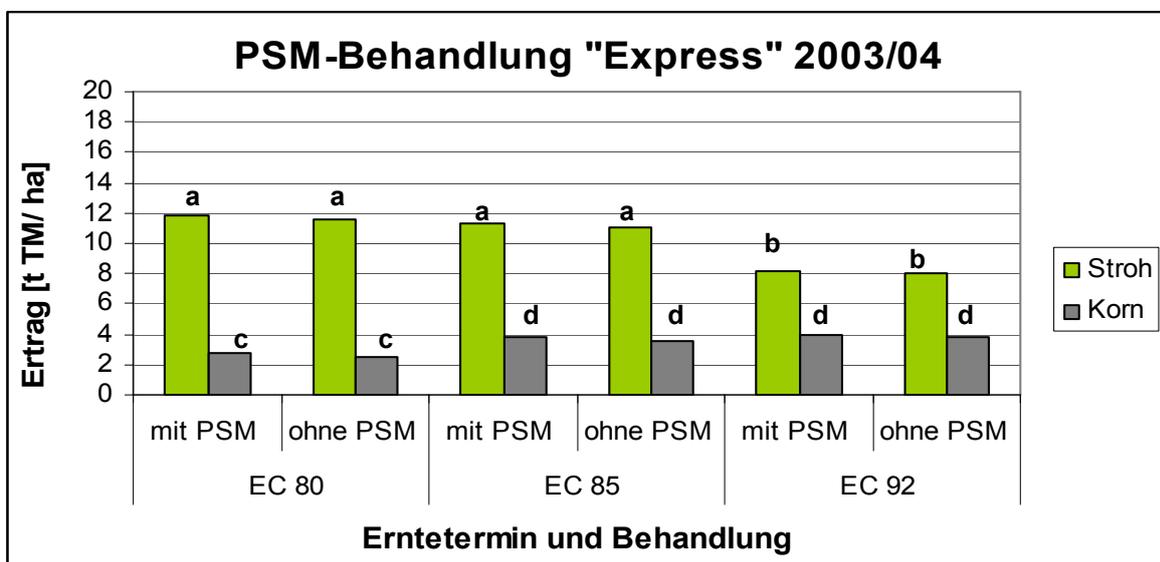


Abb. 26: Biomasseertrag „Express“ bei verschiedenen Erntestadien und Behandlungen, Hebenshausen 2003/04. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

Abb. 27 zeigt die Biomasseerträge der Zweitkultur Mais und Sonnenblumen, die mit und ohne Stickstoffdüngung angebaut wurden. In der gedüngten Variante lag der Gesamtbiomasseertrag aus Mais- und Sonnenblumenganzpflanzen bei 7,32 t TM/ha, in den ungedüngten Parzellen bei 7,04 t TM/ha. Durch die Düngung wurde ein Mehrertrag von 4% erwirtschaftet. Wie bereits in den vergangenen Jahren erbrachten die Sonnenblumenganzpflanzen einen deutlichen Mehrertrag gegenüber dem Mais. Im Mittel wurden 5,0 t TM/ha aus Sonnenblumen und durchschnittlich 2,14 t TM/ha aus Mais geerntet. Während in den gedüngten Parzellen ein tendenzieller Mehrertrag der Sonnenblumen von 0,17 t TM/ha gemessen wurde, konnte beim Mais keine Reaktion auf die zusätzliche Düngergabe festgestellt werden.

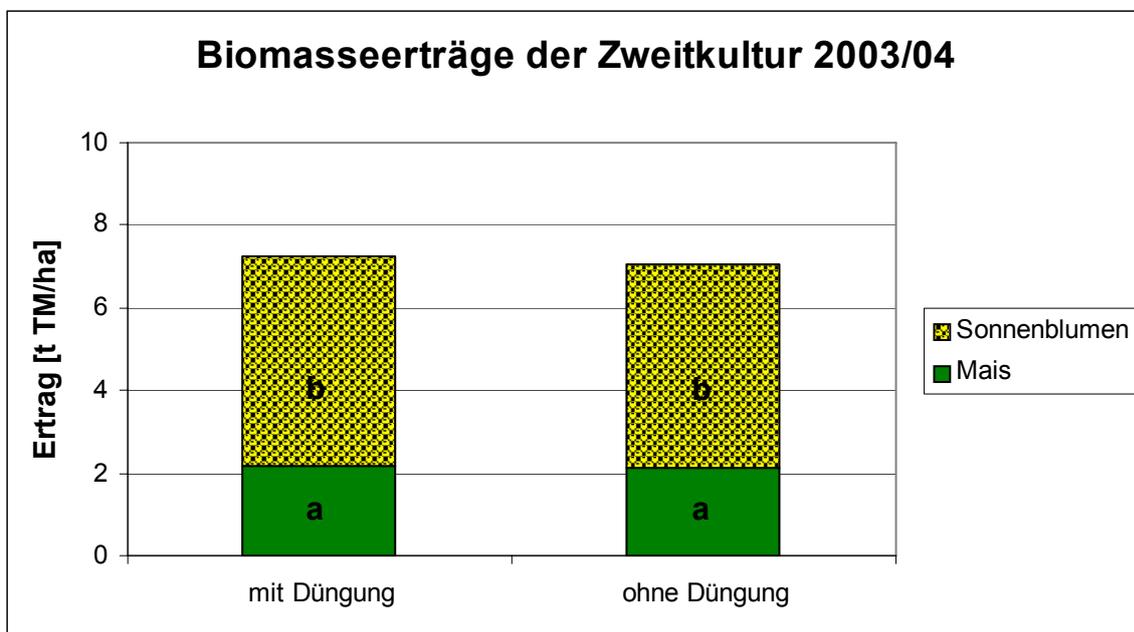


Abb. 27: Biomasseerträge der Zweitkultur mit und ohne Düngung, Hebenshausen 2003/04. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p=0,05$

5.2 Stickstoff-Dynamik

Die Abb. 28 und 29 zeigen den Gehalt an mineralischem Bodenstickstoff (N_{\min} -N) in 0-90 cm Bodentiefe an den Standorten Hebenshausen und Lemshausen während der Vegetationsperiode der drei Versuchsjahre. Die Ammoniumgehalte lagen bis auf wenige Ausnahmen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Codierung der Grafiken bezeichnet die folgenden Versuchsvarianten:

- **85** Raps-GP-Ernte im EC 85
- **85+ZK** Raps-GP-Ernte im EC 85 mit Zweitkultur
- **85+ZK+N** Raps-GP-Ernte im EC 85 mit gedüngter Zweitkultur (40 kg N/ha)
- **92** Körnerraps-Ernte im EC 92

Aufgrund der geringen Auswirkungen der Pflanzenschutzmittelanwendung im Raps auf den Biomasseertrag wurden die N_{\min} -Werte der Varianten „mit/ohne Pflanzenschutzmittelanwendung“ gemittelt. In Hebenshausen wurden die N_{\min} -Gehalte nur auf den Parzellen mit der Sorte „Panther“ gemessen.

5.2.1 Hebenshausen 2001/02

Im Versuchsjahr 2001/02 wurde die Zweitkultur Sonnenblumen nicht gedüngt, weshalb diese Variante in der ersten Darstellung (2001/02) entfällt. In den Monaten Juni und Juli lagen die Werte unter allen Versuchsvarianten mit 28 bis 30 kg N_{\min} -N/ha bzw. 35 bis 37 kg N_{\min} -N/ha auf gleichem Niveau (s. Abb. 28). Nach der Ernte der Raps Ganzpflanzen im EC 85 war ein kontinuierlicher Anstieg der N_{\min} -Gehalte zu verzeichnen. Die höchsten Gehalte waren zum Beprobungstermin im August festzustellen. Unter den Varianten Raps-GP-Ernte im EC 85 (85) und Raps-GP-Ernte im EC 85 mit Zweitkultur (85+ZK) lagen sie bei 52 kg N_{\min} -N/ha, in den Körnerraps-Parzellen dagegen mit 38 kg N/ha deutlich niedriger. Ende Oktober nach der Ernte der Zweitkultur wurden unter allen Varianten N_{\min} -Werte von durchschnittlich 15 kg/ha gemessen. In den Monaten November und Januar war in allen Versuchsgliedern ein Anstieg zu verzeichnen. Ende Januar lagen die N_{\min} -Gehalte aller Varianten bei durchschnittlich 34 kg N_{\min} -N/ha.

5.2.2 Hebenshausen 2002/03

Der Beprobungstermin im Juni nach der Raps Ganzpflanzen-Ernte zeigte unter allen Versuchsvarianten N_{\min} -Gehalte von im Mittel 18 kg N/ha. Ein deutlicher Anstieg unter allen Varianten war im Juli nach der Körnerrapsernte zu verzeichnen. Die N_{\min} -N-Gehalte stiegen auf durchschnittlich 30 kg N/ha (Varianten 85 und 92) bzw. 40 und 44 kg N/ha in den Zweitkultur-Nutzungs-Parzellen an. Im September konnte ein leichter Rückgang der N_{\min} -Gehalte verzeichnet werden (s. Abb. 28). Eine Ausnahme

stellt die Variante 85+ZK+N dar, in der die zusätzliche Düngung der Zweitkultur mit 40 kg N deutlich zu erkennen ist. Die niedrigsten N_{\min} -N-Gehalte wurden Anfang Oktober gemessen und lagen bei durchschnittlich 12 kg N/ha, in der Düngungsvariante mit 17 kg N/ha leicht höher. Bis zur Probennahme im November waren die N_{\min} -Werte im Boden bis auf im Mittel 30 kg N/ha angestiegen. Ende Januar war eine Verlagerung des Nitrat-N in tiefere Bodenschichten deutlich zu erkennen. Die höchsten N_{\min} -Gehalte wurden mit 51 kg N/ha unter der Variante 85+ZK+N gemessen. In der Variante 85 lagen sie bei 44 kg N/ha. Bei nicht gedüngter Zweitkultur (85+ZK) und in den Körnerrapsparzellen lagen die Werte einheitlich bei 39 kg N/ha.

5.2.3 Hebenshausen 2003/04

Zwischen Mai und der Ernte der Raps-Ganzpflanzen im Juni stiegen die N_{\min} -Gehalte im Boden um mehr als das Doppelte an (s. Abb. 28) und lagen Ende Juni zwischen 34 kg N/ha in den Varianten 85 und 92 und 45 kg N/ha bei der Raps-GP-Ernte mit gedüngter Zweitkultur (85+ZK+N). Nach der Rapsernte zur Totreife lagen alle N_{\min} -Werte Ende Juli bei 46 kg N/ha, in der Körnerrapsvariante wurden 50 kg N/ha gemessen. Auch Ende August lagen die N_{\min} -Gehalte mit 35 kg N/ha hier doppelt so hoch wie in den Parzellen des Zweikultur-Nutzungssystems. In der Bracheparzelle nach der frühen Raps-Ganzpflanzenernte (85) wurden mittlere Werte von 23 kg N/ha verzeichnet. Im November wurden unter allen Varianten durchschnittlich 28 kg N_{\min} N/ha gemessen. Bis zum Beprobungstermin im Dezember erfolgte eine weitere Verlagerung des Nitrat-N in die Bodenschichten 30-90 cm, wobei gleichzeitig ein leichter Anstieg auf im Mittel 35 kg N/ha unter allen Parzellen (Ausnahme: 85+ZK) gemessen wurde.

In allen Jahren wurden die tendenziell höchsten N_{\min} -Werte in den Varianten des Zweikultur-Nutzungssystems (85+ZK und 85+ZK+N) nach der Ernte der Raps-Ganzpflanzen gemessen. Nach der Raps-Ganzpflanzenernte war in allen Versuchsvarianten und Jahren ein Rückgang der Nitratstickstoffgehalte im Boden zu verzeichnen. Im Herbst konnte durch die Wiederbefeuchtung des Bodens in der Bodenschicht 0-30cm ein Anstieg des N_{\min} -Gehaltes verzeichnet werden. Dabei war die Verlagerung des Nitrat-Stickstoffs in tiefere Bodenschichten (60-90 cm Tiefe) festzustellen. Eine signifikante Differenz des N_{\min} -Gehaltes in den einzelnen

Bodenschichten zwischen den vier Versuchsvarianten konnte zu keinem Beprobungstermin nachgewiesen werden.

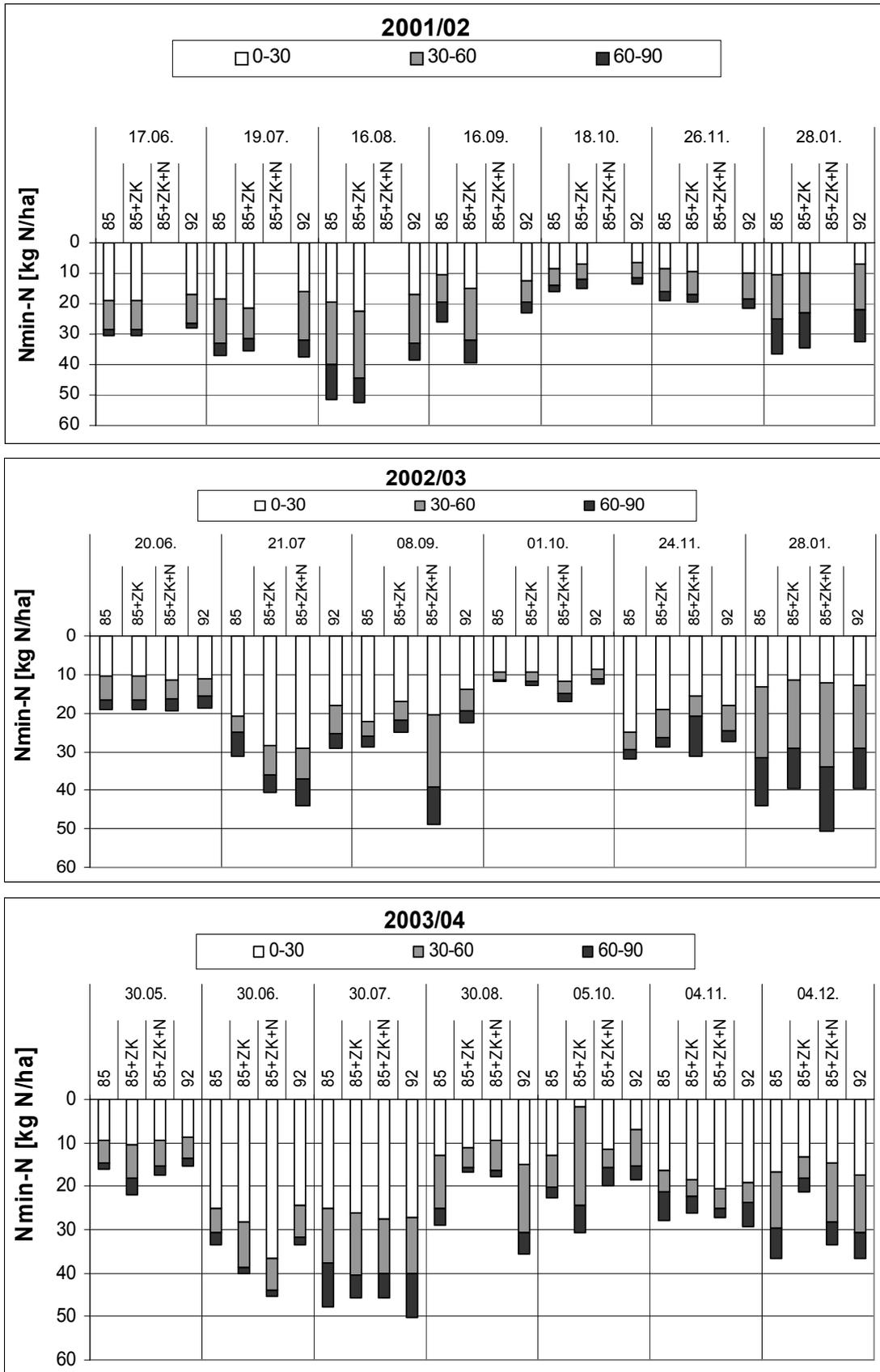


Abb. 28: N_{\min} -Dynamik bei RapsGP, im ZKN und bei Körnerraps, Hebenshausen 2002-2004

5.2.4 Lemshausen 2001/02

Im ersten Versuchsjahr fand keine Düngung der Zweitkultur Sonnenblumen statt, weshalb diese Variante in der ersten Grafik nicht aufgeführt wurde. In Abb. 29 ist der Verlauf der N_{\min} -Dynamik am Standort Lemshausen dargestellt. Zur Beprobung im Juni lagen die N_{\min} -N-Gehalte mit 41 kg/ha im Zweikultur-Nutzungssystem und 35 kg N/ha unter Körnerraps weitgehend auf einem Niveau. Nach der Rapsernte zur Totreife im Juli stiegen die Werte stark an und lagen in den Körnerrapsparzellen (92) bei 55 kg N/ha, unter denen der Raps Ganzpflanzenernte (85 und 85+ZK) bei im Mittel 72 kg N/ha. Bei diesem Beprobungstermin konnte eine deutliche Zunahme des Nitrat-N in tiefere Bodenschichten festgestellt werden. Zum Beprobungstermin im September sanken die N_{\min} -Gehalte stark ab. Hier wurde der höchste Wert mit 38 kg N/ha in den 85er-Parzellen gemessen. Während der Wintermonate war wiederum unter allen Varianten ein leichter Anstieg der N_{\min} -Gehalte zu verzeichnen. Während im November alle Messwerte mit durchschnittlich 22 kg N/ha auf gleichem Niveau lagen, waren im Januar die höchsten gemessenen Gehalte unter den Parzellen des Zweikultur-Nutzungssystems zu verzeichnen. Ebenfalls war in den Wintermonaten die Verlagerung des wasserlöslichen Nitrats in Bodenschichten tiefer 30 cm zu beobachten.

5.2.5 Lemshausen 2002/03

Vor der Ernte der Raps-Ganzpflanzen lagen alle N_{\min} -Werte einheitlich bei 20 kg N/ha. Der Beprobungstermin nach der Körnerrapsernte am 17.07. zeigte mit 25 kg N_{\min} -N/ha niedrigste Stickstoffgehalte in den Körnerrapsparzellen und mit 86 kg N/ha die signifikant höchsten Werte im gedüngten Zweikultur-Nutzungssystem (s. Abb. 29). Die Düngergabe von 40 kg N/ha in der Zweitkultur ist bei diesem Beprobungstermin im Boden wiederzufinden. Bei der Beprobung im September stiegen die N_{\min} -Werte in den Varianten „85“ (111 kg/ha) sowie in den Körnerrapsparzellen (42 kg N/ha) jeweils um nahezu das Doppelte an. Die N_{\min} -Gehalte in den anderen Parzellen blieben dagegen unverändert. Nach der Ernte der Zweitkultur im Oktober waren höchste Gehalte an mineralischem Stickstoff mit 68 kg N/ha in den Düngungsvarianten des ZKN (85+ZK+N) zu verzeichnen. Einen deutlichen Anstieg unter allen Versuchsvarianten und eine gleichzeitige Verlagerung des Nitratstickstoffes war im November festzustellen. Auch hier wurden die maximalen Werte in der Variante

85+ZK+N gemessen. Der signifikant geringste Wert während des Beprobungszeitraums war unter den Körnerrapsparzellen (92) zu finden. Bei der Beprobung im Januar des Folgejahres blieben die N_{\min} -Gehalte unter den Varianten 85 und 85+ZK nahezu gleich. Ein deutlicher Anstieg des N_{\min} -Gehaltes wurde in der Körnerrapsparzelle gemessen.

5.2.6 Lemshausen 2003/04

Im Versuchsjahr 2004 konnten Bodenproben am Standort „Berg“ aufgrund des anstehenden Ausgangsgesteins (s. Kap. 2.2.3) nur bis zu einer Tiefe von 0-30 cm gezogen werden. Über die Monate Juni-Januar des Folgejahres bewegten sich dabei die N_{\min} -Gehalte unter allen Versuchsvarianten weitgehend auf einem Niveau (s. Abb. 29). Der tendenziell höchste Wert wurde dabei im Oktober nach der Ernte der Zweitkultur in der Parzellen der frühen Rapsernte-Ganzpflanzenernte ohne Nachfrucht (85) gemessen und lag bei 45 kg N_{\min} -N/ha. Ein signifikanter Unterschied zwischen den N_{\min} -Gehalten an einem Beprobungstermin bestand zu keinem Zeitpunkt.

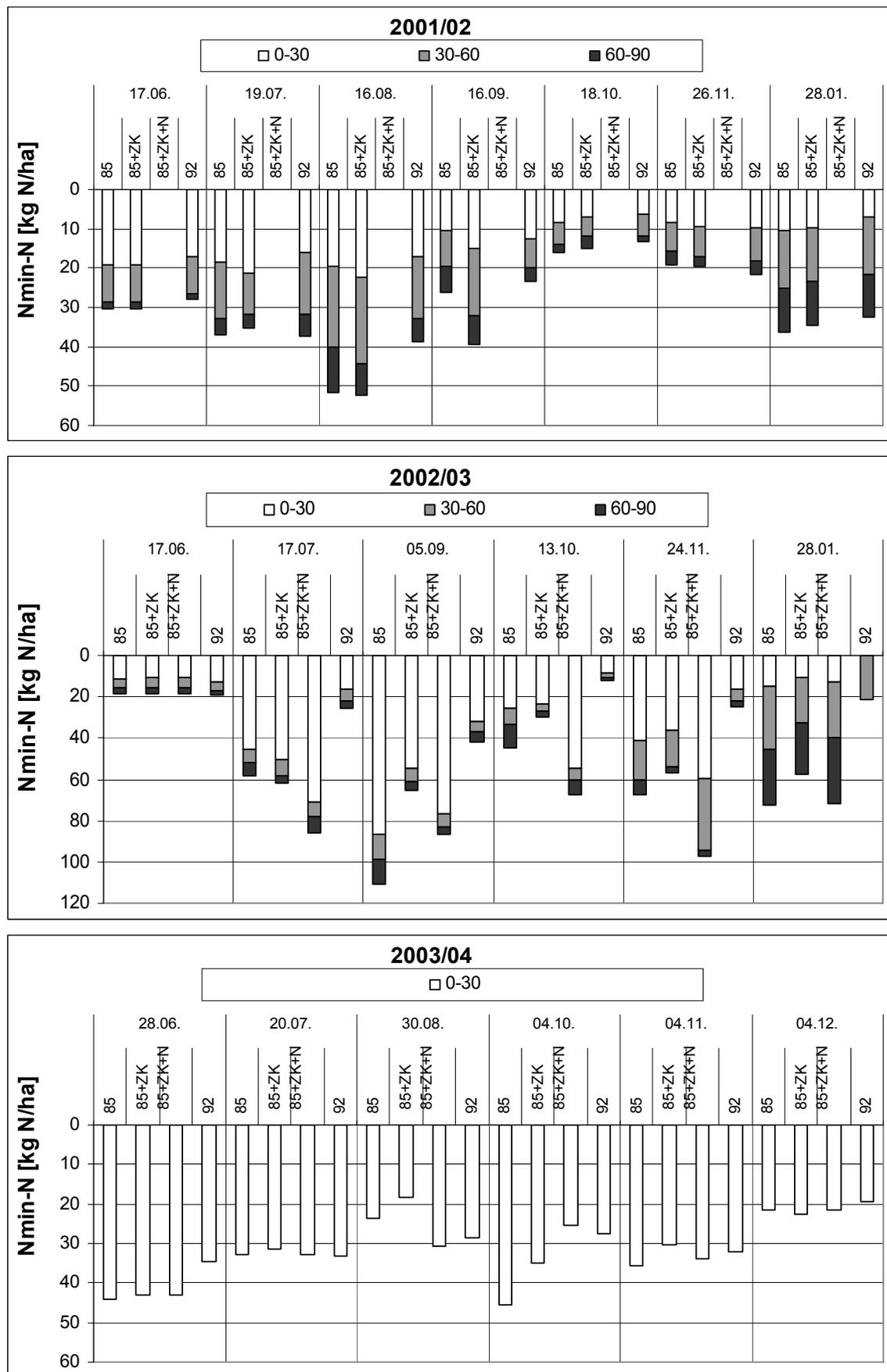


Abb. 29: N_{\min} -Dynamik bei RapsGP, im ZKN und bei Körnerraps, Lemshausen 2002-2004

5.3 Stickstoff-Bilanzen

Zur Berechnung der Stickstoff-Bilanz wurde die Nährstoffzufuhr (Input) aus mineralischem und organischen Stickstoffdünger der Nährstoffabfuhr bzw. dem Entzug (Output) mit dem Erntegut gegenübergestellt. Der Bilanzsaldo stellt den Stickstoffüberschuss dar, also die Menge, die über den Luft-, Boden- und Wasserpfad an die Umwelt abgegeben werden kann. Als Grundlage für die Berechnung der N-Gehalte im Erntegut dienten Analysenwerte, die im Anhang zu finden sind. Eine Anrechnung der Nährstoffzufuhr über Deposition erfolgte nicht, auch gasförmige Stickstoffverluste wurden nicht untersucht. Die verwendeten Daten wurden den Schlagkarteien entnommen. Die Salden für die unterschiedlichen Produktionssysteme wurden nach Standorten, Jahren und Sorten (Hebenshausen) getrennt dargestellt.

5.3.1 Lemshausen 2001/02

Abb. 30 vergleicht den Stickstoffsaldo beim Anbau von Körnerraps, von früh geernteten Raps Ganzpflanzen und beim Zweikultur-Nutzungssystem jeweils mit und ohne Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Der Versuch wurde mit 200 kg Stickstoff (mineralisch und organisch) gedüngt, eine zusätzliche Düngergabe der Zweitkultur Sonnenblumen erfolgte im Versuchsjahr 2001/02 nicht.

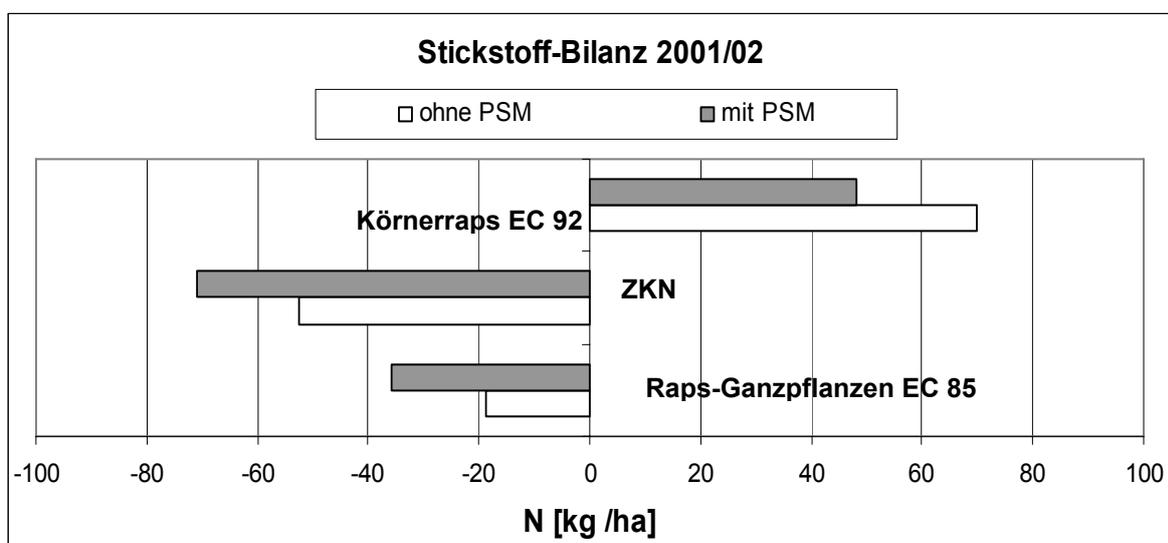


Abb. 30: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2001/02

Positive Bilanzüberschüsse traten in der Variante „Körnerrapsernte im EC 92“ auf. Beim Verzicht der Pflanzenschutzmittel-Anwendung im Raps wurde ein positiver Saldo von +70 kg N/ha errechnet, beim betriebsüblichen Einsatz von PSM belief er sich auf +48 kg/ha. Die Differenz errechnet sich aus dem höheren Kornertrag in der behandelten Variante. Im Jahr 2001/02 wurde somit der maximal tolerierbare Bilanzüberschuss von 45 kg/ha kaum überschritten. Auch in den Varianten „ZKN“ und „Raps-Ganzpflanzenernte im EC 85“ waren die Entzüge in den PSM-behandelten Parzellen höher. Die höchsten Entzüge aus dem System wurden im Zweikultur-Nutzungssystem durch die Ernte der Raps-Ganzpflanzen und der Nachfrucht erzielt. Die Salden beliefen sich dabei auf -71 (mit PSM) bzw. -53 kg N/ha (ohne PSM). Ebenfalls negative Salden wurden bei der Raps-Ganzpflanzenernte im EC 85 mit -36 kg/ha bzw. ohne PSM -19 kg/ha errechnet.

5.3.2 Lemshausen 2002/03

Abb. 31 zeigt die Stickstoff-Bilanzierung am Standort Lemshausen im Jahr 2002/03. Die Düngergabe betrug in allen Varianten insgesamt 200 kg N. In der Versuchsvariante „ZKN+N“ wurde die Zweitkultur Mais und Sonnenblumen zusätzlich mit 40 kg N gedüngt, so dass die Gesamt-Stickstoffzufuhr hier 240 kg betrug. Generell wurden in allen Versuchsvarianten höhere Entzüge in den PSM-behandelten Varianten errechnet. Positive Bilanzsalden ergaben sich mit 58 kg/ha (ohne PSM 47 kg/ha) in den Körnerraps-Parzellen sowie bei der Raps-Ganzpflanzenernte ohne Nachfrucht (28 kg bzw. 22 kg N/ha). Die nur geringen Differenzen im Saldo bei der Anwendung bzw. dem Verzicht auf Pflanzenschutzmittel entsprechen den geringen Ertragsunterschieden im Erntegut. In beiden Varianten des Zweikultur-Nutzungssystems lagen die Stickstoff-Salden im negativen Bereich. Höchste Entzüge aus dem System errechneten sich mit 331 kg N/ha bei PSM-Anwendung und zusätzlicher Düngung der Zweitkultur. Der hier errechnete Saldo lag bei -91 (+ PSM) bzw. -69 kg N/ha (- PSM). Ohne zusätzliche Düngergabe wurde ein Saldo von -119 kg N/ha (+ PSM) bzw. -111 kg N/ha (-PSM) errechnet.

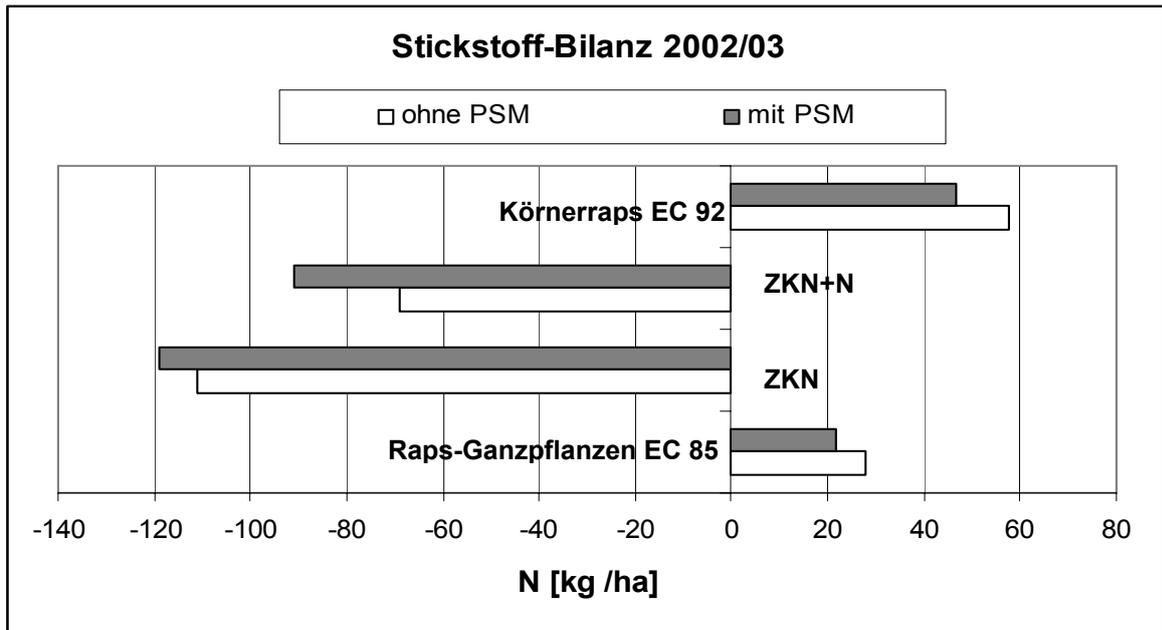


Abb. 31: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2002/03

5.3.3 Lemshausen 2003/04

Alle Versuchsvarianten wurden mit insgesamt 200 kg N gedüngt. In der Variante ZKN+N erfolgte eine zusätzliche Düngung der Zweitkultur, so dass die Gesamt-Stickstoffgabe hier 240 kg N betrug. Im Versuchsjahr 2003/04 fand eine zusätzliche Raps-Ganzpflanzenernte im EC 80 statt, in welcher ebenfalls der Stickstoffentzug bilanziert wurde (Abb. 32). Ein aus Sicht des Grundwasserschutzes intolerabel hoher Bilanzüberschuss wurde mit +88 kg N/ha (83 kg N/ha mit PSM) bei der betriebsüblichen Körnerrapsenernte im EC 92 errechnet. Bei Ernte der Raps Ganzpflanzen ergaben sich in allen Varianten negative Salden. Ebenfalls wurden in allen Varianten höhere Entzüge beobachtet, in denen der Raps mit Pflanzenschutzmitteln behandelt wurde. Die höchsten Entzüge wurden in den pflanzenschutzbehandelten Varianten des Zweikultur-Nutzungssystems ermittelt. Die zusätzliche Düngung der zweiten Kultur resultierte in einem Mehrertrag von Mais und Sonnenblumen, was sich wiederum in der Bilanzierung widerspiegelt. Die Raps-Ganzpflanzenernte im EC 80 führte aufgrund der signifikant höheren Biomasseerträge ebenfalls zu höheren N-Entzügen. Bei der Ernte im EC 80 wurde bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ein negativer Saldo von -171 kg N/ha errechnet. Ohne Pflanzenschutzmittelanwendung lag der Saldo bei -128 kg N/ha und damit ähnlich hoch wie bei der Ganzpflanzenernte im EC 85 mit PSM.

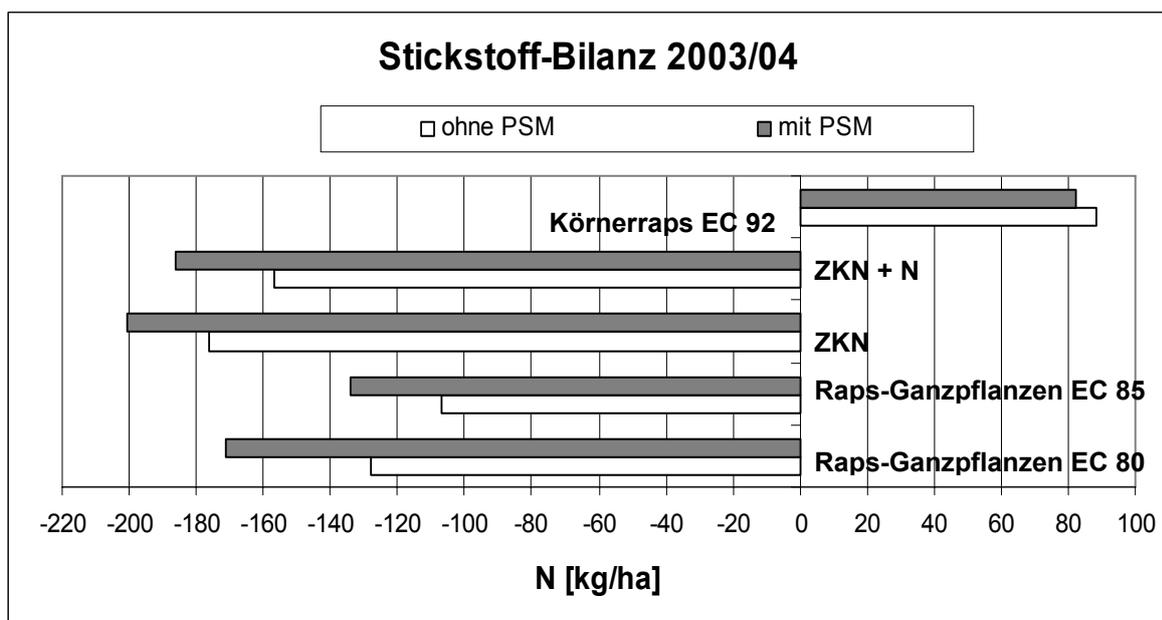


Abb. 32: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen 2003/04

5.3.4 Hebenshausen 2001/02

Abb. 33 zeigt die Stickstoffbilanz bei Körnerraps, Raps-Ganzpflanzenernte und im Zweikultur-Nutzungssystem beim Anbau der Winterrapssorte „Panther“. Alle Varianten wurden mit 200 kg N/ha gedüngt. Im Versuchsjahr 2001/02 wurden in allen Produktionssystemen Stickstoffüberschüsse ermittelt. Die höchsten Überschüsse mit 99 kg N/ha (- PSM 105 kg N/ha) errechneten sich beim Körnerrapsanbau. Im Zweikultur-Nutzungssystem lag mit 41 kg N/ha (31 kg ohne PSM) ebenfalls ein positiver Saldo vor, der jedoch innerhalb der Toleranzgrenze liegt. Ohne den Entzug der Zweitkultur waren die N-Überschüsse bei der Raps-Ganzpflanzenernte im EC 85 um 12 kg N/ha (- PSM um 19 kg N) höher.

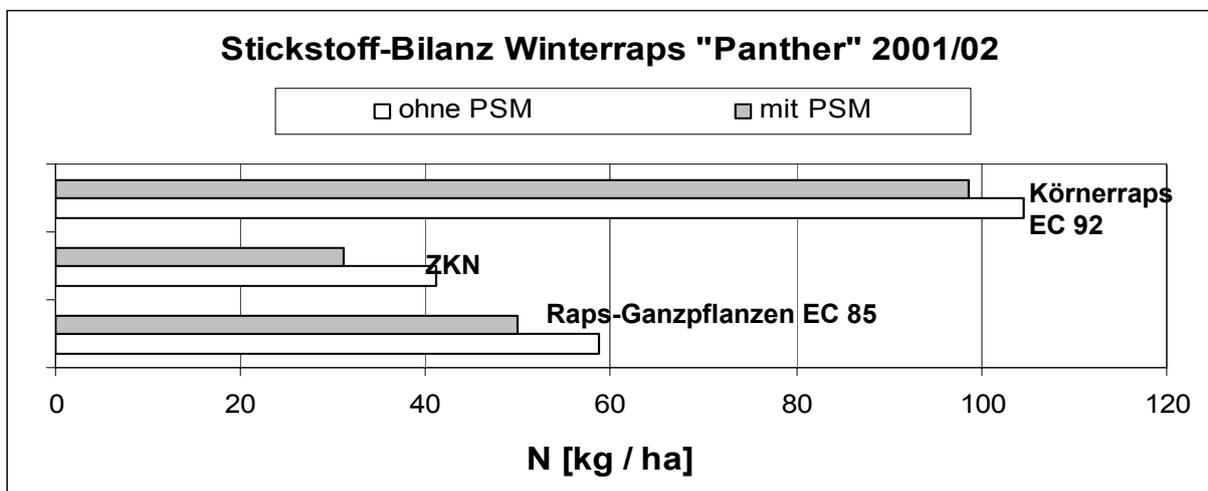


Abb. 33: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2001/02

Tab. 4 zeigt die Stickstoff-Bilanz am Standort Hebenshausen in derselben Vegetationsperiode beim Anbau der Winterrapssorte „Express“. Aufgrund der etwas geringen Biomasseerträge der Sorte „Express“ waren auch die Stickstoffentzüge aus dem System geringer als bei der Sorte „Panther“, so dass sich bis zu 20 kg höhere Bilanzüberschüsse ergeben. Die Untersuchung der N-Gehalte im Erntegut zeigte mit 3,12% bzw. 0,85% N bei der Ernte im EC 92 signifikant höhere Stickstoffgehalte in den Korn- bzw. geringere in den Strohfraktionen als im EC 85. (1,74% in der Korn- bzw. 1,67% in der Strohfraktion). Ein Unterschied zwischen den Sorten „Express“ und „Panther“ wurde nicht festgestellt. Der mittlere N-Gehalt der Sonnenblumen wurde mit 1,65% N bestimmt.

Tab. 4: Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapssorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2001/02

	N-Düngung [kg N/ha]	Entzug durch Erntegut [kg N/ha]		Saldo [kg N/ha]	
		+ PSM	- PSM	+ PSM	- PSM
Raps-Ganzpflanzenernte EC 85	200	120,7	131,3	+ 79,3	+ 68,7
Zweikultur-Nutzungssystem (ZKN)	200	139,3	149,8	+ 60,6	+ 50,1
Körnerraps EC 92	200	99,2	93,9	+ 100,8	+ 106,1

5.3.5 Hebenshausen 2002/03

Abb. 34 gibt die Stickstoffbilanz im Versuchsjahr 2002/03 wieder. Die Düngergabe zu allen Varianten betrug 200 kg N/ha, bei ZKN+N wurde die Zweitkultur zusätzlich mit 40 kg N/ha gedüngt. Hohe Überschüsse errechneten sich mit 95 kg N/ha (120 kg ohne PSM) bei der Körnerrapsernte. Auch bei der Raps Ganzpflanzenernte wurden mit 73 kg N (ohne PSM 79 kg N) positive Salden ermittelt. Im Zweikultur-Nutzungssystem mit zusätzlicher Düngung konnte eine nahezu ausgeglichene Bilanz erzielt werden. Bei Verzicht auf die zusätzliche Düngergabe errechnet sich mit durchschnittlich 31 kg N/ha ein negativer Saldo.

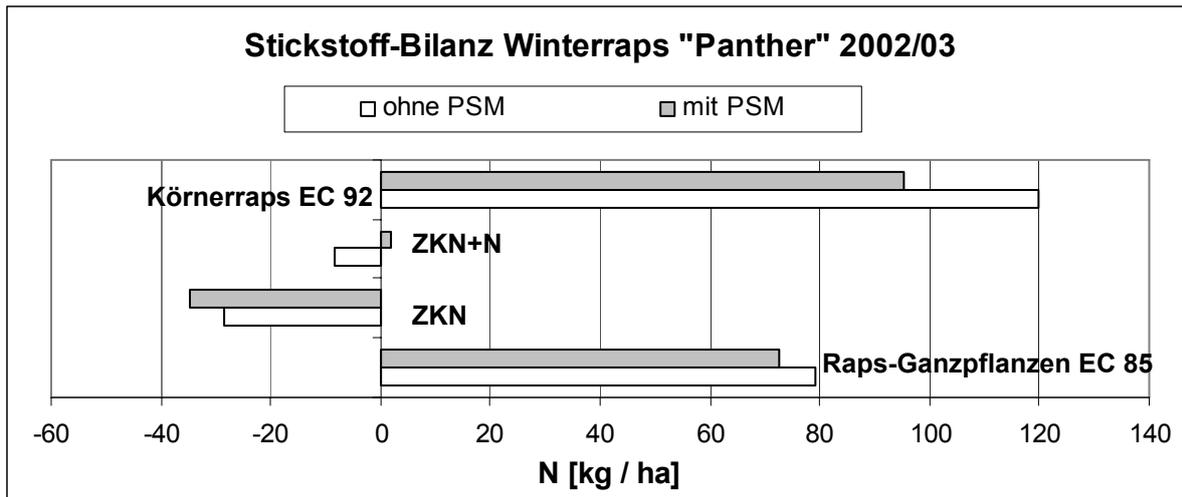


Abb. 34: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2002/03

Tab. 5 zeigt die Bilanzierung für die Winterrapssorte „Express“. Durch den geringeren Biomasseertrag und den dementsprechend geringen N-Entzug im Vergleich zu der Sorte „Panther“ errechnen sich die folgenden Stickstoffentzüge und –bilanzen:

Tab. 5: Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapssorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2002/03

	N Düngung [kg N/ha]	Entzug durch Erntegut [kg N/ha]		Saldo [kg N/ha]	
		+ PSM	- PSM	+ PSM	- PSM
Raps-Ganzpflanzenernte EC 85	200	105,8	100,2	+ 94,3	+ 99,8
Zweikultur-Nutzungssystem (ZKN)	200	172,5	167,0	+ 27,5	+ 33,0
Zweikultur-Nutzungssystem mit Düngung (ZKN+N)	240	174,3	168,7	+ 65,7	+ 71,2
Körnerraps EC 92	200	61,5	56,9	+138,4	+143,1

Die Untersuchung der N-Gehalte im Erntegut „Raps“ erbrachten bei beiden Sorten mit 2,83% N signifikant geringere N-Gehalte im früh geernteten Rapskorn (EC 85) im Vergleich zur Ernte zur Totreife mit 3,12%. Im Stroh dagegen lagen die N-Gehalte zu beiden Ernteterminen auf einem Niveau von 0,69% („Express“) bzw. 0,71% N („Panther“).

Ein Unterschied im N-Gehalt zwischen den beiden Sorten konnte zu keinem Termin festgestellt werden. Der N-Gehalt der Sonnenblumen- (1,77% N) und Mais-Ganzpflanzen als Zweitkultur (1,73% N) lag auf gleichem Niveau.

5.3.6 Hebenshausen 2003/04

Abb. 35 zeigt die Stickstoffbilanzen am Standort Hebenshausen im Jahr 2003/04. Alle Systeme wurden mit 200 kg N/ha gedüngt. In der Variante „ZKN+N“ betrug die Düngergabe insgesamt 240 kg N/ha. Der Stickstoffentzug bei der in 2003/04 zusätzlich durchgeführten Ernte der Raps-Ganzpflanzen im EC 80 wurde ebenfalls bilanziert und als „Raps-Ganzpflanzen EC 80“ dargestellt. Der Anbau des Körnerapses resultierte mit 70 kg N/ha (ohne PSM 77 kg N/ha) in einem Bilanzüberschuss. Ein negativer Saldo wurde mit –100 kg N/ha (ohne PSM) bzw. –84 kg N/ha (mit PSM) in der ungedüngten Variante des Zweikultur-Nutzungssystems erzielt. In der gedüngten Variante lagen die Salden aufgrund der höheren Biomasseerträge bei –59 kg N bzw. –45 kg N/ha (ohne PSM). Einen nahezu ausgeglichene N-Bilanz wurde bei der Ernte der Raps-Ganzpflanzen im EC 85 erreicht. Auch die Raps Ganzpflanzenernte ohne PSM im EC 80 resultierte in einer ausgeglichenen N-Bilanz. Der etwas höhere Biomasseertrag bei PSM-Anwendung führte zum gleichen Erntetermin zu einem höheren N-Export aus dem System, woraus eine N-Bilanz von –9 kg N/ha resultierte.

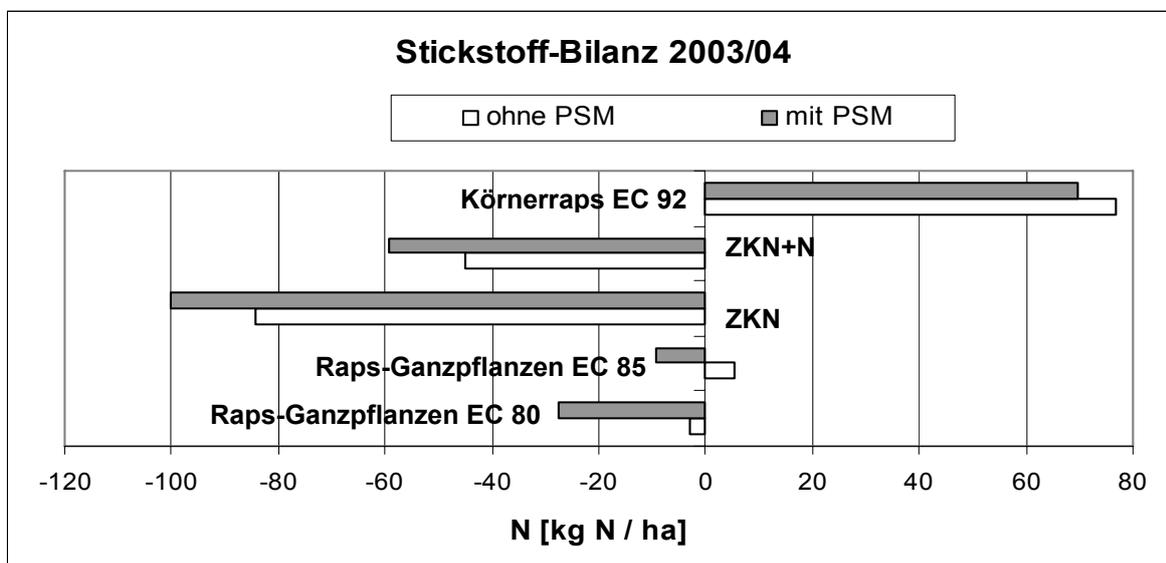


Abb. 35: Stickstoffbilanz bei Körnerraps, im ZKN und bei Raps-Ganzpflanzenernte (Winterrapssorte „Panther“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2003/04

In Tab. 6 sind die Stickstoffentzüge und -salden der Winterrapsorte „Express“ im Jahr 2003/04 dargestellt. Wie bereits in den vorangegangenen Jahren führte der Anbau der Sorte „Express“ im Vergleich zu „Panther“ am gleichen Standort zu geringen Stickstoffentzügen. In der Bilanz wurden demzufolge höhere Überschüsse beim Anbau der Sorte „Express“ errechnet. Zur ersten Zeiternte im EC 80 lag der N-Gehalt im Stroh (1,68%) signifikant höher als bei den beiden späteren Ernteterminen im EC 85 (2,86 bzw. 0,98%) und im EC 92 (2,81% bzw. 0,87% N). Ein Unterschied im N-Gehalt zwischen den beiden Sorten konnte zu keinem Termin festgestellt werden. Der N-Gehalt der Sonnenblumen-Ganzpflanzen dagegen lag mit 1,59% deutlich über dem des Maises (0,94% N).

Tab. 6: Stickstoffbilanz bei Raps-Ganzpflanzenernte, im ZKN und bei Körnerraps (Winterrapsorte „Express“) mit und ohne PSM-Einsatz, Hebenshausen 2003/04

	N Düngung [kg N/ha]	Entzug durch Erntegut [kg N/ha]		Saldo [kg N/ha]	
		+ PSM	- PSM	+ PSM	- PSM
Raps-Ganzpflanzenernte EC 80	200	227,4	202,9	-27,4	-2,92
Raps-Ganzpflanzenernte EC 85	200	220,1	213,0	-20,1	-13,0
Zweikultur-Nutzungssystem (ZKN)	200	312,8	301,8	-112,8	-101,8
Zweikultur-Nutzungssystem mit Düngung (ZKN+N)	240	318,8	307,8	-78,9	-67,9
Körnerraps EC 92	200	119,8	117,0	80,2	83,0

5.4 Vorernteverlust durch Blattfall bei Winterraps

Zum Zeitpunkt der Raps Ganzpflanzenernte im Zweikultur-Nutzungssystem (EC 85) betragen die durch den Blattfall des Raps (Sorte „Panther“) ermittelten Vorernteverluste 0,63 t TM/ha. Durch die Analyse des Pflanzenmaterials wurde ein Stickstoffgehalt von 2,2 % ermittelt (Tab. 7). Damit lässt sich der N-Verlust aus Blattmasse auf 13,8 kg N/ha beziffern.

Tab. 7: Vorernteverluste bei Winterraps („Panther“) durch Blattfall, Hebenshausen 2003/04

	Blattmasse [kg TM/ha]	N in Blattmasse [kg N /ha]
EC 85	631,31	13,80
EC 92	781,20	16,71

Bis zum Zeitpunkt der Totreife im EC 92 stiegen die Vorernteverluste auf 0,78 t TM/ha an. Die Analysenergebnisse lieferten im Vergleich zur Untersuchung der Blattmasse im EC 85 einen geringfügig niedrigeren Stickstoffgehalt. Mit einem N-Gehalt des Pflanzenmaterials von 2,14 % beliefen sich die Verluste aus oberirdisch vegetativ gebundenen Stickstoff auf 17 kg N/ha. Trotz der Differenz von 150 kg trockener Blatt-Biomasse zwischen den beiden Erntezeitpunkten belief sich die Differenz bezüglich des N-Verlustes lediglich auf 2,9 kg N/ha.

5.5 Betriebswirtschaftliche Betrachtungen

Der Plan der EU-Kommission strebt eine Verdopplung des Anteils der regenerativen Energien bis 2010 (gegenüber 2000) an. Bis zum Jahr 2050 soll rund die Hälfte des Energieverbrauchs aus regenerativen Energien stammen. Die Biomasse wird mit 60% den weitaus größten Anteil am Energiemix stellen (STAIB 2003, SONNLEITNER 2004). Wenn dieses ehrgeizige Ziel erreicht werden soll, muss die Biomasse so effizient wie möglich genutzt werden. Die Flächenproduktivität wie auch die Konversionseffizienz, d.h. die Umwandlung zu Strom, Wärme und Kraftstoffen müssen optimiert werden. Dies macht z. B. die Einführung und Verbreitung von innovativen Anbaumethoden für einen flächenschonenden aber auch hocheffizienten Energiepflanzenbau zwingend notwendig. Für die Akzeptanz „neuer“ Anbausysteme durch die Landwirte sind betriebswirtschaftliche Aspekte von besonderer Bedeutung, denn auch ein ökologisch wertvolles „neues“ Anbausystem wird nur Zugang in die landwirtschaftliche Praxis finden, wenn es auch ökonomisch rentabel ist.

Im folgenden sind die Deckungsbeiträge für die Produktionssysteme

- Winterraps-Ganzpflanzensilage (Raps-GPS)
- Körnerrapsanbau (Rapskorn) +/- PSM
- Zweikultur-Nutzungssystem (ZKN)

für die Standorte Lemshausen und Hebenshausen in den Jahren 2001-2004 dargestellt. Dabei wurde zu jeder Variante die monetäre Auswirkung des Einsatzes der PSM berechnet. Da zwischen den Varianten ZKN und ZKN+N (Zweikultur-Nutzungssystem mit zusätzlicher Stickstoffdüngung der Zweitkultur) bzw. ZKN+PSM+N (Zweikultur-Nutzungssystem mit PSM-Anwendung im Raps und zusätzlicher Stickstoffdüngung der Zweitkultur) nur geringe monetäre Unterschiede errechnet wurden, wird auf eine gesonderte Darstellung dieser Varianten verzichtet. Einzelne Ergebnisse sind im Anhang zu finden.

Zur Berechnung des Deckungsbeitrages wurden die Direktkosten, der Arbeitskraftbedarf (gesamt) und die variablen Maschinenkosten (gesamt) von der Gesamtleistung abgezogen. Der Deckungsbeitrag ermöglicht somit einen Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Produktionsverfahren. Zur Berechnung der Marktleistung wurden die folgenden Preise angenommen:

- Rapskorn 20,00 €/dt
- Raps-Ganzpflanzensilage (Kornfraktion) 13,00 €/dt
- Raps-Ganzpflanzensilage (Strohfraktion) 6,50 €/dt
- Mais-Sonnenblumen-Ganzpflanzensilage 7,00 €/dt

Sämtliche Berechnungen beziehen sich auf die Schlaggröße von einem Hektar und sind nach Jahren und Standorten getrennt dargestellt. Eine Übersicht über alle untersuchten Varianten mit einer Aufstellung der Direktkosten, des Arbeitskraftbedarfes und der Maschinenkosten ist im Anhang zu finden.

Auf stillgelegten Flächen, für die ein Anspruch auf Prämienzahlung besteht, ist auch der Anbau von Energiepflanzen möglich. Die „Beihilfe für Energiepflanzen“ von 45 €/ha für nicht stillgelegte Flächen wird für alle landwirtschaftlichen Kulturen (außer Zuckerrüben) gewährt, wenn der Endverwertungszweck dieser Kulturen die Herstellung von Energie, also Kraftstoff bzw. thermische oder elektrische Energie darstellt (ELTROP ET AL 2004). Diese Prämie könnte den Energiepflanzen als Gutschrift angerechnet werden. Sie wird in dieser Rechnung aber nicht berücksichtigt, da die Beihilfe für Energiepflanzen entsprechend gekürzt wird, sobald eine maximale Fläche von 1,5 Millionen Hektar in der EU überschritten wird.

5.5.1 Lemshausen 2001-2004

Abb. 36 zeigt die Deckungsbeiträge, die in den Jahren 2001-2004 beim Anbau der Winterrapsorte „Arthus“ beim Körnerrapsanbau und im Zweikultur-Nutzungssystem mit und ohne PSM-Anwendung am Standort Lemshausen erwirtschaftet wurden.

2001/02 erbrachte die Variante „Rapskorn“ mit 636€/ha (-PSM 573€/ha) den höchsten Deckungsbeitrag. Beim Rapsanbau im ZKN erzielte die ungespritzte Variante mit 509€/ha den höchsten Deckungsbeitrag. Die Variante ZKN+PSM lag bei 361€/ha deutlich darunter.

Im Jahr 2002/03 wurden bei PSM-Anwendung in den Varianten Raps-GPS und „ZKN“ höhere Deckungsbeiträge erzielt als bei PSM-Verzicht. Höchste Deckungsbeiträge errechneten sich im Vergleich der Produktionssysteme im ZKN mit 885€/ha. Bei Verzicht auf Spritzmittel lag der Deckungsbeitrag bei 810€/ha.

2003/04 war der Deckungsbeitrag bei der Produktion von Körnerraps mit 697€/ha (-PSM 727€/ha) im Mittel (+/-PSM) um 36% geringer als bei der Variante „Raps-GPS“ bzw. um 48% geringer als in der Variante ZKN. Bei den Produktionsverfahren Raps-GPS und Rapskorn war der Deckungsbeitrag in den PSM-behandelten Varianten niedriger als bei Verzicht auf PSM. Als günstigste Variante erwies sich ZKN+N mit einem Deckungsbeitrag von 1368€/ha, unterschied sich jedoch nur geringfügig von der Variante ZKN mit 1361€/ha.

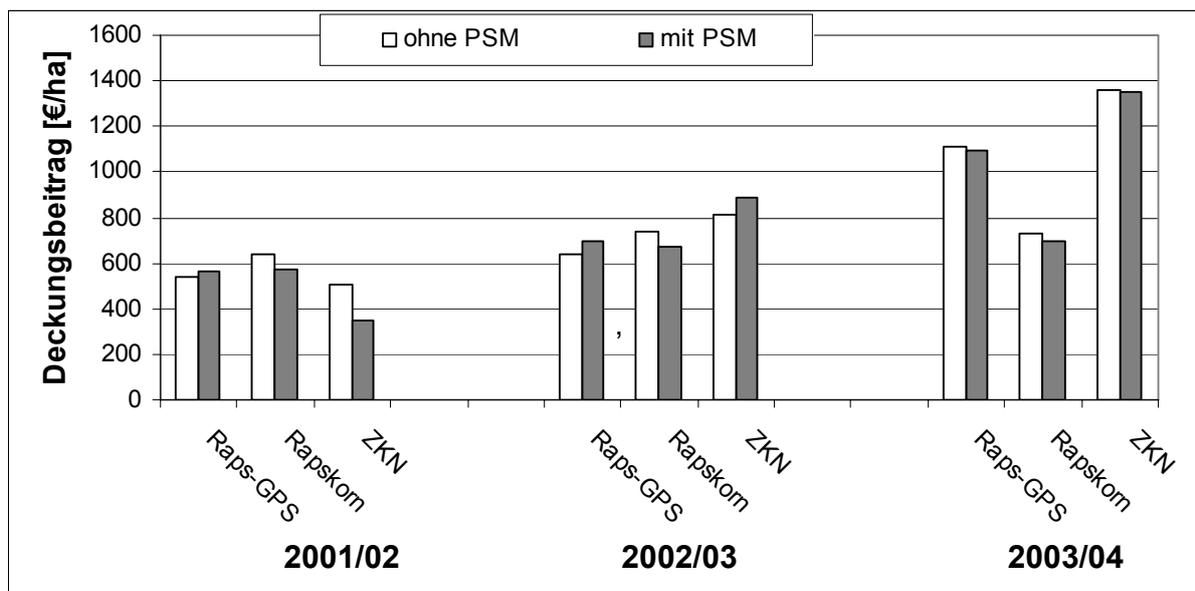


Abb. 36: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapssorte „Arthus“, Lemshausen 2001-2004

5.5.2 Hebenshausen 2001-2004

In Abb. 37 sind die Deckungsbeiträge am Standort Hebenshausen für den Anbau der Winterrapssorte „Panther“ im Vergleich der Produktionssysteme mit und ohne Anwendung von PSM abgebildet. 2001/02 errechnete sich beim Anbau von Raps-GPS mit 558 €/ha (+PSM 408 €/ha) ein höherer Erlös als in allen übrigen Produktionssystemen. Am ungünstigsten stellte sich der Rapsanbau im ZKN mit 366 €/ha (+PSM 327€/ha) dar. Mittlere Erlöse wurden beim Körnerrapsanbau mit 478 €/ha (+PSM 438€/ha) erzielt. Der Verzicht auf PSM führte in allen Varianten zu höheren Deckungsbeiträgen. Auch im Jahr 2002/03 lag der Deckungsbeitrag bei Verzicht auf PSM-Anwendung in allen Produktionssystemen höher als bei PSM-Anwendung. Die höchsten Deckungsbeiträge wurden im ZKN bei Pestizidverzicht mit

694€/ha errechnet. Die übrigen Varianten im ZKN bewegten sich zwischen 630€/ha (ZKN+PSM) und 629€/ha (ZKN+PSM+N). Der Deckungsbeitrag von Raps-GPS (540€/ha) und Körnerraps (555€/ha) ohne PSM lag auf einem Niveau. Bei Anwendung von PSM wurden bei der GPS-Variante 103 €/ha weniger erwirtschaftet.

Im letzten Anbaujahr 2003/04 wurde durch den Körnerrapsanbau mit 696€/ha (+PSM 667€/ha) der geringste DB erzielt. Der Erlös bei ZKN lag mit 1163€/ha (+PSM 1206€/ha) im Mittel (+/-PSM) mehr als doppelt so hoch. Die günstigste Kombination im ZKN stellte mit 1206 €/ha die Variante ZKN+PSM dar. In allen Jahren (Ausnahme: ZKN+PSM 2003/04) konnten bei allen Varianten bei Verzicht auf PSM höhere DB erzielt werden, da die Kosten für Spritzmittel und ihre Ausbringung höher waren als der Mehrertrag an Biomasse durch die PSM-Anwendung.

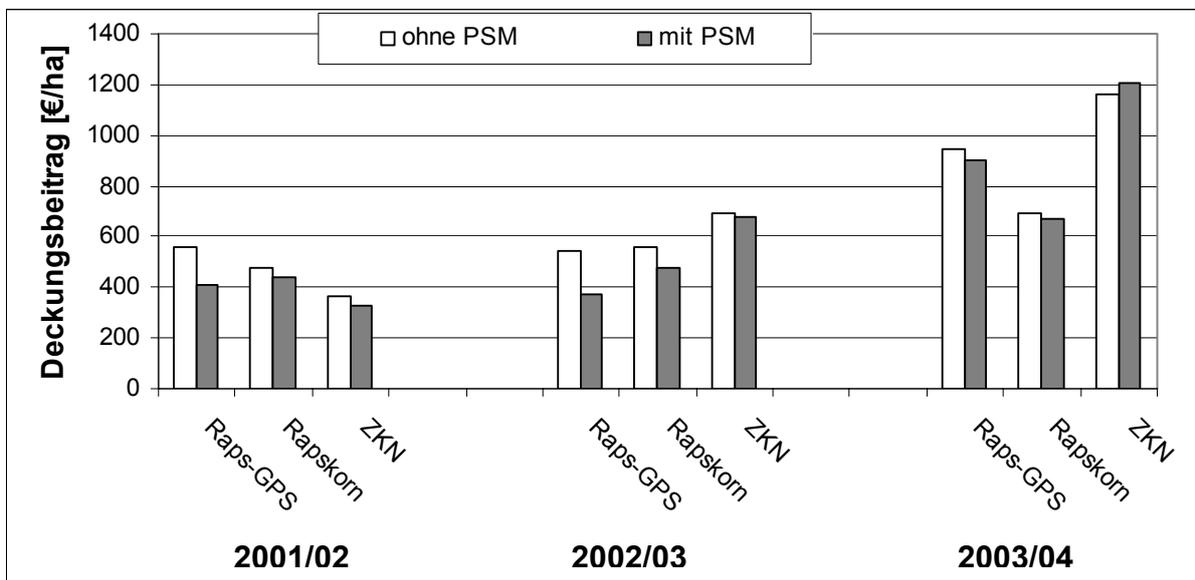


Abb. 37: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapsorte „Panther“, Hebenshausen 2001-2004

In Abb. 38 sind die Deckungsbeiträge am Standort Hebenshausen bei Anbau der Winterrapsorte „Express“ im Vergleich der Produktionssysteme (mit/ohne PSM) abgebildet. Im ersten Jahr wurde in der Variante Raps-GPS mit 499€/ha bei PSM-Verzicht der höchste Deckungsbeitrag erzielt. Bei PSM-Anwendung lag der Deckungsbeitrag mit 426€/ha deutlich darunter. Die PSM-Behandlung hatte bei der Körnerrapsproduktion keinen Einfluss. Die Deckungsbeiträge lagen bei 435€/ha (-PSM) bzw. 432€/ha (+PSM) auf einem Niveau. Die monetär am schlechtesten zu beurteilende Variante stellte ZKN mit 309€/ha (+PSM 251€/ha) dar.

Im Jahr 2002/03 lagen die Erlöse in den PSM-freien Varianten höher als bei PSM-Anwendung. Dabei unterschieden sich die Produktionssysteme Raps-GPS und Rapskorn bei PSM-Verzicht nur unwesentlich. Den höchsten Deckungsbeitrag erbrachte mit 644€/ha der Rapsanbau im ZKN (mit PSM 621€/ha).

Im Jahr 2003/04 erzielte der Körnerrapsanbau mit 641 €/ha (-PSM 689 €/ha) die schlechtesten Ergebnisse. Durch die hohen Biomasseerträge der zweiten Kultur lagen die Deckungsbeiträge bei Raps-GPS mit 861 €/ha (+PSM 801€/ha) deutlich höher. Im ZKN wurde mit 1173€/ha der höchste Deckungsbeitrag bei PSM-Anwendung erzielt (-PSM 1040€/ha). Damit lagen die Erlöse im ZKN im Mittel (+/-PSM) um 40% höher als beim Körnerrapsanbau. Nur im ZKN hatte die PSM-Anwendung einen höheren Deckungsbeitrag zur Folge.

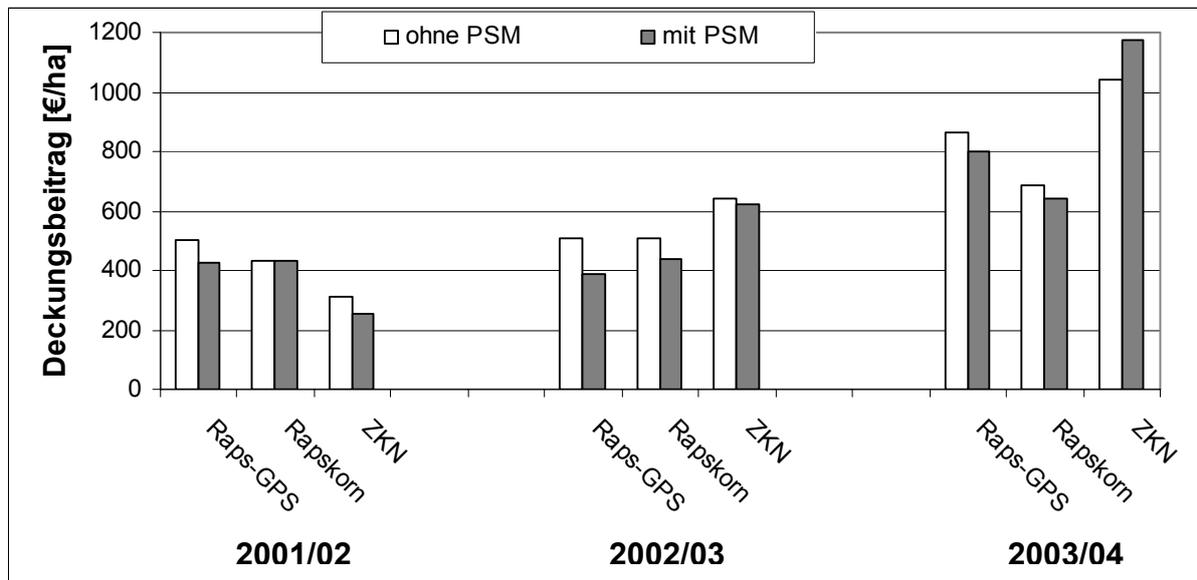


Abb. 38: Deckungsbeiträge bei den Produktionssystemen Raps-GPS, Rapskorn und ZKN mit/ohne PSM-Anwendung mit Winterrapsorte „Express“, Hebenshausen 2001-2004

6 Diskussion

6.1 Biomasseerträge in Abhängigkeit von Produktionssystem und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Die Unkrautunterdrückung gilt als eine der Grundvoraussetzungen für eine erfolgreichen Ackerbau. 80 % der in der Landwirtschaft eingesetzten Pestizide entfallen auf die Stoffgruppe der Herbizide. Beim Rapsanbau wird die Ungras- und Unkrautbekämpfung meist zu den prophylaktischen Standardmaßnahmen gezählt, auch wenn geringe Verunkrautungen aufgrund von Verlusten im aktuellen Anbaujahr nicht bekämpfungswürdig sind.

Insbesondere beim Winterraps könnten viele Unkrautarten aufgrund der Konkurrenzkraft des Rapses problemlos toleriert werden (STEINMANN 2000). Nach WARMHOFF (1991) sind rasch schließende Rapsbestände in der Lage, auch hohe Unkrautdichten zu unterdrücken. Die beim Rapsanbau mit anderen Kulturpflanzen nicht vergleichbare Gefährdung durch Schadpilze und tierische Schaderreger macht zudem den mehrfachen Einsatz von Fungiziden und Insektiziden erforderlich, um das Ernteprodukt „Korn“ zu schützen. Das Auftreten von Schaderregern ist jedoch von großen jahreszeitlichen und regionsspezifischen Unterschieden gekennzeichnet. Für Winterraps ist eine große Spannweite der Ertragswirkungen von Pflanzenschutzmitteln typisch, insbesondere bei Herbizideinsätzen. Der erforderliche Mehrertrag an Körnern von 4-5 dt/ha zur Deckung der Kosten wird allerdings oft nicht erreicht (BARTELS 2003).

Bei der Nutzung von Kulturpflanzen als nachwachsender Rohstoff besteht in besonderem Maß die Forderung einer umweltfreundlichen Anbauweise. Auch beim Biomasseanbau besteht eine Konkurrenzsituation zwischen Kulturpflanze und Unkraut. Diese wirkt sich aber erst dann negativ aus, wenn der Schaden durch das Unkraut höher als der Nutzen ist und sich damit negativ auf den Gesamtbiomasseertrag auswirkt. Ist der gesamte oberirdische Aufwuchs zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage bestimmt, verliert die Konkurrenzsituation zwischen Kulturpflanze und Unkraut an Bedeutung. Energetisch betrachtet sind Kulturpflanze und Unkraut gleichwertig (STÜLPNAGEL 1993), weshalb im Zweikultur-Nutzungssystem die Bezeichnung „Unkraut“ streng betrachtet nicht gerechtfertigt ist. Da der Einfluss der Unkräuter auf das Produkt Kornertrag weitaus höher ist als auf das Produkt Ganzpflanze, ergeben sich bei der Biomasseproduktion höherer Schadensschwellen.

Diese höhere Schadensschwelle ermöglichen eine Reduktion bzw. den Verzicht auf einen Pestizideinsatz (KARPENSTEIN-MACHAN 1997).

Unkräuter liefern den einzigmöglichen autochtonen Beitrag zur pflanzlichen Biodiversität (STEINMANN 2000) und können als Nahrungsgrundlage für Herbivore und zur Bereicherung des Habitats Acker wichtige Funktionen einnehmen. Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass im Zweikultur-Nutzungssystem ein Pestizidverzicht ohne ökonomische Einbußen möglich ist. Ferner gilt zu bedenken, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht nur der Bekämpfung von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern dient, sondern auch Nicht-Ziel-Organismen beeinflusst. Da der Acker kein geschlossenes System darstellt, können Pflanzenschutzmittel durch Auswaschung, Run-Off oder auch in angrenzende Ökosysteme und Umweltkompartimente gelangen (DE MOL 2000). Nach HAAS ET AL. (2001) können Pflanzenschutzmittel durch Diffusionsvorgänge in die organische Substanz bzw. poröse Bestandteile des Bodens eingebaut werden. Die Mineralisierung der organischen Substanz des Bodens kann damit in einer Freisetzung der gebundenen Rückstände und der Einleitung dieser in das Grundwasser resultieren. Eine weitere Unsicherheit bei der Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln besteht darin, dass das durch Pflanzenschutzmitteleinsatz bedingte Risiko standortabhängig ist. In der Praxis sind jedoch viele Standorteigenschaften nicht genau zu bestimmen (DE MOL 2000). Bei Verzicht auf Unkrautregulation ist mit einem Anstieg des Samenvorrates zu rechnen. Dieser wird aber bei geeigneten pflanzenbaulichen Maßnahmen „in weiten Grenzen als tolerierbar“ gewertet. STEINMANN (2000) schlussfolgerte nach dreijährige Untersuchungen zur Restverunkrautung und daraus entstehenden Samenbanken bei Winterraps, dass die Entwicklung der Ausgangsverunkrautung „durch keine Tendenzen gekennzeichnet war, die Anlass zur Beunruhigung hinsichtlich zukünftiger Regulationen geben“. Durch die vorgezogene Ernte im Zweikultur-Nutzungssystem sind die mitgeernteten Unkräuter zum Erntetermin meist noch nicht in der Samenreife. Damit ist eine Vermehrung des Samenvorrates im Boden nicht gegeben.

Eine besondere Bedeutung erlangt der pestizidfreie Winterrapsanbau aus der Sicht des Trinkwasserschutzes. Zur Zeit werden in Deutschland ca. 35.000 t/Jahr an PSM-Wirkstoffen in der Landwirtschaft eingesetzt, wovon etwa 0,1 % über unterschiedliche Eintragspfade in die Oberflächengewässer gelangen. Laut Trinkwasserverordnung liegt der Grenzwert für PSM-Einzelwirkstoffe pauschal bei 0,1 µg/l (mit strengeren

Grenzwerten für einzelne Wirkstoffe) und in der Summe bei 0,5 µg/l. Akute und chronische Schädigungen bei aquatischen Biozönosen können bei weit geringeren Konzentrationen als 1 µg/l auftreten. Durch die Anreicherung in der Nahrungskette (über Plankton, Kleintiere und Speisefische) können lipophile PSM auch den Menschen erreichen (SPITZER ET AL 2002). Durch Pestizidverzicht wird der potentielle Eintrag toxischer Verbindungen in das Grundwasser vermieden. Ferner kann eine Annäherung an natürliche Ökosysteme geschaffen werden, indem trotz Beibehaltung ökonomischer Zielsetzungen eine höhere Stabilität des Agrarökosystems mit nur geringer Fremdregulation geschaffen wird.

Nach KARPENSTEIN-MACHAN (2005) kann im Biomasseanbau beim Anbau von Wintergetreide auf den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln verzichtet werden. Diese Aussage kann durch die eigenen Untersuchungen auch auf den Winterrapsanbau ausgeweitet werden. Im eigenen Versuch wurde zu Vergleichszwecken der Ertrag von Raps-Ganzpflanzen und Rapskorn bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Verzicht darauf erhoben. Tab. 8 zeigt die gemittelten Biomasseerträge mit und ohne PSM-Anwendung im Zweikultur-Nutzungssystem über drei Versuchsjahre. Dabei gilt zu bedenken, dass im Jahr 2001/02 mit der Zweitkultur Sonnenblumen nur äußerst geringe Mengen an Biomassen erntbar waren (s. Kap. 5.1). Daraus folgt, dass im Mittel der Jahre die Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem geringer ausgefallen sind, als im langjährigen Durchschnitt zu erwarten wäre.

Tab. 8: Gesamt- Biomasseerträge im Zweikultur-Nutzungssystem [t TM/ha] mit und ohne PSM-Anwendung, Lemshausen und Hebenshausen 2001-04

	Lemshausen		Hebenshausen			
	Winterraps Arthus [t TM/ha]		Winterraps Panther [t TM/ha]		Winterraps Express [t TM/ha]	
	+ PSM	- PSM	+ PSM	- PSM	+ PSM	- PSM
2001/ 02	12,8	12,4	9,8	9,3	8,87	8,4
2002/ 03	20,7	19,3	15,9	15,2	14,8	14,3
2003/ 04	25,0	23,5	22,2	21,2	19,2	18,7
Ø 2001-2004	19,5	18,4	15,9	15,3	14,29	13,8

Bei Betrachtung der Raps-Ganzpflanzen lagen die Erträge tendenziell geringfügig unter denen der behandelten Parzellen. Ein signifikant geringerer Gesamt-Biomasseertrag aus Korn- und Strohfraktion konnte nur im Jahr 2003/04 am Standort Hebenshausen konstatiert werden.

Dies bestätigt die These: Der Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem und die Nutzung der Biomasse in einer Biogasanlage ist im Vergleich zum herkömmlichen Winterrapsanbau rentabel.

In allen Jahren erbrachten die Hybridsorten „Arthus“ und „Panther“ höhere Korn- und Stroherträge als die Liniensorte „Express“. Bei den Hybriden ist neben einer höheren Ertragsstabilität aufgrund des Heterosiseffekts auch eine höhere Ertragsleistung zu erwarten (SAUERMAN 2002, BUDEWIG ET AL. 2002). CRAMER 1990 berichtet von möglichen Mehrerträgen beim Anbau von Rapshybriden bis zu 30 % im Vergleich zu Liniensorten. BUDEWIG ET AL. (2002) zeigten in dreijährigen Anbauversuchen auf 45 Standorten, dass Hybridsorten sowohl im Merkmal Korn- als auch Ölertrag den frei abblühenden Sorten signifikant überlegen waren. Dies wurde auf einen geringen Beitrag der Hybriden an eine Genotyp-Umwelt-Interaktion zurückgeführt, der in einer hohen Ertragssicherheit resultiert. Auch die Ergebnisse der Bundessortenversuche „Winterraps zur Körnernutzung“ zeigen durchgängig höhere Erträge beim Anbau von Hybriden im Vergleich zu Liniensorten (LWK HANNOVER 2003, 2004, 2005). In vorliegender Untersuchung stellte sich deutlich heraus, dass sich der Hybrideffekt bei Winterraps nicht nur auf den Kornertrag, sondern auf die Gesamtbiomasse auswirkt, so dass für die energetische Nutzung Raps-Hybridsorten den Liniensorten vorzuziehen sind .

Einmalig wurden im Versuchsjahr 2003/04 die Biomasse-Erträge der Raps-Ganzpflanzen zu Beginn der Reife im EC 80 erhoben. Diese einmalige Erhebung kann lediglich der Orientierung dienen. An beiden Standorten waren in den PSM-behandelten Parzellen tendenziell höhere Ganzpflanzenerträge als im EC 85 zu beobachten. Aufgrund des deutlich geringeren Kornertrages im EC 80 ist zu Zwecken der energetischen Nutzung jedoch die Ernte im EC 85 vorzuziehen. Bereits aus der Arbeit von SCHWERIN, VON (2000) zeigten die Ergebnisse dreijähriger Untersuchungen zur Erhöhung der Flächenproduktivität bei Raps im Entwicklungsstadium EC 85 die höchsten Biomasse-Erträge in Verbindung mit einem Ölgehalt, der zu 80% dem des reifen Kornes entsprach.

In 2002/03 und 2003/04 erfolgte eine zusätzliche Düngung der Zweitkultur mit 40 kg N. Tab. 9 zeigt die Erträge der Mais- und Sonnenblumen-Ganzpflanzen, die im Gemenge [t TM/ha] in den Versuchsjahren 2002/03 und 2003/04 erwirtschaftet wurden.

Tab. 9: Biomasseerträge der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen [t TM/ha] mit und ohne Stickstoffdüngung, Lemshausen und Hebenshausen 2002-04

Lemshausen: Biomasseerträge Zweitkultur [t TM/ha]				
	Mais		Sonnenblumen	
	+ N-Düngung	- N-Düngung	+ N-Düngung	- N-Düngung
2002/03	2,89	2,81	4,83	4,63
2003/04	6,25	5,32	9,13	8,64
Hebenshausen: Biomasseerträge Zweitkultur [t TM/ha]				
	Mais		Sonnenblumen	
	+ N-Düngung	- N-Düngung	+ N-Düngung	- N-Düngung
2002/03	2,44	2,34	3,87	3,77
2003/04	4,36	4,26	5,07	4,91

Die Düngergabe schlug sich kaum auf den Ertrag der Ganzpflanzen nieder. Nur im letzten Jahr konnte in Lemshausen ein signifikant höherer Biomasseertrag beim Mais im Gegensatz zur ungedüngten Variante festgestellt werden. Beim Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem sollte daher auf eine zusätzliche Düngung der zweiten Kultur verzichtet werden.

Der Vergleich der Erträge von Mais und Sonnenblumen zeigte in allen Jahren ein bis zu 60 % signifikant höheren Ertrag bei den Sonnenblumen. Bei Mais ist der Blattapparat zur Zeit der höchsten Strahlungsintensität (Mitte Juni bis Anfang August) noch nicht ausgebildet. Vielmehr nimmt nach Abschluss seines vegetativen Wachstums die Lichtintensität bereits wieder ab (WANG 2001). PASDA ET AL (2000) dokumentierten die besondere Eignung von Sonnenblumen aufgrund der großflächigen Blattspreiten und deren heliotropher Ausrichtung das Angebot an photosynthetisch aktiver Strahlung zu nutzen. Sonnenblumen zeichnen sich durch die Besonderheit aus, in der Jugendentwicklung eine sehr hohe CO₂-Bindung und demzufolge hohe Photosyntheseleistung zu realisieren, die der einer C₄-Pflanze entspricht (HUGGER 1989; DIEPENBROCK ET AL. 1995). Ferner entwickelt die Sonnenblume rasch eine starke Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern und unterdrückt diese bereits im 5-Blatt-Stadium sehr wirkungsvoll (HUGGER 1989). Im Gegensatz dazu reagiert der Mais im Jugendstadium sehr empfindlich auf Konkurrenz (GRAß 2003). Möglicherweise resultieren die höheren Erträge der Sonnenblumen-

Ganzpflanzen beim Anbau in alternierenden Reihen mit Mais in synergetischen Effekten zwischen den Kulturen. In Hinblick auf Synergieeffekte von Mais und Sonnenblumen im Misanbau besteht weiterer Forschungsbedarf.

Im eigenen Versuch fand keine Pestizidbehandlung in der Zweitkultur statt. In Versuchen zum Zweikultur-Nutzungssystem von BUTTLAR, VON (1997) mit Sonnenblumen-Ganzpflanzen nach Roggen und Mais-Ganzpflanzen nach Roggen/Erbsen-Gemenge wurden in PSM-behandelten Parzellen nur geringe Unterschiede im Gesamt-Biomasseertrag im Vergleich zu unbehandelten Parzellen festgestellt. Geringere Kulturpflanzenerträge wurden durch einen entsprechend höheren Wildpflanzenertrag ausgeglichen.

6.2 Stickstoff

6.2.1 N_{\min} -Dynamik

Zur Beschreibung des Gehaltes an mineralischem Bodenstickstoff wird der N_{\min} -Wert verwendet, der in dem vorgestellten Versuch während der Vegetationsperiode in etwa monatlichen Abständen ermittelt wurde. Da unter mitteleuropäischen Klimabedingungen im Winterhalbjahr große Mengen des Niederschlages versickern, gilt der Herbst- N_{\min} -Wert als ein Maßstab für die auswaschungsgefährdete Menge an mineralischem Stickstoff. Aus dem Herbst- N_{\min} -Wert und der Sickerwasserrate kann die potentielle Nitrat-Anlieferung an das Grundwasser abgeschätzt werden (NLÖ 2001). Für eine grundwasserschonende Landwirtschaft sollte der Herbst- N_{\min} -Wert nach Trinkwasserschutzverordnung 50 kg N/ha nicht überschreiten (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2002).

An beiden Versuchsstandorten unterlag die N_{\min} -Dynamik einem typischen Jahresverlauf. Durch die Düngung im Frühjahr befinden sich zu Vegetationsbeginn bereits relativ hohe Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden. Durch warme Temperaturen und ausreichende Niederschläge erfolgt zudem eine gesteigerte Mineralisationsleistung. In den Folgemonaten nahm der Stickstoffgehalt im Boden durch pflanzliche Entzüge in Richtung Erntezeitpunkt des Rapses (Anfang-Ende Juli) kontinuierlich ab. Im Spätherbst stieg der N_{\min} -Gehalt wieder an, da zu dieser Zeit kein Stickstoffentzug durch die Feldfrüchte mehr stattfindet, Erntereste mineralisiert

und ferner durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die Wiederbefeuchtung des Bodens Mineralisationsprozesse gefördert werden.

Der Vergleich der verschiedenen, in etwa monatlichen Abständen beprobten Versuchsvarianten ergab zwischen den Varianten kaum signifikante Differenzen bezüglich der N_{\min} -Gehalte in den einzelnen Bodenschichten zu einem Beprobungszeitpunkt. Signifikante Differenzen im N_{\min} -Gehalt des Bodens zwischen den Produktionssystemen wurden nur im Versuchsjahr 2002/03 am Standort Lemshausen in 0-30 cm Bodentiefe gemessen. Nur in diesem Jahr überschritten die N_{\min} -Gehalte den kritischen Grenzwert von 50 kg N/ha, allerdings nicht in der Körnerraps-Variante. Unter den Körnerraps-Varianten wurden mit durchschnittlich 20 kg N/ha die signifikant niedrigsten N_{\min} -Werte aller Varianten gemessen, die signifikant höchsten mit durchschnittlich 80 kg N/ha in der gedüngten Variante des Zweikultur-Nutzungssystems. In der ungedüngten Variante des ZKN lagen die N_{\min} -Gehalte ca. 20 kg niedriger. Möglicherweise resultierte die zusätzliche mineralische N-Düngung in den ZKN+N-Parzellen in einem durch den sog. Priming-Effekt verursachtem Mineralisationsschub. KUZYAKOV ET AL. (2002) wiesen nach, dass nach Stimulation der Bodenorganismen durch Düngung die organische Bodensubstanz schneller abgebaut und damit organisch gebundener Stickstoff freigesetzt werden kann. SCHELLER (1993) berichtet von der sinkenden Ausnutzung des Mineraldünger-N zugunsten von nachgeliefertem Bodenstickstoff und Priming-Effekten durch Mineralisierung bis zu 36 %. Nach DAHLENBERG ET AL. (1989) tritt der Priming-Effekt sofort bzw. sehr kurz nach der Düngung auf.

In den Parzellen mit Raps-Ganzpflanzen-Ernte im EC 85 wurden in einzelnen Jahren z. T. erheblich höhere N_{\min} -Gehalte gemessen als in den Körnerrapsparzellen. Dieser bekannte Effekt resultiert aus der Stimulation der Mineralisation durch die Bodenbearbeitung (GEROWITT ET AL. 1997; VEENKER ET AL. 2003). In Versuchen von LICKFETT (1997) und BEHRENS (2002) wurden die höchsten N_{\min} -Werte nach Raps nicht direkt nach der Ernte gemessen. Vielmehr erfolgte in den folgenden 4-6 Wochen noch mal ein Anstieg der N_{\min} -Werte um weitere 80 kg N/ha, für den die Mineralisierung von Ernterückständen verantwortlich gemacht wird. Es ist anzunehmen, dass diese Prozesse zeitlich verfrüht auch bei der frühen Rapsernte im EC 85 auftraten.

An beiden Standorten waren bei der N_{\min} -Beprobung im Januar des Folgejahres höhere Werte als am Jahresende, verbunden mit einer Nitratverlagerung in tiefere Bodenschichten (60-90 cm) zu beobachten. LICKFETT ET AL. (1997) berichten von einem Maximum der N_{\min} -N-Gehalte nach Winterraps unter dem folgendem Winterweizen im November. Da noch bei 1°C Mineralisationsprozesse stattfinden (AUFHAMMER ET AL 1996), kann auch im Winter eine Freisetzung von pflanzenverfügbarem N erfolgen. Nach Raps wurde auf den Versuchspartellen der in der Fruchtfolge übliche Winterweizen gesät. Der Weizen kann im Herbst nur geringe N-Mengen von 10-15 kg/ha aufnehmen (LICKFETT ET AL. 1997; VEENKER ET AL. 2003). Es ist anzunehmen, dass in den Monaten Dezember und Januar kein nennenswerter Entzug durch den in der Vegetationsruhe befindlichen Winterweizen erfolgte und die Menge an freigesetztem N zu einer mit dem Sickerwasserstrom erfolgenden N-Verlagerung führte.

Zahlreiche Untersuchungen belegen nach Rapsanbau die höchste N-Belastung aller flächendominanten Fruchtarten (ANTONY 1994; COOK ET AL 1995; TEIWES ET AL. 1996; GÄTH 1997; SCHEFFER ET AL. 1997, LICKFETT ET AL. 1994; LICKFETT 1997,2000; HEYN 2000; BEHRENS 2002; KIEFER 2000; KETELSEN ET AL. 2003; VEENKER ET AL. 2003; HENKE ET AL. 2005), die sich aus dem relativ hohen Stickstoffbedarf des Rapses in Verbindung mit der geringen N-Abfuhr durch das Erntegut ergibt. In vorliegender Untersuchung lagen die gemessenen N_{\min} -Werte unter den Körnerrapsparzellen wie auch in den anderen Versuchsvarianten zu allen Beprobungszeitpunkten unter dem kritischen Grenzwert von 50 kg N_{\min} -N/ha (Ausnahme Lemshausen 2002/03). Dabei ist auffällig, dass bei den vorliegenden Bodenuntersuchungen keine Unterschiede im N_{\min} -Gehalt zwischen den Varianten vorzufinden waren, wie sie nach Abfuhr der gesamten oberirdischen Biomasse im Vergleich zur Körnerrapsernte hätte erwartet werden können. Eine Erklärung dafür könnte die frühzeitige Translokation von Stickstoff in die Wurzel des Rapses darstellen (s. Kap. 6.2.2).

Einerseits zeichnet sich Winterraps durch eine niedrige ertragsphysiologische N-Ausnutzung aus (CRAMER 1990; LICKFETT 1997), andererseits könnten zum Zeitpunkt der Ernte bereits massive Vorernteverluste aufgetreten sein. Die Untersuchung der Vorernteverluste durch Blattfall bei Winterraps ergab, dass der durch Seneszenz bedingte Blattfall bei Raps zum Zeitpunkt der Ganzpflanzenernte (EC 85) bei 630 kg Trockenmasse lag. Bis zur Totreife (EC 92) erhöhte sich die nicht erntbare Biomasse auf 781 kg /ha. Die diesbezüglichen oberirdisch gebundenen N-Verluste betragen im

EC 85 14 kg N/ha und erhöhten sich bis zum EC 92 auf 17 kg N/ha. Nach Untersuchungen von ANIOL (1993), SCHJOERRING ET AL (1995) und BEHRENS (2002), die den Blattfall bei Winterraps während der reproduktiven Phase zwischen Blühbeginn und Tотреife maßen, beliefen sich die diesbezüglichen Vorernteverluste auf 18 bis 21 kg N/ha. Da bereits zum frühen Termin der Raps-Ganzpflanzenernte ein erheblicher Verlust an nicht erntbarer Biomasse durch den Blattfall eintritt, sich die diesbezüglich bedingten N-Verluste zur frühen Ganzpflanzen- und konventionellen Körnerrapsernte jedoch kaum unterscheiden, ist die **Hypothese: „durch die frühe Ernte des Rapses im EC 85 wird eine N-Anreicherung durch leicht zersetzbare Pflanzenmaterial bzw. Vorernteverluste vermieden“ nicht zutreffend.** Bereits bis zum EC 85 treten erhebliche Verluste durch Blattfall auf. Es ist jedoch auszuschließen, dass die durch den Blattfall verursachten N-Hinterlassenschaften einen Mineralisations Schub und infolgedessen einen Anstieg des N_{\min} -Gehaltes in den Folgemonaten verursachen können, dafür waren die N-Mengen zu gering.

HAAS ET AL. (2001) berichten über die geringe Aussagekraft von N_{\min} -Messungen während der Vegetationszeit, da bei etablierten Beständen und hinreichender Durchwurzelung i. d. R. nur geringe Gehalte zu erwarten sind. Bei hinreichend feuchten Bodenbedingungen werden freie Stickstoffmengen sofort durch die Pflanzen aufgenommen. Hohe Sommer- oder Herbstniederschläge können in Verbindung mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität bedingen, dass die Sickerwasserbildung und damit auch die N-Auswaschung lange vor dem Ende der Mineralisationsperiode beginnt. Bei einer frühen Beprobung ist die Mineralisation der Ernterückstände noch nicht abgeschlossen, bei einem späten Beprobungstermin können bereits Nitratverluste mit dem Sickerwasser aufgetreten sein. Die Beprobung würde in beiden Fällen zu verfälschten und damit zu niedrigen N_{\min} -Werten führen (NLÖ 2001, 2003; PAMPERIN 2002). Stark vom langjährigen Mittel abweichende Niederschläge waren im Versuchsjahr 2001/02 zu beobachten. Hier lag die Gesamtniederschlagsmenge 25-30% höher als im langjährigen Mittel, was zu deutlichen Nitrat-Vorab-Verlusten hätte führen können. Die untersuchten Standorte (Ausnahme Lemshausen 2003/04) zeichnen sich jedoch durch eine sehr hohe Feldkapazität (FK) von 320-520 mm/m FK in Kombination mit einer hohen nutzbaren FK (nFK) aus. Die FK stellt auch eine Maßzahl für die Fähigkeit des Bodens dar, die Verlagerung von in Wasser gelösten Stoffen (z. B. Nitrat) in den Untergrund zu verhindern (AHL ET AL. 1996). Daher ist anzunehmen, dass eine Nitrat auswaschung vor dem Herbst nicht

aufgetreten ist und eine Nitrat-Verlagerung erst mit der Wiederauffüllung des Bodenvorrates erfolgte. Eine Ausnahme stellt der Standort Lehmshausen 2003/04 dar. Aufgrund der hier vorherrschenden geringen FK (180 mm/m) und nFK (86 mm/m) es ist wahrscheinlich, dass der im Boden enthaltene Stickstoff kaum festgehalten, sondern zum Teil bereits mit den Niederschlägen während der Vegetationsperiode ausgewaschen wurde. Besonders in den Monaten Mai, Juli und August 2004 lagen die monatlichen Niederschlagsmengen bis zu einem Drittel über dem langjährigen Mittel (vergl. Kap. 3.1.5).

Die Herbst- N_{\min} -Methode gilt derzeit als die wesentliche Methode zur nahezu flächendeckenden Bewertung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Hinblick auf mögliche Nitratreinträge in das Grundwasser, da sie hochmobil, sehr flexibel und kostengünstig ist. Andere Verfahren wie die Saugkerzenmethode oder Tiefenbohrungen sind in der Regel sehr viel aufwändiger und teuer. Ermittelte N_{\min} -Mengen können jedoch nur Momentaufnahmen darstellen, weil nur die zum Zeitpunkt der Probennahme vorhandene Menge an leicht pflanzenverfügbarem und damit potentiell auswaschungsgefährdetem Stickstoff gemessen wird (NLÖ 2003). KIEFER (2004) dokumentierte die Herbst-Entwicklung von Nitratstickstoffgehalten in einer Winterraps-Winterweizen-Fruchtfolge. Während bei der ersten Kontrolle der Fläche Anfang Oktober bei weitgehender Wassersättigung ein Nitratstickstoffgehalt von 86 kg N/ha gemessen wurde, war der Wert Ende Oktober bereits auf 57 kg N/ha abgesunken. Auch EULENSTEIN (2004) berichtet über die geringe Eignung von Einzelwerten bei N_{\min} -Bodenuntersuchungen im Herbst aufgrund der Abhängigkeit des N-Umsatzes von der langjährigen Bewirtschaftung und der aktuellen Jahreswitterung. LICKFETT ET AL. (1997) verglichen N_{\min} -Gehalte unter Winterraps bei verminderter und ordnungsgemäßer Düngung (\emptyset 186 kg N/ha/Jahr) im Jahresverlauf und fanden nur in wenigen Fällen verminderte Rest- N_{\min} -Werte zur Ernte. Daraus wurde gefolgert, dass die Bestimmung des sich zur Ernte im Boden befindlichen Nitratrestes lediglich dazu dienen kann, erhebliche Überschreitungen einer ordnungsgemäßen N-Düngung zu erfassen.

Die Probennahme für den Herbst- N_{\min} -Wert sollte zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, an dem aufgrund sinkender Temperaturen nur noch eine geringe Mineralisation auftritt, aber noch kein Sickerwasser aus der Beprobungstiefe von 0-90 cm ausgetreten ist. Dieser „optimale Beprobungszeitpunkt“ zwischen Anfang Oktober und Ende November kann jedoch auch kleinräumig um mehrere Wochen

variieren und ist daher schlagspezifisch schwer zu bestimmen (NLÖ 2003). Bei zu früher Probennahme besteht die Gefahr, dass der N_{\min} -Wert wegen der noch erheblichen Mineralisation aus Ernteresten und Boden unterschätzt wird. Bei einem zu späten Termin kann bereits eine Verlagerung des N_{\min} -Vorrats in tiefere, nicht beprobte Bodenschichten erfolgt sein (MÜLLER ET AL 2000).

Ein weiterer Nachteil der N_{\min} -Methode stellt die hohe räumliche Variabilität dar, die durch diverse Untersuchungen bestätigt wurde (STENGER 1996). Ergebnisse von BAUMGÄRTEL (1993) dokumentierten nach Anbau von Winterraps bei einer Düngungsintensität von 240 kg N/ha Ernte- N_{\min} -Werte zwischen 20 und 100 kg N/ha auf einem Schlag. Ferner erlauben nur schwer quantifizierbare Mineralisierungs- und Immobilisierungsprozesse keine zuverlässige Interpretation der N_{\min} -Bodenwerte (SCHEFFER 1994). Ebenfalls sind N_{\min} -Werte direkt nach der Ernte wenig aussagekräftig, da sie der Mikroorganismenaktivität in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und -temperatur, Ernteresten und Bodenbearbeitung unterliegen (HAAS ET AL. 2001). Erfahrungen aus anderen Projekten (LICKFETT 1997; NLÖ 2000, KETELSEN ET AL 2003) zeigen auf, dass witterungsbedingte und standortbedingte Einflüsse die Bewirtschaftungseinflüsse überlagern können. Zum Beispiel sind unter Flächen mit langjähriger intensiver Bodennutzung höhere N_{\min} -Gehalte festzustellen, als auf Flächen, die sich nicht in landwirtschaftlicher Nutzung befanden, da die Bodennutzung mit einer Krümmenvertiefung, erhöhten Humusgehalten und damit über ein erhöhtes N- Mineralisierungspotential verbunden ist (SCHEFFER 1997; PAMPERIN ET AL. 2002). Ferner kann eine deutliche Abweichung des Herbst- N_{\min} -Gehaltes vom tatsächlichen Auswaschungsverlust bestehen. Nach BOUWER ET AL 1997) bewegte sich der N_{\min} -Wert zum Teil zwischen 20 und 60% der tatsächlich verlagerten Nitrat-N-Menge. Niedrige Nitratstickstoffrestgehalte im Herbst belegen somit nicht automatisch eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung. BISCHOFF ET AL. (1999) und KIEFER (2004) präferieren für eine aussagekräftige Bestimmung der Nitratauswaschung über Winter N_{\min} -Beprobungen in Abständen von höchstens zwei Wochen. Dies ist jedoch aufgrund des hohen zeitlichen und finanziellen Aufwandes meist nicht praktikabel. Eine weitere Schwierigkeit stellt die N_{\min} -Beprobung nach starken Niederschlägen dar, da bei mangelnder Befahr- bzw. Begehrbarkeit des Bodens der optimale Beprobungszeitpunkt nicht eingehalten werden kann. Nach PAMPERIN (2002) sind gesicherte Aussagen zu mittleren

Nitratausträgen erst nach langjährigen Messungen von mehr als sechs Jahren möglich.

Aus vorangestellten Gründen ist die N_{\min} -Methode mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet, die ihre unbedingte Aussagekraft in Frage stellen. Eine Bewertung der nutzungsabhängigen Nitratausträge sollte deshalb möglichst auf der Grundlage von mehreren Methoden erfolgen, weshalb in der vorliegenden Arbeit außer der N_{\min} -Methode zusätzlich Stickstoff-Flächenbilanzen erstellt wurden.

In eigenen Untersuchungen konnte kein Zusammenhang zwischen dem Herbst- N_{\min} -Wert und den N-Schlagbilanzen festgestellt werden. Auch andere Untersuchungen berichten über fehlende Zusammenhänge zwischen N_{\min} -Gehalt und N-Salden nach dem Anbau von Winterraps (ANTONY ET AL. 1992; DRECHSLER 1992; LICKFETT 1997, KETELSEN ET AL. 2003). Abb. 39 zeigt exemplarisch die nicht existente Korrelation beim Anbau von Winterraps an 20 unterschiedlichen Standorten in Niedersachsen (Bereitstellung der Daten von GERIES 2004).

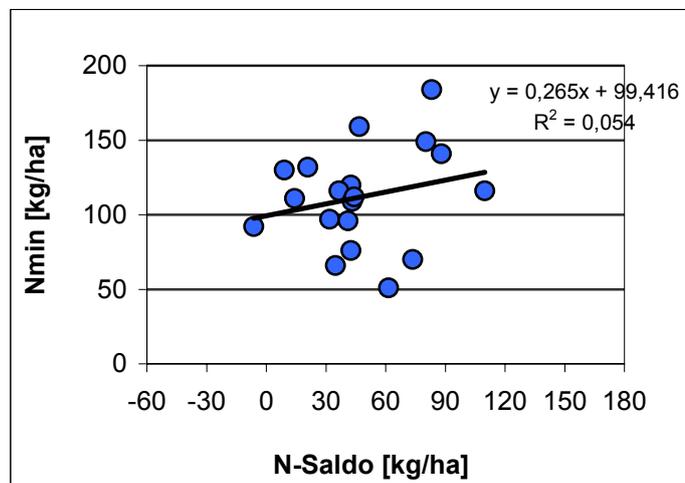


Abb. 39: Korrelation zwischen N_{\min} und N-Bilanzsaldo beim Anbau von Winterraps (Quelle: GERIES 2004)

Auch in Untersuchungen von SAUERBECK ET AL (1988) und LAMMEL ET AL (1988) wurde speziell auf Lößböden kein Zusammenhang zwischen der N-Düngungshöhe bzw. dem Bilanzüberschuss, den N_{\min} -Werten und dem N-Austrag festgestellt. LAMMEL (1994) wies auf geringe N_{\min} -Unterschiede in Lehmböden im Gegensatz zu Sandböden hin und folgert, dass die Höhe der N-Auswaschung weit stärker von der Bodenart als von der aktuellen Düngung abhängt.

6.2.2 N-Bilanzierung

Eine Bilanzierung ermöglicht die rechnerische Erfassung von Nährstoffüberschüssen oder -defiziten und weist auf eine Anreicherungs-, Gleichgewichts- oder Verarmungssituation des betrachteten Standortes hin. Der Saldo einer einfachen Stickstoffbilanz (Nährstoffzufuhr minus Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut) zeigt die Nährstoffmenge an, die langfristig mit dem Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen werden kann. Eine Anrechnung möglicher Nährstoffeinträge über Deposition bzw. gasförmige Verluste erfolgt bei der einfachen Bilanz nicht. Mit Hilfe der Bilanzmethode wird das Ziel verfolgt, die Nitratauswaschung im Laufe der Fruchtfolge auf ein Minimum zu begrenzen. Wesentliche Kenngröße ist der standortspezifische Wert für eine tolerierbare Stickstoffauswaschung, bei der 50 mg NO₃/l Sickerwasser nicht überschritten werden dürfen. Grundsätzlich erhöht sich wegen des Verdünnungseffektes mit einer steigenden Sickerwassermenge auch die Toleranzgrenze des auswaschbaren Stickstoffs. Um den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg NO₃/l im Sickerwasser einzuhalten, beträgt bei einer Sickerwasserspende von 50 mm/Jahr das tolerierbare N-Auswaschungspotential 6 kg N/ha. Bei einer jährlichen Sickerwassermenge von 350 mm/a beläuft sich das tolerierbare N-Auswaschungspotential auf 40 kg N/ha (FELDWISCH ET AL. 1998).

Auf beiden Standorten zeigte die Stickstoff-Bilanzierung beim Anbau von Körnerraps über drei Jahre hohe Bilanzüberschüsse (s. Tab. 22). In Hebenshausen lagen die Überschüsse mit durchschnittlich +94 kg N/ha (Mittel über mit/ohne PSM-Anwendung) deutlich höher als am Standort Lemshausen mit durchschnittlich 65 kg N/ha (mit/ohne PSM-Anwendung). Die erwartungsgemäß hohen Überschüsse resultieren aus dem relativ hohen Stickstoffbedarf der Rapspflanze und der geringen Abfuhr mit dem eigentlichen Erntegut Rapskorn. Ein positiver Bilanzsaldo ist daher üblich (ANTHONY 1994; LICKFETT 2000; BEHRENS 2002). Gemäß der Annahme, dass mineralisch vorliegender Stickstoff am Ende der Vegetationsperiode in beträchtlichem Umfang ausgewaschen wird, besteht im System der Kornproduktion die Gefahr einer erheblichen Grundwasserbelastung. Die wesentlich geringeren Bilanzüberschüsse in Lemshausen resultieren aus den höheren Kornerträgen im Vergleich zum Versuchsstandort Hebenshausen. Trotzdem überschreiten sie die Grenze von 50 kg N/ha, die nach UBA (1997) als maximal tolerabel gilt.

Die im Folgenden diskutierten N-Salden wurden für die beiden Standorte über drei Jahre (in Hebenshausen über zwei Winterrapsorten) gemittelt, um einen Vergleich der Produktionssysteme zu ermöglichen. In Tab. 10 sind die gemittelten Salden wiedergegeben:

Tab. 10: Stickstoff-Saldo in verschiedenen Produktionssystemen mit und ohne PSM-Einsatz, Lemshausen und Hebenshausen 2001-04

Lemshausen, Winterraps Arthus				
	Raps-GP EC 85	ZKN	ZKN + N	Körnerraps EC 92
ohne PSM	- 33 kg N/ha	-130 kg N/ha	-113 kg N/ha	+ 72 kg N/ha
mit PSM	- 40 kg N/ha	-113 kg N/ha	- 138 kg N/ha	+ 60 kg N/ha
Hebenshausen, Winterraps Panther und Express				
	Raps-GP EC 85	ZKN	ZKN + N	Körnerraps EC 92
ohne PSM	50 kg N/ha	-21 kg N/ha	-48 kg N/ha	+ 105 kg N/ha
mit PSM	44 kg N/ha	-30 kg N/ha	-58 kg N/ha	+ 97 kg N/ha

Der Stickstoffentzug in den verschiedenen Produktionsvarianten ist eng an den Biomasseertrag gekoppelt, was auch die extreme Schwankung der Bilanzsalden in den einzelnen Versuchsjahren erklärt. Differenzen von bis zu 100 kg N/ha sind besonders zwischen den Jahren 2001/02 und 2003/04 zu finden (vgl. Kap. 4.3). Durch die Ernte der Raps-Ganzpflanzen im EC 85 wurden oberirdisch fixierte N-Mengen von 114-330 kg N/ha vom Feld exportiert. Daraus resultierten in Hebenshausen im Mittel über drei Jahre ein positiver Saldo von durchschnittlich 47 kg N/ha (mit/ohne PSM). Im gleichen Produktionssystem wurden am Standort Lemshausen ein negativer Saldo von -37 kg N/ha errechnet. Durch die nachfolgende Ernte der Mais- und Sonnenblumen-Ganzpflanzen im Zweikultur-Nutzungssystem wurden zusätzlich zwischen 80 und 122 kg N/ha/Jahr entzogen. Daraus errechneten sich im Durchschnitt über drei Jahre am Standort Hebenshausen im Zweikultur-Nutzungssystem ein negativer Saldo von durchschnittlich -26 kg N/ha, am Standort Lemshausen von im Mittel -122 kg N/ha. Die hohe Differenz ergibt sich aus den höheren Biomasseerträgen von Raps-Ganzpflanzen und Zweikultur in Lemshausen.

Dies bestätigt die Hypothese: Die Ganzpflanzennutzung von Raps und der Anbau einer zweiten Kultur führen zu ausgeglichenen bzw. negativen Stickstoffbilanzen. Durch den Rapsanbau nach dem System der Zweikultur-

Nutzung wird eine Anreicherung von Rest-Stickstoffmengen im Herbst vermieden. Der Anbau der zweiten Kultur Mais/Sonnenblumen führt zu negativen N-Bilanzen, garantiert damit eine Entleerung des Bodes an mineralischem Stickstoff vor dem Winter und minimiert die Gefahr des Nitrataustrages. Um eine langfristige N-Anreicherung und Auswaschung nach Raps zu vermeiden, ist das Zweikultur-Nutzungssystem mit dem Anbau einer zweiten Kultur nach Raps die einzig sichere Maßnahme für den Trinkwasserschutz.

Die verminderten N-Bilanzüberschüsse bei alleiniger Raps-Ganzpflanzenernte stellen keine zufriedenstellende Lösung der Nitratproblematik dar. Auch bei nahezu ausgeglichenen N-Bilanzen in diesem System können durch die spätere Zersetzung von Stoppeln und unterirdischen Ernteresten noch erhebliche Mineralisationsschübe erfolgen. Es gilt zu bedenken, dass pflanzenbauliche Optimierungen wie bessere Düngungsverteilung oder Zwischenfruchtanbau sich letztendlich nur dann positiv auf N-Verluste und N-Verlagerung auswirken, wenn sie langfristig zu einer deutlichen Reduktion der N-Salden führen.

Während der Vegetationsperiode können nach JÖRGENSEN (1996) bedeutende Mengen an residualem Stickstoff aus der unterirdischen Biomasse (Wurzeln) und dem Bodenpool der mikrobiellen Biomasse mineralisiert werden. Durch das Absterben dieser mikrobiellen Biomasse im Verlauf der Vegetationsperiode steht der zuvor in ihr gebundene Stickstoff nach Transformationsprozessen den im Wachstum befindlichen Pflanzen wieder zur Verfügung. Raps kann einen Wurzeltiefgang von bis zu 150 cm erreichen und zeichnet sich im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen durch sehr lange Wurzelhaare aus (CRAMER 1990). Nach RICHTER ET AL. (2005) belaufen sich die N-Gehalte der Ernterückstände des Rapses aus Wurzeln, Stängeln, Schotenwänden und Blättern auf bis zu 120 kg N/ha. Nach LICKFETT (1997) können im Extremfall 200 kg N aus ober- und unterirdischen Fraktionen auf der Fläche verbleiben. ANTONY (1994) berichtet von leicht verfügbaren N-Mengen aus oberirdischem Raps-Aufwuchs von bis zu 156 kg N/ha/Jahr, die unter Berücksichtigung der Wurzelmasse auf 240 kg N/ha/Jahr steigen. Nach CRAMER (1990) fanden sich bereits zu Vegetationsbeginn 154 kg N/ha im oberirdischen Aufwuchs. LICKFETT ET AL. (1997) bestätigten, dass bereits im Dezember im oberirdischen Pflanzenmaterial gespeicherte N-Mengen von 140-150 kg N/ha nachzuweisen waren. Nach einer Untersuchung von BEHRENS (2002) befinden sich auf durchlässigen Böden ca. 70% der Rapswurzeln in 0-30 cm. Möglicherweise war die Wurzelmasse zum Zeitpunkt

der frühen Ernte im Gegensatz zur Ernte zur Totreife noch wenig lignifiziert. Da der Aufbau der organischen Bodensubstanz durch die Rückführung von organisch gebundenem N in Form von Ernterückständen (Wurzeln, Stoppeln, Stroh etc.) indirekt gefördert werden kann (SIELING 2001), besteht aufgrund beschriebener Untersuchungen beim früh geernteten Raps im Zweikultur-Nutzungssystem ein besonders hohes Potential für eine verstärkte Rückführung von organisch gebundenem Stickstoff in Form von Ernterückständen. Diese könnten der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen als N-Quelle zu Verfügung gestanden haben. Dabei können die höheren Temperaturen zum Erntezeitpunkt EC 85 im Vergleich zum Zeitpunkt der Totreife die Mineralisationsprozesse beschleunigt haben, was die hohen N_{\min} -Werte bei der frühen Ernte erklärt.

Im eigenen Versuch waren zur Mitte der Reife (EC 85) im Mittel über Jahre und Standorte 158 kg N/ ha in der oberirdischen Biomasse gespeichert. Im Mittel über fünf Versuchsjahre fanden LICKFETT ET AL. (1997) bei einer Düngungsintensität von durchschnittlich 186 kg N/ha kurz nach der Vollblüte im EC 69/70 eine durchschnittliche N-Akkumulation von 280 kg N/ha im oberirdischen Pflanzenbestand. Vergleichbare Werte ermittelte LICKFETT (1997) bei einer Düngung von durchschnittlich 170 kg N/ha. Die maximale N-Akkumulation im oberirdischen Pflanzenmaterial von Winterraps lag dort kurz nach der Vollblüte im Stadium EC 69/70 zwischen 281 und 251 kg N/ha. Abb. 40 zeigt die Stickstoffmengen, die im Mittel von fünf Anbaujahren und drei Standorten bei ordnungsgemäßer Düngung von LICKFETT (2000) im Verlauf der Vegetationsperioden in der oberirdischen Biomasse eines Winterrapsbestandes gespeichert wurden. Der Grafik ist zu entnehmen, dass die maximale Stickstoffakkumulation zwischen Mai und Juni zu finden ist, da im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode bereits erhebliche N-Mengen als Vorernteverluste verloren gehen.

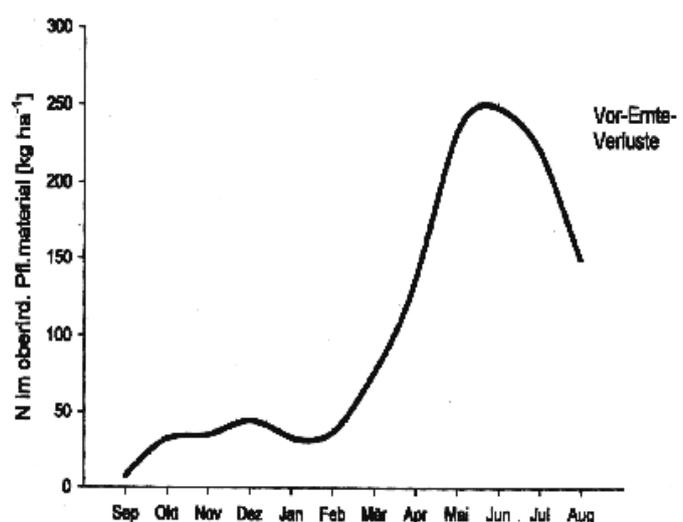


Abb. 40: N-Akkumulation durch einen Rapsbestand (Quelle: LICKFETT 2000)

KAGE ET AL. (2005) geben Anfang Juni als Zeitpunkt der maximalen oberirdischen N-Akkumulation bei Winterraps an. In Versuchen von BEHRENS (2002) wurde bestätigt, dass Winterraps bis Blühbeginn 60% der gesamten N-Menge aufgenommen hat und in der Lage ist, noch bis zur Reife Stickstoff aufzunehmen. Laut ANIOL (1993) nimmt Winterraps zwischen Blühende und Reife nur noch ca. 25 kg N/ha auf. Diese Ergebnisse bestätigen, dass mit der vorgezogenen Ernte der Winterraps-Ganzpflanzen im Zweikultur-Nutzungssystem zum Zeitpunkt der maximalen Stickstoffakkumulation geerntet wird. Mit der Ernte der Ganzpflanzen wird damit auch der maximale oberirdische Stickstoffentzug aus dem System garantiert.

Durch die praxisübliche Ernte des Rapskorns wurden im eigenen Versuch positive N-Bilanzsalden von im Mittel 66 (Lemshausen) bzw. 101 kg N/ha/Jahr (Hebshausen) erzielt, d.h. der N-Entzug durch das Rapskorn lag bei durchschnittlich 134 bzw. 99 kg N/ha. Wie bereits diskutiert, lagen die N_{\min} -Werte unter den Körnerrapsparzellen in allen Jahren und zu allen Beprobungszeitpunkten (Ausnahme Lemshausen 2002/03) unter 50 kg N_{\min} -N/ha. Damit entsteht eine rechnerische Differenz, die weder im oberirdischen Aufwuchs noch im Boden wiedergefunden wurde. Auch BEHRENS (2002) berichtet von Düngungsversuchen bei Winterraps, in denen gedüngte N-Mengen wenige Wochen später nicht mehr vollständig in der Pflanze oder als Mineralstickstoff im Boden nachgewiesen werden konnten und schlussfolgert, dass ein Teil des N immobilisiert wurde. LICKFETT (1997) untersuchte die Verwertung von Mineraldünger-N durch Raps und berichtet von einer maximalen N-Akkumulation im oberirdischen Pflanzenmaterial kurz nach der Vollblüte. Zur Mähdruschreife waren im Versuchsmittel 42% der akkumulierten N-Menge nicht mehr aufzufinden. Zwischen dem maximalen N-Entzug und dem oberirdischen N-Verlust aus der oberirdischen Pflanzenmasse bestand nur ein schwacher Zusammenhang. GEROWITT ET AL. (1997) berichten, dass zum Zeitpunkt der Ernte von Winterraps nur noch maximal 34 bis 73% des oberirdisch gebundenen Stickstoffs, der zur Blüte akkumuliert worden war, wiedergefunden wurde. Dies entsprach einem „Verlust“ von 30-130 kg N. Die Autoren schlussfolgerten, dass ein Teil des gedüngten N immobilisiert und deshalb nicht nachweisbar war.

LICKFETT (2000) geht von Vorernteverlusten aus, die sich auf ca. 100 kg N/ha belaufen (vergl. Abb. 40). Nach eigenen Untersuchungen belaufen sich die die Vorernteverluste bei Winterraps auf rund 17 kg N/ha (s. Kap. 4.4), was Ergebnisse von ANIOL (1993), SCHJOERRING ET AL (1995) und BEHRENS (2002) bestätigt. Dadurch

ergibt sich eine Differenz von rund 80 kg N/ha bezüglich der Vorernteverluste. Eine mögliche Erklärung für die „fehlenden“, nicht wiederauffindbaren Stickstoffmengen liefert die Hypothese der Rückverlagerung von Nährstoffen in die als Speicherorgan dienende Wurzel. Raps (*Brassica napus* L.) gehört zu den amphidiploiden Brassica-Arten und ist durch eine spontane Kreuzung zwischen monogenomischen Brassica-Arten entstanden, nämlich Wildkohl (*Brassica oleracea*) und Rübsen (*Brassica rapa*). Durch eine Mutation hat sich der Chromosomensatz verdoppelt, wodurch eine neue fertile Art entstanden ist. Als digenomische Art besitzt Raps *Brassica napus* L. var. *napus* die kompletten Genome seiner beiden Ursprungsarten (GLAND 1982). Alle kultivierten Kohl-Arten sind in der Regel zweijährig, ferner besitzen alle Wildkohllarten und Kulturvarietäten denselben Chromosomensatz von $2n=18$.

Eine Rückverlagerung von Nährstoffen in die Pflanzenwurzel ist nur für mehrjährige, überdauernde Pflanzen von Bedeutung. Auch bei der mehrjährigen Kohlrübe *Brassica napus* spp. *napo brassica napus*, dem nächsten Verwandten des Wildkohls, dient die Wurzel als Speicherorgan (HAMMER 2006). Daher ist denkbar, dass auch bei *Brassica napus* L. eine Translokation in die Wurzel stattfindet, da dies genetisch im Erbgang eines Elter fixiert ist. MAX (2004) untersuchte die ^{14}C -Assimilatverteilung bei Winterraps und stellte fest, dass die Wurzelneubildung nicht nur durch den Einbau von Produkten aus der rezenten Photosynthese geschieht, sondern auch re-mobilisierte, sozusagen „alte“ Assimilate in das Wurzelsystem transferiert und dort in das Wachstum neuer Wurzeln investiert werden. Über die Entwicklung und Masse der Wurzeln, die unter Winterraps gebildet werden, fanden keine eigenen Untersuchungen statt. MAX (2004) fand in mehrjährigen Versuchen die maximale Durchwurzelungsintensität unter Winterraps zwischen Blüte und Totreife. Nach BARRACLOUGH (1989) und KAPPEN ET AL (2000) wird für Winterraps ein Anstieg der Wurzellängendichte bis Blühende und ein anschließender Wurzelabbau bis zur Reife beschrieben. DRECCER ET AL. (2000) fanden zwar einen Anstieg der Wurzeltrockenmasse bis Blühende, anschließend veränderte sich die Wurzeltrockenmasse nur unwesentlich. In Versuchen von BEHRENS (2002) stieg das Wurzelwachstum etwa 4 Wochen nach Blühbeginn deutlich an. BEHRENS (2002) fand in mehrjährigen Untersuchungen zu Winterraps bis zu 75% der Wurzeln in den obersten 30 cm des Bodens. GEROWITT ET AL. (1997) fanden 75% der Wurzelmasse von Winterraps in 0-10 cm Bodentiefe, die restlichen 25% lagen fast ausschließlich bis maximal 40 cm Bodentiefe vor. Als Summe der Wurzeltrockenmasse wurde ein

Maximalwert von 3133 kg/ha mit Stickstoffkonzentrationen zwischen 0,3 bis 2,5% gemessen, woraus eine in den Wurzeln gespeicherte N-Menge von bis zu 66 kg N/ha errechnet wurde. Da nach MAX (2004) der Höhepunkt der Durchwurzelung von Bodentyp, Witterungsverlauf, Bodenwassergehalt sowie Nährstoffangebot- und Verfügbarkeit abhängig ist, sind die unterschiedlichen Aussagen nicht verwunderlich.

Es ist zu vermuten, dass die beschriebenen, erheblichen Mengen an Ernterückständen unter den sommerlichen Witterungsbedingungen rasch mineralisiert wurden und damit der Zweitkultur zur Verfügung standen. Nach SAUERBECK (1976) ist unter mitteleuropäischen Klimabedingungen ein Großteil der wurzelbürtigen organischen Substanz, die zu Beginn der Vegetationsperiode im Boden vorliegt, zur Ernte bereits abgebaut. Besonders nach der vorgezogenen Rapsernte im EC 85 Mitte/Ende Juni könnte der mineralisierte N aus den Wurzeln bereits der Zweitkultur Mais/Sonnenblumen zur Verfügung gestanden haben. Die Literatur liefert kaum Informationen über die chemische Zusammensetzung von Winterraps-Wurzeln. Da der Grad der Mineralisation der Erntereste vom Gehalt an Lignin und leicht abbaubaren Kohlenhydraten abhängig ist (KLIMANEK ET AL. 1990), wäre für die Schätzung der Mineralisationsrate eine Analyse des Wurzelmaterials notwendig.

Die mit bis zu maximal 400 kg N/ha (Lemshausen 2004) sehr hohen Stickstoffentzüge im Zweikultur-Nutzungssystem deuten auf eine hohe Mineralisationsleistung des Bodens hin. Die Stickstoffmineralisierung stellt jedoch einen hochkomplexen Vorgang dar, der nur sehr grob abschätzbar ist. Bei einer jährlichen Mineralisationsrate des im Boden organisch gebundenen N von 1-2% werden nach SCHEFFER (1994) zwischen 45-220 kg N/Jahr freigesetzt. SCHELLER (1993) berichtet von einer jährlichen Mineralisierungsrate zwischen 1 und 5%, was je nach Bodenart eine Bodennachlieferung zwischen 40 und 400 kg N/ha bedeutet. KÖRSCHENS (1988) fand je nach Humuszustand und Mineralisierungsbedingungen im Feld jährliche N-Freisetzung zwischen 80 und 350 kg N/ha. Durch das Zusammenwirken verschiedener Faktoren wie Bodentemperatur- und feuchte, Sauerstoffangebot, pH-Wert und der Menge organischer Substanz sowie des C/N-Verhältnisses der verfügbaren organischen Substanz ist das Mineralisierungsverhalten der Böden schwer vorherzusagen. Ebenso kann mineralischer Stickstoff immobilisiert werden, wenn er in die organische Substanz des Bodens eingebaut wird. Da die Dynamik von N-Mineralisation, N-Immobilisation sowie Nitrifikation und Denitrifikation von den beschriebenen Faktoren abhängt, ist sie nur sehr schwer zu quantifizieren (SCHEFFER

ET AL. 1989; SCHMITT 1992). Wechselwirkungen zwischen N-Immobilisation und N-Mobilisierung sind kaum zu verfolgen (SCHMITT 1992). OBERHOLZER ET AL. (2001) zeigten, dass verschiedene Stickstoff-Berechnungsmodelle wie MINERVA, CANDY, EXPERT oder NSIM es nicht zuverlässig ermöglichten, Ergebnisse langjähriger Lysimeterversuche nachzubilden.

Extreme negative N-Salden, wie sie in der Versuchsvariante ZKN+N aufgetreten sind, bedeuten, dass auf den betroffenen Flächen mehr Stickstoff vom Feld abgefahren als mit Düngemitteln zugeführt wurde. Der negative Wert kann Resultat einer standort- und bewirtschaftungsbedingten erhöhten N-Nachlieferung sein (BAUMGÄRTEL 2001). So enthalten intensiv bewirtschaftete Ackerböden große Vorräte an leicht abbaubarer organischer Substanz und damit ein hohes Nährstoff-Nachlieferungspotential (SCHMITT 1994; SCHEFFER 1997; NLÖ 2001, PAMPERIN ET AL. 2002). Durch langjährige Anwendung von Wirtschaftsdüngern ist zudem in vielen Böden eine wesentlich höhere Stickstoffmineralisierung als -immobilisierung zu erwarten (ATV-DVWK 2004). Einer Verarmung des Bodens infolge hoher Entzüge kann entgegen gewirkt werden, wenn im Rahmen der Fruchtfolge wieder verstärkt Stickstoff zugeführt wird, was durch den Anbau von Leguminosen oder durch Düngung erfolgen kann. Das Zweikultur-Nutzungssystem beinhaltet das Prinzip eines annähernd geschlossenen Nährstoffkreislaufes. Da die im Erntegut enthaltene Stickstoffmenge bei der Biogaserzeugung erhalten bleibt, kann durch die Ausbringung des Gärrestes dem Boden Stickstoff in ähnlicher Menge zugeführt werden, wie zuvor durch die Pflanzen entzogen wurde (SCHEFFER 2000).

Völlig ausgeglichene Nährstoffbilanzen werden in Feldversuchen kaum zu erzielen sein, da es um biologische Systeme mit vielen Einflussgrößen handelt. Die Schwelle von 50 kg Bilanzüberschuss sollte nach VEENKER ET AL. 2003 für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung nicht überschritten werden. Nach LICKFETT (1997) ist bei der Berechnung der zulässigen N-Düngung durch einfache Schlagbilanzen (N-Eintrag durch Düngung minus N-Abfuhr mit dem Erntegut) jedoch aufgrund der atmosphärischen N-Einträge, die einen Input darstellen, ein „Sicherheitsfaktor“ von 30-50 kg N/ha einzukalkulieren. Hohe Differenzen zwischen dem N-Input und -Output können auf Dauer die N-Dynamik des Bodens beeinflussen. Negative Stickstoffbilanzen sind auf lange Sicht ungünstig zu beurteilen, da mit der Aushagerung die Fruchtbarkeit des Bodens gefährdet wird. Die Freisetzung von Stickstoff aus der organischen Substanz des Bodens, die durch die negative Bilanz verursacht wird,

wird eine Beeinträchtigung der Gesamtleistung der Fruchtfolgen zur Folge haben (SCHMITT 1992). Negative Bilanzsalden in einzelnen Jahren sollten jedoch auch nicht überbewertet werden. SIELING (2001) untersuchte N-Bilanzen und Ertragstrends in einer Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Fruchtfolge über neun Jahre. Trotz extremer Schwankungen der N-Bilanzsalden von -710 (ungedüngte Varianten) bis +1490 kg N/ha (Düngung von 240 kg N/ha) über alle Jahre wurde kein eindeutiger Ertragstrend in den Produktionssystemen ermittelt, der als Folge einer Nährstoff-Verarmung oder Anreicherung hätte interpretiert werden können. Ergebnisse eines Dauerversuches in England belegen, dass Veränderungen in der organischen Bodensubstanz erst nach mehreren Jahrzehnten zu belegen waren (SIELING 2001).

Beim praxisüblichen Anbau von Winterraps wird ein positiver Bilanzsaldo aufgrund der bereits beschriebenen N-Dynamik der Pflanze als typisch angesehen, die Problematik der hohen Rest-Stickstoffgehalte wird daher nicht zu vermeiden sein. Im Zweikultur-Nutzungssystem erfolgt die Ernte der Raps-Ganzpflanzen zum Zeitpunkt der höchsten Biomassemasseproduktion und gleichzeitig der maximalen Stickstoffakkumulation. Durch den Anbau von Mais und Sonnenblumen nach der vorgezogenen Rapsernte folgen Kulturen, die zusätzliche Stickstoffmengen, die durch die Mineralisation der unter- und oberirdischen Erntereste entstehen, aufnehmen können. Dadurch trägt dieses System zu einer Entleerung des N-Pools und einer Reduktion der potentiellen N-Auswaschung bei. Somit kann auch in trinkwassersensiblen Gebieten ein produktiver Anbau von Winterraps möglich gemacht werden.

6.3 Monetärer Vergleich der Produktionssysteme

Für alle Standorte, Versuchsjahre und angebaute Winterrapsorten wurden die Deckungsbeiträge zu den folgenden Varianten errechnet:

- Winterraps-Ganzpflanzensilage+/-PSM (Raps-GPS)
- Körnerraps+/-PSM (Rapskorn)
- Zweikultur-Nutzungssystem+/-PSM (ZKN)
- Zweikultur-Nutzungssystem mit Düngung der Zweitkultur (ZKN+N)
- Zweikultur-Nutzungssystem mit PSM-Anwendung bei Winterraps und Düngung der Zweitkultur (ZKN+PSM+N)

Im ersten Versuchsjahr 2001/02 wurde mit dem Produktionsverfahren „Rapskorn“ in Lemshausen der höchste Deckungsbeitrag erzielt. In Hebenshausen wurden im gleichen Jahr durch das System „Raps-GPS“ ohne PSM-Anwendung im Vergleich ähnliche, z.T. höhere Erlöse erzielt, während der Rapsanbau im ZKN den geringsten Deckungsbeitrag erbrachte. Aufgrund der sehr geringen Erträge der Zweitkultur im ersten Anbaujahr konnte an beiden Standorten der monetäre Aufwand für die Saat und Ernte der zweiten Kultur nicht durch den Erlös gedeckt werden.

Im Jahr 2002/03 erzielte die Produktionsvariante ZKN durchgängig über alle Standorte die höchsten Deckungsbeiträge. Im Anbaujahr 2003/04 stellte aus monetärer Sicht ebenfalls der Rapsanbau im ZKN mit Deckungsbeiträgen, die zwischen 40% (Sorte „Express“) und 48% (Sorte „Arthus“) über denen des Körnerrapsanbaus lagen, die günstigste Produktionsvariante dar. Der Mehrerlös bei der Ernte der Raps-GPS lag im Vergleich zum Rapskorn im ungünstigsten Fall bei 20% (Sorte „Express“) und im günstigsten bei 40% (Sorte „Arthus“). Der ökonomische Vergleich der verschiedenen Anbausysteme über die drei Versuchsjahre zeigt die Abhängigkeit eines lukrativen Rapsanbaus im ZKN von den Erträgen der zweiten Kultur. Generell gilt, dass für den Winterrapsanbau im ZKN im Vergleich zum Körnerrapsanbau durch die zweimalige Saat und Ernte ein bis zu 50% höherer Arbeitszeitbedarf notwendig ist. Dadurch bedingt ist auch der Anteil der variablen Maschinenkosten im ZKN, der bis zu 50% höher ist als bei der Körnerrapsproduktion. Die Erlöse aus Raps-GPS und Rapskorn lagen annähernd auf einem Niveau. Nur im letzten Versuchsjahr wäre der alleinige Anbau der Winterraps-GPS ohne zweite Kultur im Vergleich zur Körnerrapsproduktion für den Landwirt von finanziellem Vorteil gewesen.

Es konnte gezeigt werden, dass bis auf zwei Ausnahmen (Hebenshausen 2003/04, Variante ZKN) in allen Jahren und Varianten bei PSM-Verzicht höhere Deckungsbeiträge erzielt werden konnten als bei PSM-Anwendung. In allen Fällen führte die PSM-Anwendung zu höheren Marktleistungen, allerdings nach Abzug der Kosten für die Spritzmittel und deren Ausbringung zu einem geringen Deckungsbeitrag als bei PSM-Verzicht.

Die Ergebnisse verifizieren die Hypothese „Der Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem und seine energetische Nutzung in einer Biogasanlage sind

im Vergleich zum herkömmlichen Winterrapsanbau rentabel. Pestizide lohnen nicht ihren Einsatz.“

In zwei von drei Versuchsjahren (2002/03, 2003/04) konnte durch den Rapsanbau im ZKN im Vergleich zum Körnerrapsanbau an beiden Versuchstandorten ein deutlicher Mehrerlös erzielt werden. Im Vergleich zum Körnerrapsanbau wurden im ZKN je nach Standort und Jahr zwischen 21% und 48% höhere Deckungsbeiträge erwirtschaftet. Eine Ausnahme stellt das erste Versuchsjahr dar. Im Jahr 2001/02 verursachte der sehr geringe Aufwuchs der zweiten Kultur durch die zweimalige Saat und Ernte höhere Kosten, als durch den Biomasseertrag eingebracht wurden.

Am Versuchstandort Lemshausen wurden mit dem Anbau der Winterrapsorte „Arthus“ über alle Jahre und Varianten die höchsten Deckungsbeiträge erzielt. Die geringsten Erlöse erbrachte die Sorte „Express“ am Standort Hebenshausen. Beim Anbau der Hybridsorten sind die Bereitstellungskosten etwas höher anzusetzen als bei der Liniensorte „Express“. Zum einen sind höhere Kosten des Saatguts zu veranschlagen, zum anderen durch den ertragsbedingten Mehraufwand bei Ernte und Transport. Die signifikant höheren Biomasseerträge kompensieren jedoch die erhöhten Aufwendungen und führen zu einem höheren Deckungsbeitrag.

Im ZKN wurden zusätzlich die Varianten ZKN+N bzw. ZKN+PSM+N berechnet. Diese unterschieden sich in Hinblick auf den Deckungsbeitrag nur gering von ZKN bzw. ZKN+PSM, da sich die zusätzliche N-Düngung der Zweitkultur nicht auf den Biomasseertrag und somit die Marktleistung niederschlug. Die zusätzliche Düngung der Zweitkultur verursachten nur geringe Kosten.

Eine weitere Wertschöpfung könnte über die Ausbringung des Gärrestes aus der Biogasanlage erfolgen. Bei dieser Vorgehensweise könnte auf den Zukauf von Düngemitteln verzichtet werden, was die Kostenseite entlasten und sich in einem höherem Deckungsbeitrag widerspiegeln würde. Da beim konventionellen Rapsanbau die mineralische N-Düngung ca. 50% des Gesamtenergie-Inputs ausmacht (SCHEFFER ET AL. 1999), ist die Rückführung des Düngerstickstoffs über den Gärrest nicht nur aus monetärer, sondern auch aus energetischer Sicht sinnvoll. Das Input/Output-Verhältnis kann damit deutlich verbessert werden.

Durch die Gegenüberstellung der Deckungsbeiträge kann ein Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Produktionsverfahren ermöglicht werden. Durch die vorgestellten Deckungsbeitragsrechnungen wird der Erlös aufgezeigt, den der

Landwirt durch den Verkauf des Rapskorns bzw. der Biomasse aus Raps-GPS oder im ZKN aus Raps-GPS und der zweiten Kultur erzielen kann. Durch die energetische Nutzung der Raps Ganzpflanzen nach dem ZKN könnte das Input/Output-Verhältnis deutlich angehoben werden. Tab. 11 zeigt den Deckungsbeitrag, der bei Verkauf des Rapskorns bzw. der Biomasse erzielt werden kann im Vergleich zu dem potentiellen Umsatz, der bei Verstromung der Biomasse erzielt werden könnte. Exemplarisch miteinander verglichen wurden dabei die potentiellen Marktleistungen bei Verstromung der Biomasse aus Raps-GPS, Rapskorn und ZKN. Aufgrund der im Versuch ermittelten geringen Differenzen im Biomasseertrag bei Verzicht bzw. Anwendung von PSM und vor dem Hintergrund, dass der Energiepflanzenbau mit einem maximalem Energieoutput erfolgen sollte, beschränkt sich die Darstellung auf die Erträge, die mit den Hybridsorten „Arthus“ und „Panther“ ohne PSM–Anwendung und ohne Düngung der Zweitkultur erzielt worden sind.

Um den monetären Vergleich zu ermöglichen, wurde der potentielle Erlös aus Verstromung der pflanzlichen Biomasse in einer 150 kW-Anlage errechnet. Die Energiewert-Berechnungen orientierten sich an DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM 1997). Für die Bestimmung der Umsetzbarkeit muss neben dem Gehalt an Umsetzbarer Energie (ME) auch der Gehalt der Bruttoenergie (GE) bekannt sein. Dieser kann aus den nach der Weender Analyse ermittelten Gehalten an Rohnährstoffen nach der folgenden Formel errechnet werden:

$$\text{Bruttoenergie (MJ)} = 0,0239 * \text{g Rohprotein (XP)} + 0,0398 * \text{g Rohfett (XL)} \\ + 0,0201 * \text{g Rohfaser (XF)} + 0,0175 * \text{g XX (Nfreie Extraktstoffe)}$$

Es wurde angenommen, dass 1 kg Rapskorn aufgrund des Ölgehaltes 7,3 kWh und 1 kg Rapsstroh bzw. Sonnenblumen- oder Maisganzpflanzensilage 4,6 kWh entsprechen. Für das Korn wurde eine Verdaulichkeit von 80%, für das Stroh von 65% kalkuliert. Bei Nutzung des entstandenen Biogases in einem Blockheizkraftwerk resultieren daraus 1/3 Strom und 2/3 Wärme. Als Erlös aus der Verstromung wurde die Grundvergütung von 11,5 Ct/kWh für kleine bis mittelgroße Anlagen bis 150 kW_{el} sowie der Zuschlag für Nachwachsende Rohstoffe (NAWARO-Bonus: 6,0 Ct/kWh) und für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Bonus: 2,0 Ct/kWh) zugrunde gelegt. Die Biomasseerträge wurden als Nettoerträge angegeben, die sich aus den Bruttoerträgen abzüglich 4% Verlust bei der Variante Rapskorn errechnen. Bei den Varianten Raps-GPS und ZKN wurden die Verluste mit 10% angesetzt.

Die in Tab. 11 vorgestellten Zahlen beziehen sich auf die Einspeisung der Biomasse in eine bereits bestehende Anlage. Da nur vor dem Hintergrund einer Vollkostenrechnung mit der Aufstellung sämtlicher entstehender Kosten für den Bau und Betrieb einer Biogasanlage konkrete Vergleiche angestellt werden könnten, können die vorgestellten Zahlen lediglich der Orientierung dienen.

Tab. 11: Potentieller Erlös aus Verstromung im Vergleich zum Deckungsbeitrag bei Verkauf der Biomasse (Winterrapssorten „Arthus“ und „Panther“), Lemshausen und Hebenshausen 2001-04

Winterrapssorte „Arthus“			
2001/02	Raps-GPS	Rapskorn	ZKN
Biomasseertrag [dt/ha]	123	41,5	145
Deckungsbeitrag [€/ha]	584	636	509
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	2680	1576	3068
2002/03			
Biomasseertrag [dt/ha]	115	49,9	182
Deckungsbeitrag [€/ha]	637	734	810
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	2796	1896	4108
2003/04			
Biomasseertrag [dt/ha]	163	39,2	236
Deckungsbeitrag [€/ha]	1108	727	1361
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	3831	1488	5238
Winterrapssorte „Panther“			
2001/02	Raps-GPS	Rapskorn	ZKN
Biomasseertrag [dt/ha]	85	32	93
Deckungsbeitrag [€/ha]	558	478	366
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	2434	1203	2599
2002/03			
Biomasseertrag [dt/ha]	92	35	153
Deckungsbeitrag [€/ha]	540	555	694
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	2220	1324	3405
2003/04			
Biomasseertrag [dt/ha]	142	42	213
Deckungsbeitrag [€/ha]	943	727	1163
pot. Umsatz bei Verstromung [€/ha]	3313	1603	4702

Tab. 11 zeigt, dass sich bei Einspeisung der Biomasse in eine Biogasanlage mit der Variante Rapskorn die geringsten, mit der Variante ZKN die höchsten Erlöse erzielen lassen könnten. Der monetäre Vergleich der Varianten „Körnerraps“ und „Raps-GPS“ bei potentieller Verstromung zeigt, dass bei energetischer Nutzung der Raps Ganzpflanze trotz höherer Direkt- und Maschinenkosten wesentlich höhere Erträge erzielt werden könnten. Daher würde die Einspeisung der im ZKN produzierten Biomasse in

eine bestehende Biogasanlage auch ohne den Anbau einer zweiten Kultur finanziell lohnen. Eine weitere Umsatzsteigerung würde durch den Anbau der zweiten Kultur erfolgen, wie der potentielle Umsatz bei Verstromung der Biomasse im ZKN zeigt.

7 Zusammenfassung

Der Anbau von Winterraps im Zweikultur-Nutzungssystem wurde über drei Vegetationsperioden an zwei Standorten mit drei Sorten untersucht. Dieses System beinhaltet den Anbau von zwei Kulturen im Lauf eines Jahres. In der vorliegenden Arbeit wurde Winterraps mit einem Gemenge aus Mais und Sonnenblumen als Zweitkultur kombiniert. Nach der frühen Rapsernte im EC 85 erfolgte die Einsaat der Zweitkultur im Direktsaatverfahren ohne vorherige Bodenbearbeitung. Erst- und Zweitkultur wurden zum Zeitpunkt des maximalen Biomasseertrages als Ganzpflanzen geerntet und als Silage konserviert. Als Vergleichsvariante diente herkömmlicher Körnerrapsanbau mit der Ernte zur Totreife. Ferner wurde die Auswirkung eines völligen Verzichts auf Herbizide, Insektizide und Fungizide im Raps geprüft. Zum Vergleich der N-Flüsse in den verschiedenen Anbausystemen erfolgte neben der Untersuchung der N_{\min} -Dynamik des Bodens die Erstellung von N-Bilanzen. Wegen der besonderen Bedeutung der ökonomischen Aspekte eines neuen Anbausystems wurden zusätzlich Deckungsbeitragsrechnungen durchgeführt und der Erlös bei energetischer Nutzung kalkuliert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Im Zweikultur-Nutzungssystem wurden durch die zwei Ganzpflanzenernten pro Jahr die höchsten Gesamtbiomasseerträge erzielt. Die Summe der Ganzpflanzenerträge aus Erst- und Zweitkultur lagen bei Verzicht auf PSM-Anwendung je nach Sorte und Standort im Durchschnitt über alle Jahre zwischen 13,8 und 18,4 t TM/ha. Durch das Erntegut Rapskorn wurden bei Pestizidverzicht im Mittel Biomasseerträge zwischen 3,6 und 4,4 t TM/ha erwirtschaftet. Der Vergleich der Biomasseerträge bei Pestizideinsatz und -verzicht zeigte, dass nur in einem Jahr (Hebenshausen 2003/04) der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel zu einem signifikant geringerem Gesamtbiomasseertrag aus Korn und Stroh führte. Der Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem erfordert daher keinen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und ermöglicht eine ökologisch verträgliche Wirtschaftsweise.

Im Produktionssystem Körnerraps waren nach der Ernte Bilanzüberschüsse bis maximal +105 kg N/ha zu verzeichnen. Die Ernte der Raps Ganzpflanzen führte zu weitestgehend ausgeglichenen N-Bilanzen zwischen durchschnittlich -33 und +44 kg N/ha. Die höchsten Stickstoffentzüge und damit stark negative Bilanzen bis im Mittel -138 kg N/ha wurden im Zweikultur-Nutzungssystem erreicht. Damit wurde

gezeigt, dass die beim Rapsanbau typische Umweltgefährdung durch verstärkte Nitratauswaschung mittels Anbau einer zweiten stickstoffzehrenden Kultur minimiert werden kann. Lediglich im ersten Versuchsjahr 2001/02 führte der sehr geringe Aufwuchs der Zweitkultur Sonnenblumen am Standort Hebenshausen zu einem positiven Bilanzsaldo von +40 kg N/ha.

Die Quantifizierung der Vorernteverluste bei Winterraps ergab, dass bis zum Entwicklungsstadium EC 85 bereits 0,6 t TM/ha an Biomasse von durch seneszenzbedingten Blattfall verloren ging. Die damit verbundenen Verluste an vegetativ gebundenem Stickstoff lagen bei 14 kg N/ha und erhöhten sich bis zur Totreife auf rund 17 kg N/ha. Die durch Blattfall bedingten Vorernteverluste und damit verbundenen N-Anreicherungen werden daher auch durch eine vorgezogene Ernte der Rapsanzpflanzen nicht zu vermeiden sein.

Die Untersuchung der N_{\min} -Gehalte unter den unterschiedlichen Systemvarianten ergab zu keinem Beprobungszeitpunkt signifikante Differenzen in den einzelnen Bodenschichten. Zu allen Terminen lagen die N_{\min} -Werte unter 50 kg N/ha. Eine Korrelation zwischen N_{\min} -Gehalt und N-Saldo bestand nicht. Eine mögliche Ursache für die nicht nachweisbaren Unterschiede zwischen den N_{\min} -Werten in den verschiedenen Produktionssystemen könnte in der Translokation von Stickstoff in die Wurzeln des Rapses liegen. Diese N-Verlagerung aus den vegetativen Organen des Rapses in die Wurzel könnte die Erklärung für „fehlende“ Stickstoffmengen darstellen, die nach Bilanzierungen verschiedener Autoren weder im Boden noch in den oberirdischen Teilen der Pflanze wieder gefunden wurden. Die N-Verlagerung in die Rapswurzel und dessen spätere Mineralisation nach der Ganzpflanzenernte könnte für die ähnlichen N_{\min} -Werte zwischen den Produktionsvarianten Rapskorn und Rapsanzpflanze verantwortlich sein. Die Mineralisation dieses Stickstoffs kann auch bei der Ganzpflanzennutzung von Raps ohne folgende Zweitkultur zu einer Grundwasserbelastung führen. Die effiziente Vermeidung einer Grundwasserbelastung setzt somit den Anbau der Zweitkultur voraus.

In zwei von drei Versuchsjahren (2002/03 und 2003/04) wurden durch den Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem Deckungsbeiträge erzielt, die je nach Standort und Jahr um 21% bis 48% höher lagen als beim Körnerrapsanbau. Der Verzicht auf PSM resultierte bis auf Ausnahmen in höheren Deckungsbeiträgen. Der monetäre Vergleich der Produktionssysteme zeigt, dass ein pestizidfreier

Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem im Vergleich zum Körnerrapsanbau trotz höherer Direkt- und Maschinenkosten finanziell lohnenswert ist. Durch die wesentlich höheren Gesamt-Biomasseerträge werden die zusätzlichen Kosten aufgefangen.

Bei Verstromung der im Zweikultur-Nutzungssystem produzierten Biomasse in einer bestehenden Biogasanlage wäre der Erlös gegenüber der reinen Körnernutzung im Mittel um 150% höher. Bei der energetischen Nutzung der Raps Ganzpflanzen wäre eine Steigerung um durchschnittlich 90% im Gegensatz zur Körnernutzung möglich. Für den Landwirt stellt die energetische Nutzung der Biomasse in einer Biogasanlage eine zukunftssträchtige Produktionsalternative dar. Da das Konzept des Rapsanbaus im Zweikultur-Nutzungssystem ein selbsttragendes System darstellt, könnte es bei Einführung in die Praxis die Wasserversorger von Ausgleichszahlungen für Minimierungsmaßnahmen zum N-Austrag an die Landwirtschaft entbinden.

Der Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem stellt ein innovatives und umweltverträgliches Anbausystem dar. Besonders auf auswaschungsgefährdeten Standorten bzw. in Wassereinzugsgebieten stellt die Integration von Raps in das Zweikultur-Nutzungssystem die einzig ökonomische Alternative zu anderen Programmen der Reduktion von Rest-N-Mengen dar. Weiterhin sind für den Kulturpflanzenanbau im Zweikultur-Nutzungssystem keine neuen Techniken oder Kenntnisse notwendig, was die Chancen für eine Einführung des Systems in die Praxis erhöht.

8 Literaturverzeichnis

- AHL, C., BECKER, K., JÖRGENSEN, R., KLAGES, F. & H. WILDHAGEN (1996): Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde. Eigenverlag, Göttingen.
- ANIOL, H. (1993): Ertrag, Ertragsstruktur und Stickstoffaufnahme von Winterraps (*Brassica napus* L.) in Abhängigkeit von N.Menge, N-Verteilung und Genotyp. Diss., Universität Kiel.
- ANIOL, H. (1994): Stickstoffverteilung in erntereifen Rapsbeständen. Raps 12, S. 144-146.
- ANTONY, F. (1994): Körnerrapsanbau - ein Problem für den Grundwasserschutz? Fallstudie „Wasserschutzgebiet Hameln-Süd“. In: KTBL-ARBEITSPAPIER 206: Strategien zur Verminderung der Nitrat auswaschung in Wasserschutzgebieten, Darmstadt. S. 222–233.
- ATV-DVWK (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL) (2004): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur Grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs. ATV-DVWK-Themen, Jul. 2004. Hennef.
- AUFHAMMER, W. KÜBLER, E. & H.P. KAUL (1996): Untersuchungen zur Anpassung des Stickstoffangebotes aus unterschiedlichen N-Quellen an den Verlauf der N-Aufnahme in Maisbeständen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 159. S. 471-478.
- AUFHAMMER, W. KÜBLER, E. & M. BURY (1994): Stickstoffaufnahme und Stickstoffrückstände von Haupt- und Ausfallrapsbeständen. J. Agron. Crop Sci. 172. S. 255-264.
- BARRACLOUGH, P. (1989): Root growth, macro-nutrient uptake dynamics and soil fertility requirements of a high-yielding winter oilseed rape crop. Plant soil 119, pp 59-70.
- BARTELS, M. (2000): Kosten senken bei der Unkrautbekämpfung. Raps 3/2003 (21.Jg.). S. 100-105.
- BAUMGÄRTEL, G. (1993): Stickstoffdüngung und Nitratreste nach der Ernte im Rapsanbau. Raps 11, S. 90-92.

- BAUMGÄRTEL, G. (2001): Landwirtschaftliche Nährstoffbilanzen. In: NIEDERSÄCHSICHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (NLFB) (Hrsg.): 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Ein Leitinstrument für integrierte Umweltbeobachtung und Politikberatung. Tagungsband. S. 22-23.
- BEHRENS, T. (2002): Stickstoffeffizienz von Winterraps (*Brassica napus L.*) in Abhängigkeit von Sorte sowie einer in Menge, Zeit und Form variierten Stickstoffdüngung. Diss., Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- BEIMS, S. (2004): Untersuchungen zur N-Effizienz und zum N-Mineralisierungspotential in langjährig unterschiedlichen Düngungssystemen mit Hilfe von ¹⁵N-markiertem Mineraldünger. Diss., Universität Kiel.
- BBA (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT) (1982): Entwicklungsstadien des Raps – einschließlich Rübsen, Senfarten und Ölrettich – zum Gebrauch für das Versuchswesen, die Beratung und die Praxis in der Landwirtschaft. Merkblatt Nr. 27/7.
- BISCHOFF, W. SIEMENS, J. & M. KAUPENJOHANN (1999): Stoffeintrag ins Grundwasser – Feldmethodenvergleich unter Berücksichtigung von preferential flow. Wasser & Boden, 51/12. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin. S. 37-42
- BOUWER, W. GÄTH, S. & H.G. FREDE (1997): Vergleich dreier Instrumentarien zur Abschätzung und Kontrolle der nutzungsbedingten Nitratauswaschung auf auswaschungsgefährdeten Standorten. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 38. S. 154- 160.
- BRAUTSCH, M. (1997): Eine vergleichbare Gesamtenergiebilanz für Photovoltaikmodule und Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke. Verlag Solare Zukunft, Erlangen.
- BREITSCHUH, G. REINHOLD, G. & A. VETTER (2004): Wirtschaftliche Bedeutung der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Landwirtschaft: der Landwirt als Energiewirt – Potentiale für die Erzeugung. In: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger (2004). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, Reinheim. S. 19-37.

BUDEWIG, S. & J. LEON (2002): Höherer Ertragssicherheit mit Hybridraps ? Raps 4, 20. Jg. S. 195-197.

BUNDESGESETZBLATT (1990): Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasser-
verordnung vom 05.01.1990. <http://www.jura.uni-sb.de/BGBl/TEIL1/1990/19902612.1.HTML>. 21.03.2005.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT)
(2002): Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Natürliche
Ressourcen-umweltgerechte Energieversorgung.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT)
(HRSG.) (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer
Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundes-
ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Kurzfassung .
Arbeitsgemeinschaft DLR/IFEU/WI. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.

BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und
Landwirtschaft)(2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse.

BUTTLAR VON, H. (1997): Wildpflanzenregulierung im Energiepflanzenbau unter
Verzicht auf synthetische Herbizide. Untersuchungen von Sommerungen im
Direktsaatverfahren. Diss, Universität Kassel. Cuvillier Verlag Göttingen.

CLAUPEIN, W. (1994): Zwischenfruchtanbau und Untersaaten zur Vermeidung des
Stickstoffaustrages – Möglichkeiten und Grenzen. In: KTBL-Arbeitspapier 206:
Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutz-
gebieten. Darmstadt. S. 51-59.

COOK, S. K.; JONES, A.E. & M. Green (1995): A comparison of input levels in oilseed
rape. Proc. 9th Rapeseed Congr., Cambridge, UK, 1. pp. 238-240.

CRAMER, N. (1990): Raps: Züchtung, Anbau und Vermarktung von Körnerraps.
Eugen Ulmer Verlag GmbH & Co., Stuttgart.

- DE MOL, F. (2000): Bewertung von Ackerbausystemen anhand von Pflanzenschutzmittel-Risiko-Indikatoren: In: STEINMANN, H. & B. GEROWITT (Hrsg.): Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Universität Göttingen, Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt. Mecke Druck und Verlag, Duderstadt. S. 187-196.
- DIEPENBROCK, W. & F. GROSSE (1995): Rapeseed (*Brassica napus* L.). In: DIEPENBROCK, W. & H.C. BECKER (eds.) : Physiological potentials for yield improvement of annual oil and protein crops. *Advances in Plant Breeding* 17, pp. 21-90.
- DRECCER, M., SCHAPENDONK, C., SLAFER, G. & R. RABBINGE (2000): Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. In: *Plant and Soil* 220 (1-2), S. 189-205.
- ECKSTEIN, P. (2000): *Angewandte Statistik mit SPSS. Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. 3. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.
- ELTROP, L. & K. RAAB (2004): Bereitstellungskosten für Biobrennstoffe 2004. *energie pflanzen IV/2004*. Forst Fachverlag Scheeßel-Hetzwege. S. 27-35.
- EULENSTEIN, F. (2004): Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Landnutzung (ATV-DVWK und DVGW-Arbeitsbericht). In: BENDER, S. WISOTZKY, F. & S. WOHNLICH (2004): *Bochumer Grundwassertag: Nitrat im Grundwasser*. Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten, Heft 5. Selbstverlag Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum. S. 57-64.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2002): *Durchführung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen*. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.

- FELDWISCH, N., FREDE, H. & F. HECKER (1998): Verfahren zum Abschätzen der Erosions- und Auswaschungsgefahr. IN: FREDE, H. & S. DABBERT (Hrsg.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed Verlagsgesellschaft Ag & Co. Kg, Landberg.
- FLAIG, H. & H. MOHR (HRSG.) (1993): Energie aus Biomasse – eine Chance für die Landwirtschaft. Springer Verlag Berlin.
- GÄTH, S. (1997): Methoden der Nährstoffbilanzierung und ihre Anwendung als Agrarumweltindikator. IN: DIEPENBROCK (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion. Zeller Verlag Osnabrück. S. 115-126.
- GERIES, H. (2004): schriftliche Mitteilung.
- GEROWITT, B & M. WILDENHAYN (Hrsg.) (1997): Ökologische und Ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94. Goltze-Druck Göttingen.
- GEROWITT (2000): Entwicklung und Begrenzung der Unkrautvegetation in Ackerbausystemen. In: STEINMANN, H. & B. GEROWITT (HRSG.): Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Universität Göttingen, Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt. Mecke Druck und Verlag, Duderstadt. S. 55-80.
- GLAND, A. (1982): Gehalt und Muster der Glucosinolate in Samen von resynthetisierten Rapsformen. Z. Pflanzenzüchtung 87. S. 613-617.
- GRAB, R. (2003): Direkt- und Spätsaat von Silomais - Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. Diss., Cuvillier Verlag Göttingen.
- GRUNDMANN, P., LUCKHAUS, C., JACOBS, H., HEIERMANN, M. & H.J. HELLEBRAND (2004): Handreichung zur Studie: Errichtung einer Pilotanlage zur Trockenvergärung oder Thermolyse landwirtschaftlicher, forstwirtschaftlicher und gewerblicher Biomasse als Beispielobjekt für die Landkreise Barnim und Uckermark. Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB).

- HAAS, G., BERG, M. & U. KÖPKE (2001): Grundwasserschonende Landnutzung. Vergleich der Ackernutzungsformen konventioneller, Integrierter und Organischer Landbau. Vergleich der Landnutzungsformen Ackerbau, Grünland (Wiese) und Forst (Aufforstung). Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HAMMER, K. (2006): mündliche Mitteilung.
- HARTMANN, H. & M. KALTSCHMITT (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 3. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster.
- HENKE, J., KAGE, H. & K. SIELING (2005): Einfluss von Unsicherheit auf die optimale N-Düngermenge und die N-Bilanz. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 17. S. 383-384.
- HUGGER, H. (1989): Sonnenblumen: Züchtung, Anbau, Verarbeitung. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- JÖRGENSEN, R. (1996): Die Beziehung von mikrobieller Aktivität, Biomasse und Residualmasse im Boden. Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch., 81, S. 175-178.
- KAGE, H., SIELING, K. & HENKE, J. (2005): Stickstoffeffizienz in Rapsfruchtfolgen: Problematik und Möglichkeiten zur Verbesserung“. Bauernblatt Schleswig-Holstein, Heft 31. S. 32-34.
- KALTSCHMITT, M. (1997): Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Umweltwissenschaften, Braunschweig.
- KALTSCHMITT, M. (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin.
- KAPPEN, L. SCHULTZ, G. GRULER, T. & WIDMOSER, P. (2000): Effects of N-Fertilization on shoots and roots of rape (*Brassica napus* L.) and consequences for the soil matric potential J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, pp. 481-489

- KARPENSTEIN-MACHAN, M. & V. RUWISCH (2004): Wissenschaftliche Begleitung und Unterstützung der Planungsarbeit im Rahmen des Projektes „Bioenergiedorf Jühnde“. Hrsg: INTERDISZIPLINÄRES ZENTRUM FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG DER GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (IZNE). Endbericht, Förderkennzeichen 2 20 00 902.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (1997): Konzepte für den Energiepflanzenbau: Perspektiven eines pestizidfreien Anbaus von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung im System der Zweikulturnutzung. DLG-Verlag Frankfurt.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlags, Frankfurt am Main.
- KESSEL, B. & H.C. BECKER (1999): Genetic variation of nitrogen-efficiency in field experiments with oilseed rape (*Brassica napus* L.). Proc. 10th Int. Rapeseed Congr. Canberra, Australia.
- KESTEN, E. (2005): Die Pflanze als Sonnenkraftspeicher – Energiepflanzenzucht. Strom und Wärme vom Acker. 12. C.A:R.M.E.N. – Forum. Tagungsband. S. 17-24.
- KETELSEN, H., MÜLLER, U., SEITZ, D., HORSTKÖTTER, M. & T. HARTUNG (2003): Zur Aussagekraft des N_{min} -Herbstwertes als Instrument der Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Wasser und Boden, 55/7+8. Blackwell Verlag, Berlin. S. 46-52.
- KIEFER (2004): Eine Methode zur Berechnung der Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden - Ergebnisse der Validierung und regionale Anwendungsbeispiele. Bochumer Grundwassertag: Nitrat im Grundwasser. Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten, Heft 5. Selbstverlag Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum. S. 48-56.
- KLIMANEK E. & P. ZWIERZ (1990): Differenzierung der Ernte- und Wurzelrückstände nach ihrer stofflichen Zusammensetzung. Tag. Ber. Akad. Landwirtsch.- Wiss. DDR, Berlin 295. S. 41-48.

- KOPETZ, H. (2004): Die energetische Nutzung der Biomasse als Beitrag zum Klimaschutz und zur Energieversorgung. In: KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (2004): Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, Reinheim.
- KÖRSCHENS, M. (1988): N-Freisetzung und -Ausnutzung in Abhängigkeit vom Humusgehalt im städtischen Versuch Lauchstädt. Zentralbl. Mikrobiol. 143. S. 215-219.
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V.) (1994): Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten. KTBL/HMUB-Fachgespräch am 15.16. März 1994 in Duderstadt/Westerode. Arbeitspapier 206. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V.) (2002/03): Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/03. KTBL- Verlag Darmstadt.
- KUZYAKOV, Y. & G. DOMANSKI (2002): Model for rhizodeposition and CO₂ efflux from planted soil and its validation bei ¹⁴C-Pulse-Labeling of ryegrass. Plant and soil 239. S. 87-102.
- LAMMEL (1994): Grundwasserschonender Einsatz mineralischer Stickstoffdüngemittel. In: KTBL-Arbeitspapier 206: Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten, S. 222-233; Darmstadt.
- LAMMEL, J. SÖCHTIG, H. & D. SAUERBECK (1988): Stickstoffaustrag durch Dräne und Vorfluter in einem ackerbaulich genutzten Wassereinzugsgebiet. VDLUFA-Schriftenreihe 28. Kongressband 1988. S. 219-230.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) & LABO (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN) (2002): Gemeinsamer Bericht von LAWa und LABO zu Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft aus Sicht des Gewässer- und Bodenschutzes vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie. Hannover.

- LWK (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER)(2003): Ergebnisse der Landessortenversuche. Winterraps 2003. Eigenverlag, Hannover.
- LWK (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER)(2004): Ergebnisse der Landessortenversuche. Winterraps 2004. Eigenverlag, Hannover.
- LWK (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER)(2005): Ergebnisse der Landessortenversuche. Winterraps 2005. Eigenverlag, Hannover.
- LICKFETT, T. & E. PREZEMECK (1994) Stickstoffsalden von Rapsfruchtfolgen bei verminderter Produktionsintensität. VDLUFA-Schriftenreihe 38, Kongressband 1994. S.769-772.
- LICKFETT, T. & E. PREZEMECK (1997): Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen auf den Stickstoffhaushalt. IN GEROWITT , B. & M. WILDENHAYN (Hrsg.): Ökologische und Ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94. Goltze-Druck Göttingen. S. 91-125.
- LICKFETT, T. (1997): Verwertung von Mineraldünger-Stickstoff durch Raps. Raps, 15. Jg.(1), 1997. S. 28-32.
- LICKFETT, T. (2000): Stickstoff-Problematik in Rapsfruchtfolgen. In: MÖLLERS, C. (Hrsg.): Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Initiativen zum Umweltschutz, Bd.21. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.; Berlin S. 9-29.
- MAX, J. (2004): Einfluß von N-Düngung und Bodenbearbeitung auf Wurzelwachstumsdynamik, 14C-Assimilatverteilung und Rhizodeposition von Winterraps (*Brassica napus* L.) . Diss., Universität Kiel. <http://e-diss.uni-kiel.de/diss - 1122/d1122.pdf>. 29.01.2006.
- MÜLLER, U., SCHÄFER, W. & F. RAISSI (2000): Das Fachsystem Boden als Instrument der bodenkundlichen Beratung. Arb.-H. Wasser Hannover 2000/1. S. 107-115.
- NLÖ (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE)(2001): Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Eigenverlag, Hildesheim.

- NLÖ (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE)(2003): Vorläufige Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-N_{min}-Programmen. Optimierung von Herbst- N_{min}-Programmen zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen und Prognose der Sickerwasserqualität. Eigenverlag, Hildesheim.
- ÖKO-INSTITUT E.V. INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE (2004): Nachwuchs für Deutschland. 3f design, Darmstadt.
- ORTSEIFEN, U. & B. SCHEFFER (1997): Der Nitrataustrag aus dem durchwurzeltten Boden typischer Regionen Niedersachsens nach Modellberechnungen. Z. f. Kulturtechnik u. Landentwickl., 38, S. 178 – 183.
- PAMPERIN, L. (2002): Nitratverlagerung in Abhängigkeit von der Bodennutzung, den Standorteigenschaften und der Grundwasserneubildung eines stauwasserbeeinflussten Grundmoränenstandortes. Diss. Universität Hannover. Der Andere Verlag, Osnabrück.
- PAMPERIN, L., SCHEFFER, B. & W. SCHÄFER (2002): Empfehlungen zur grundwasser-schonenden Landnutzung in einem Wasserschutzgebiet an Hand von Feldversuchsdaten. Landnutzung und Landentwicklung 44, (2003). Blackwell Verlag, Berlin. S. 63-69.
- PASDA, G. & W. DIEPENBROCK (1990): Die physiologische Ertragsanalyse der Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.). Teil 1: Biologische Grundlagen und Ertragsbildung. Fat. Sci. Techn. 92. S. 297-310.
- REDLBERGER, H. (2004): Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft. Betriebswirtschaftliche Instrumente. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- REINHARDT, G.(2000): Ökobilanz Bioenergieträger: Basisdaten, Ergebnisse, Bewertungen. Initiativen zum Umweltschutz, Band 17. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.

- REINHOLD, G. (2001): Betriebswirtschaftliche Bewertung der Bereitstellung von Stroh und Energiegetreide. In: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Gülzower Fachgespräche, Band 17. Tangram documents, Rostock. S. 50-60.
- SAUERBECK, D. & B. JOHNEN (1976): Der Umsatz von Pflanzenwurzeln während der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur „Bodenatmung“. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 139. S. 315-328.
- SAUERBECK, D., SÖCHTIG, H. & A. WESTING (1988): Stickstoffbilanz eines ackerbaulich genutzten Wasserschutzgebietes. VDLUFA-Schriftenreihe 28. Kongressband 1988. S. 273-279.
- SAUERMAN (2002): Ertragstabilität von Linien – und Hybridsorten bei Winterraps. Raps 2, 20. Jg. S. 67-71.
- SCHEFFER F. & F. SCHACHTSCHABEL (1989) : Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHEFFER, B. (1993): Hohe Nitratausträge nach Raps. Pflanzenbau Nr.28. S. 8-9.
- SCHEFFER, B. (1994): Stickstoffumsetzungen im Boden. In: DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V.) (Hrsg.): Verminderung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in das grundwasser- Grundlagen und Fallbeispiele. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., H. 106. S. 17-32.
- SCHEFFER, B & U. ORTSEIFEN. (1997): Zur Abschätzung des Nitrataustrages in die Gewässer am Beispiel der Böden Niedersachsens. Zbl. Geol. Päläont. Teil 1, H. 1/2. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. S. 61-70.
- SCHEFFER, B. (1997): Einfluss der Flächennutzung und Düngung auf die Grundwasserqualität, N-Flächenbilanzen als Kontrollinstrument. Wasserwirtschaft 87 (1997), 2. S. 72-75

- SCHEFFER, K. & C. SCHWERIN VON (1999): Rapsanbau mit optimierter Energiebilanz durch ein neues Ernte- und Verarbeitungsverfahren. Anwenderforum Energetische Nutzung von Pflanzenöl und Biogas. Kloster Banz, OTTI Technologie-Kolleg. S. 7-15.
- SCHEFFER, K (2000): Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten- Ein neuer Ansatz zur ökonomischen und Ökologischen Optimierung der Biomassenutzung. In: WOLFRUM, J. & S. WITTIG (Hrsg.): Energie und Umwelt - wo liegen optimale Lösungen? Union der deutschen Akademie der Wissenschaften, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, S. 117-126.
- SCHEFFER, K (2003): Die Bedeutung einer integralen Landwirtschaft. In: Wie wird der Landwirt zum Energiewirt ? Eurosolar e.V. Konferenzband. S. 51-57.
- SHELLER, E. (1993): Die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen aus dem Stickstoff-Stoffwechsel des Bodens: ein Beitrag zu einer Pflanzenernährungslehre des organischen Landbaus. Ökologie und Landwirtschaft (4). Verlag Josef Markgraf, Weikersheim.
- SCHJOERRING, J., BOCK, J., GAMMELVIND, L. JENSEN C.& V. MOGENSEN (1995): Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application an irrigation. *Plant soil* 177, pp. 255-264.
- SCHMITT, L. (1992): N-Mineralisierung verschiedener Böden bei aerober Inkubation von mineralischen und organischen Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung möglicher Priming-Effekte. Diss., Universität Giessen. Wissenschaftlicher Fachverlag Giessen 1992.
- SCHULZ, R. & W. SCHUMANN (2000): Untersuchungen zur Stickstoffaufnahme bei Winterraps. *Raps*, 18.Jg (1) 2000, S. 24-27.
- SCHWERIN VON, C. (2000): Erhöhung der Flächenproduktivität bei Raps durch energetische Nutzung der feuchtkonservierten Ganzpflanze. Diss., Universität Kassel. www.dissertation-verlag.de.

- SELING, K. & H. SCHRÖDER (1996): Ertrag, N-Entzug und N-Verwertung von Winterraps nach mineralischer und Gülle-N-Düngung. Ergebnisse aus dem SFB 192. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 9, S. 163-164.
- SELING, K. (2001): N-Bilanzen und Ertragstrend in unterschiedlichen Produktionssystemen. Pflanzenbauwissenschaften, 5(1). Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart. S. 24-32.
- SONNLEITNER, G. (2004): Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung – nur ein Fruchtfolgeglied oder mehr ? In: Ausbau der Bioenergie - im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz?! Eine Standortbestimmung. Perspektivforum des Bundesverbandes BioEnergie e.V. (BBE) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Tagungsband. S.11-16.
- SPITZER, A. & D. BARION (2002): Zukunft des flächendeckenden Gewässerschutzes. In: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (NLÖ)(Hrsg.): 10 Jahre Trinkwasserschutz in Niedersachsen. Modell der Kooperation zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft. Eigenverlag. S. 77-80.
- STAIB, F (2003): Jahrbuch erneuerbare Energien. Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Stoba Druck GmbH, Lampertswalde.
- STENGER, R. (1996): Dynamik des mineralischen Stickstoffs in einer Agrarlandschaft: Monitoring-Prozessstudien-Simulationen. FAM Bericht, Band 10, Shaker Verlag Aachen.
- STEINMANN, H. (2000): Pflanzenproduktion in Ackerbausystemen mit Rapsfruchtfolgen-Beobachtungen zu Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Pflanzenschutz. In: STEINMANN, H. & B. GEROWITT (Hrsg.): Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Universität Göttingen, Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt. Mecke Druck und Verlag, Duderstadt. S. 27-54.

- STÜLPNAGEL, R. (1993): Thermische Verwertung der Biomasse von Grünland – Eine Chance für Landwirtschaft und Umwelt? 2. Chemnitzer Arbeitsberatung, Verwertung Nachwachsender Rohstoffe, TU Chemnitz-Zwickau, Tagungsband S. 41-53.
- TEIWES, K., LICKFETT, T. & PRZEMECK, E. (1996): Stickstoffverlagerung in abgestuft extensivierten Rapsfruchtfolgen. *Agribiol. Res.* 49, 4. S. 299-306.
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM, DOKUMENTATIONSTELLE UNTER MITWIRKUNG DES AUSSCHUSSES FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE UND DER BUNDESANSTALT FÜR ALPENLÄNDISCHE LANDWIRTSCHAFT GUMPENSTEIN. (HRSG.) (1997): DLG- Futterwerttabellen Wiederkäuer. DLG-Verlag Frankfurt.
- VEENKER, H, MOHR, C. & H. STEINMANN (2003): Stickstoff-Dynamik und Stickstoffbilanzen. In: STEINMANN, H. (Hrsg.): Integrierte Ackerbausysteme in Versuch und Praxis. Ergebnisse aus dem Göttinger INTEX-Projekt und seinen Demonstrationsflächen. Mecke Druck und Verlag, Duderstadt. S. 40-49.
- VOß, W. (1997): Praktische Statistik mit SPSS. Carl Hanser Verlag, München.
- WANG (2001): Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisorten verschiedenen Wuchstyps. Diss., Humboldt-Universität, Berlin.
- WARMHOFF, W. (1991): Strategie für eine integrierte Unkrautbekämpfung im Winterraps. *Raps* 9. S. 126-128.
- WARMHOFF, W. (2000): Integrierter Rapsanbau: Untersuchungen zur Entwicklung integrierter Produktionsverfahren am Beispiel des Winterrapses (*Brassica napus* L.). Initiativen zum Umweltschutz; Band 16. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.
- WILDENHAYN, M. (1997): Produktionsverfahren und Ertragsbildung in den Anbausystemen. In: GEROWITT, B & M. WILDENHAYN (Hrsg.) (1997): Ökologische und Ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmassnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94. Goltze-Druck Göttingen. S. 35-59.

- WITTE, F. (2002): Das Niedersächsische Kooperationsmodell. Erfahrungen sowie Anforderungen unter sich ändernden Bedingungen in der Agrar- und Umweltpolitik. In: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (NLÖ): 10 Jahre Trinkwasserschutz in Niedersachsen. Modell der Kooperation zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft. Eigenverlag. S. 27-29.
- ZEIDLER, H., PAMPERIN, L. BARTELS, R., SCHEFFER, B., BEHRENS, R. & NITSCH, A. (2000): Reduzierung des Nitrateintrages durch Änderung der Nutzungsintensität und Vergleich verschiedener Nutzungsmöglichkeiten. Abschlussbericht des Pilotvorhabens. Eigenverlag NLFb, Bremen.

Tab. A2: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Lemshausen (Winterraps „Arthus“) 2002/03

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körner- raps	Körner- raps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM + N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			998,98	1036,99				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	395,20	505,70			395,20	505,70	395,20	505,70
Raps-GPS / Strohfraktion 6,50 €/dt	549,25	616,85			549,25	616,70	549,25	616,85
Mais-Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					472,55	472,55	508,90	508,30
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	944,45	1122,55	998,98	1036,99	1417,00	1594,95	1453,35	1630,85
Marktleistung [€/ha]	944,45	1122,55	998,98	1036,99	1417,00	1594,95	1453,35	1630,85
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
Gesamtleistung [€/ha]	1291,45	1469,55	1345,98	1383,99	1764,00	1941,95	1800,35	1977,85
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	31,00	31,00	31,00	31,00	113,00	113,00	113,00	113,00
Dünger [€/ha]	257,33	257,33	257,33	257,33	257,33	257,33	297,33	297,33
Pflanzenschutz [€/ha]		90,94		90,94		90,94		90,94
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	109,68	128,14	56,62	58,78	40,49	37,13	41,74	37,36
Σ Direktkosten [€/ha]	398,01	507,41	344,95	438,05	410,82	498,4	452,07	538,63
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	102,65	121,09	113,05	121,09	388,91	404,19	388,91	404,19
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	154,00	144,00	154,00	154,00	154,00	154,00	154,00	154,00
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	265,65	265,09	267,05	275,09	542,91	558,19	542,91	558,19
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	893,44	962,14	1001,03	945,94	1353,18	1443,55	1348,28	1439,22
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	546,44	615,14	654,03	598,94	1006,18	1096,55	1001,28	1092,22
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	636,79	697,05	733,98	670,85	810,27	885,36	805,37	811,03
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	289,79	350,05	386,98	323,85	463,27	538,36	458,37	534,03
Arbeitskraftstunden eigen ges. (Akh/ha)	9,3	9,7	8,2	9,7	28,00	30,9	28,0	30,9
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	1,4	1,8	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

Tab. A4: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Panther“) 2001/02

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnerraps	Körnerraps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM +N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			633,60	652,80				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	412,10	421,20			412,10	421,20		
Raps-GPS / Strohfraction 6,50 €/dt	343,20	369,20			343,20	369,20		
Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					59,50	59,50		
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	755,30	790,40	633,60	652,80	814,80	849,90		
Marktleistung [€/ha]	755,30	790,40	633,60	652,80	814,80	849,90		
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00		
Gesamtleistung [€/ha]	1102,30	1137,40	979,60	998,80	1161,80	1196,90		
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	34,00	34,00	34,00	34,00	115,00	115,00		
Dünger [€/ha]	105,23	105,23	105,23	105,23	129,23	129,23		
Pflanzenschutz [€/ha]		53,09		53,09		53,09		
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	34,58	78,80	38,31	39,47	35,73	35,97		
Σ Direktkosten [€/ha]	222,60	319,92	226,33	280,59	279,96	348,29		
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	167,76	255,25	121,29	126,65	242,01	247,37		
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	154,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00		
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	321,76	409,25	275,29	280,65	516,01	521,37		
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	879,70	817,48	753,27	718,21	881,84	848,61		
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	532,70	470,48	407,27	371,21	534,84	501,61		
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	557,94	408,23	477,98	437,56	365,83	327,24		
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	210,94	61,23	131,98	90,56	18,83	-19,76		
Arbeitskraftstunden eigen ges. (Akh/ha)	13,3	10,5	8,4	9,4	19,6	20,6		
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5		

Tab. A5: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Panther“) 2002/03

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnerraps	Körnerraps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM + N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			697,40	712,80				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	308,10	325,00			308,10	325,00	308,10	325,00
Raps-GPS / Strohfraktion 6,50 €/dt	442,00	464,10			442,00	464,10	442,00	464,10
Mais-Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					427,70	427,70	429,10	429,10
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	750,10	789,10	697,40	712,80	1177,80	1216,80	1179,20	1218,20
Marktleistung [€/ha]	750,10	789,10	697,40	712,80	1177,80	1216,80	1179,20	1218,20
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
Gesamtleistung [€/ha]	1097,10	1136,10	1044,40	1059,80	1524,80	1563,80	1526,20	1545,20
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	34,00	34,00	34,00	34,00	115,00	115,00	115,00	115,00
Dünger [€/ha]	133,43	133,43	133,43	133,43	133,43	133,43	157,43	157,43
Pflanzenschutz [€/ha]		44,34		44,34		44,34		44,34
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	36,01	93,88	32,32	43,09	38,28	38,55	38,29	47,88
Σ Direktkosten [€/ha]	225,24	354,45	248,55	303,66	316,51	361,12	340,52	394,45
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	187,88	256,05	140,00	127,45	240,13	248,17	242,01	247,37
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	154,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00	274,00	274,00
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	331,88	410,05	273,41	281,45	514,13	522,17	516,01	521,37
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	871,86	781,65	828,85	756,14	1208,29	1202,68	1186,68	1150,75
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	524,86	434,65	481,85	409,14	861,29	755,68	838,68	803,75
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	539,98	371,60	555,44	474,69	694,16	680,51	669,67	629,38
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	192,98	24,60	208,44	127,69	347,16	333,51	322,67	282,38
Arbeitskraftstunden eigen ges. (Akh/ha)	14,9	1,6	8,0	9,5	19,2	20,7	19,6	20,7
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5	3,5	3,5

Tab. A6: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Panther“) 2003/04

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnerraps	Körnerraps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM +N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			844,80	887,04				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	403,00	497,90			403,00	497,90	403,00	497,90
Raps-GPS / Strohfraction 6,50 €/dt	720,85	737,10			720,20	737,10	720,20	737,10
Mais-Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					494,90	494,90	498,40	498,40
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	1123,85	1235,00	844,80	887,04	1618,10	1729,90	1621,60	1732,84
Marktleistung [€/ha]	1123,85	1235,00	844,80	887,04	1618,10	1729,90	1621,60	1732,84
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
Gesamtleistung [€/ha]	1470,85	1582,00	1190,80	1233,04	1965,10	2076,90	1968,6	2079,84
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	34,00	34,00	34,00	34,00	115,00	115,00	115,00	115,00
Dünger [€/ha]	89,60	89,60	89,60	89,60	89,60	89,60	113,60	113,60
Pflanzenschutz [€/ha]		62,84		62,84		62,84		62,84
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	37,90	39,51	47,88	50,28	41,38	41,94	41,40	41,96
Σ Direktkosten [€/ha]	183,30	276,19	221,72	286,96	364,78	339,18	299,80	363,20
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	199,88	253,37	119,41	124,77	252,13	257,49	254,01	257,49
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	144,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00	274,00	274,00
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	343,88	407,37	273,41	278,77	526,13	531,49	528,01	531,49
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	1287,55	1305,81	969,08	946,08	1689,32	1737,72	1668,80	1716,64
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	940,55	958,81	623,08	599,08	1342,32	1390,72	1321,80	1369,64
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	943,67	898,44	695,67	667,31	1163,19	1206,23	1140,79	1185,15
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	596,67	551,44	349,67	320,31	816,19	859,23	793,79	838,15
Arbeitskraftstunden eigenen ges. (Akh/ha)	14,9	10,1	8,0	9,0	19,7	20,7	20,1	20,7
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5	3,5	3,5

Tab. A7: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Express“) 2001/02

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnerapps	Körnerapps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM + N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			518,40	577,92				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	345,80	352,30			345,80	352,30		
Raps-GPS / Strohfraktion 6,50 €/dt	322,40	340,60			322,40	340,60		
Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					59,50	59,50		
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	668,20	698,10	518,40	577,92	727,70	752,40		
Marktleistung [€/ha]	668,20	698,10	518,40	577,92	727,70	752,40		
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00		
Gesamtleistung [€/ha]	1015,20	1045,10	864,40	924,92	1074,70	1099,40		
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	27,50	27,50	27,50	27,50	109,5	109,5		
Dünger [€/ha]	105,23	105,23	105,23	105,23	105,23	129,22		
Pflanzenschutz [€/ha]		53,09		53,09		53,09		
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	34,70	24,08	21,60	26,08	35,12	35,29		
Σ Direktkosten [€/ha]	167,43	209,9	154,33	211,9	249,85	327,1		
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	204,19	255,25	121,29	126,65	242,01	247,37		
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	144,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00		
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	348,19	409,25	275,29	280,65	516,01	521,37		
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	847,57	835,20	710,07	713,02	824,85	772,30		
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	500,57	488,20	363,07	366,62	477,85	425,30		
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	499,38	425,95	434,78	432,37	308,84	250,93		
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	190,69	78,95	87,78	85,37	-38,16	-96,07		
Arbeitskraftstunden eigenen ges. (Akh/ha)	12,9	10,5	8,4	9,4	19,6	20,6		
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5		

Tab. A8: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Express“) 2002/03

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnertraps	Körnertraps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM +N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			611,60	612,48				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	256,10	276,90			256,10	276,90	256,10	276,90
Raps-GPS / Strohfraktion 6,50 €/dt	408,20	417,30			408,20	417,30	408,20	417,30
Mais-Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					427,70	427,70	441,70	441,70
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	664,30	694,20	611,60	612,48	1092,00	1121,90	1106,28	1135,9
Marktleistung [€/ha]	664,30	694,20	611,60	612,48	1092,00	1135,90	1106,28	1135,9
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
Gesamtleistung [€/ha]	1011,30	1040,20	957,60	958,48	1439,00	1468,90	1453,28	1462,90
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	27,50	27,50	27,50	27,50	109,5	109,5	109,5	109,5
Dünger [€/ha]	133,43	133,43	133,43	133,43	133,43	133,43	157,43	157,43
Pflanzenschutz [€/ha]		44,34		44,34		44,34		44,34
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	34,67	36,25	13,82	34,71	37,68	37,99	37,68	37,99
Σ Direktkosten [€/ha]	195,6	241,52	174,75	239,98	280,61	325,26	304,61	349,26
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	165,88	256,05	119,41	127,45	240,13	248,17	242,01	248,17
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	144,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00	274,00	274,00
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	309,88	410,05	273,41	281,45	514,13	522,17	516,01	522,17
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	815,70	798,68	782,85	718,50	1158,39	1143,64	1148,67	1113,64
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	468,70	451,68	435,85	371,50	811,39	796,64	801,67	766,64
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	505,82	388,63	509,44	436,96	644,26	621,47	632,66	591,47
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	158,82	41,63	162,44	89,96	297,26	274,47	285,66	244,47
Arbeitskraftstunden eigenen ges. (Akh/ha)	12,4	10,6	8,0	9,5	19,2	20,7	19,6	20,7
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5	3,5	3,5

Tab. A9: Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnungen Hebenshausen (Winterraps „Express“) 2003/04

	Raps-GPS	Raps-GPS + PSM	Körnertraps	Körnertraps + PSM	ZKN	ZKN + PSM	ZKN + N	ZKN + PSM + N
Biomasseertrag netto [dt/ha]								
Rapskorn 20,00 €/dt			804,67	823,68				
Raps-GPS / Kornfraktion 13,00 €/dt	421,20	447,20			421,20	447,20	421,20	447,95
Raps-GPS / Strohfraktion 6,50 €/dt	569,79	672,10			569,79	672,10	569,79	672,10
Mais-Sonnenblumen-GPS 7,00 €/dt					467,39	467,39	498,40	498,40
Gesamtbiomasseertrag [dt/ha]	990,99	1119,30	804,67	823,68	1458,38	1641,84	1489,39	1618,45
Marktleistung [€/ha]	990,99	1119,30	804,67	823,68	1458,38	1641,84	1489,39	1618,45
sonst. Leistungen [€/ha]	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00	347,00
Gesamtleistung [€/ha]	1337,99	1466,30	1150,67	1169,68	1805,38	1988,84	1836,30	1965,45
Direktkosten								
Saatgut [€/ha]	27,50	27,50	27,50	27,50	109,5	109,5	109,5	109,5
Dünger [€/ha]	89,60	89,60	89,60	89,60	89,60	89,6	113,60	113,60
Pflanzenschutz [€/ha]		62,84		62,84		62,84		62,84
sonst. (Versicherung, Trocknung, ...)	38,35	53,70	46,69	45,61	40,25	42,16	41,86	42,18
Σ Direktkosten [€/ha]	155,45	233,64	163,79	225,55	239,35	304,10	264,96	328,12
Akh-Bedarf und Maschinenkosten								
Σ Akh + var. Masch.kosten, eigen [€/ha]	177,88	278,11	144,15	149,51	252,13	257,49	254,01	257,49
Σ Akh + var. Masch.kosten, fremd [€/ha]	144,00	154,00	154,00	154,00	274,00	274,00	274,00	274,00
Σ Akh + var. Masch.kosten, ges. [€/ha]	321,88	432,11	298,15	303,51	526,13	531,49	528,01	531,49
Direktkostenfreie Leistung (DfL) [€/ha]	1182,54	1232,66	986,88	944,13	1566,03	1704,65	1572,30	1637,33
DfL ohne sonstige Leistungen [€/ha]	835,54	885,66	639,88	597,13	1219,03	1357,65	1224,40	1290,33
Deckungsbeitrag (DB) [€/ha]	860,66	800,55	688,73	640,62	1039,9	1173,16	1044,30	1105,84
DB ohne sonstige Leistungen [€/ha]	513,66	453,55	341,73	293,62	629,9	834,95	697,30	842,69
Arbeitskraftstunden eigen ges. (Akh/ha)	12,9	11,5	9,4	10,4	19,7	20,7	20,1	20,7
Arbeitskraftstunden fremd ges. (Akh/ha)	3,5	1,4	1,4	1,4	3,5	3,5	3,5	3,5

Danksagung

Ich möchte mich an erster Stelle bei Prof. Dr. Konrad Scheffer bedanken. Für die Chance, dieses Projekt zu bearbeiten, die Zusammenarbeit und organisatorische Freiheit, die immerwährende Gesprächsbereitschaft und nicht zuletzt für die gute Zeit.

Ein besonderes Dankeschön gebührt den Mitarbeitern des INK - darunter Dr. Reinhold Stülpnagel für die Durchführung der Feldarbeiten und seine Hilfestellung, sowie Jürgen Reulein als Retter in jeder (Computer-)Not. Herzlich bedanken möchte ich mich auch insbesondere bei Florian Heuser und Sven Grebe. Und natürlich auch allen anderen Kolleginnen und Kollegen, die nicht alle namentlich genannt werden können, aber mir hilfreich zur Seite standen.

Herrn Bertram Schäfer danke ich für seine Hilfsbereitschaft und die vielen Diskussionen zum Thema Statistik .

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Prof. Dr. Bernhard Scheffer und seinem Laborteam vom Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB).

Die Durchführung der Feldversuche wäre ohne die Mithilfe der vielen helfenden Hände nicht möglich gewesen. Deswegen möchte ich mich auch recht herzlich bedanken bei all den studentischen Hilfskräften, die ohne Rücksicht auf das Wetter und ihren Rücken bei den zahlreichen Bodenproben und Ernten halfen.

Dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN, ehemals NLÖ) danke ich für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

