

COMPASS

Vergleichende Analyse der pflanzlichen Produktion
auf ökologischen und konventionellen Praxisbetrieben in Schleswig-Holstein

Endbericht



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

Vorwort

Die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein steht vor großen Herausforderungen bezüglich der Anforderungen im Rahmen der EU-Agrarumweltpolitik. Mit der europäischen Wasserrahmenrichtlinie und der EU-Nitratrichtlinie sind Vorgaben formuliert, die auf nationaler Ebene bzw. auf Ebene der Bundesländer in Maßnahmen umgesetzt werden müssen. Auf Bundesebene ist die neue Düngeverordnung das Ergebnis der Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie, und auf der Ebene des Bundeslandes Schleswig-Holstein werden zur Zeit Maßnahmen formuliert, die die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie gewährleisten. Alles in allem bedeutet dies, dass sich die pflanzliche Produktion in Schleswig-Holstein in den nächsten Jahren verstärkt an die Anforderung des Gewässerschutzes anpassen muss. Welche Auswirkungen die derzeitigen Intensitäten der pflanzlichen Produktion sowohl im Ackerbau als auch im Futterbau auf Nährstoffbilanzen und Gewässerbelastung auf den landwirtschaftlichen Betrieben im Lande haben, ist zur Zeit kaum bekannt. Es fehlen bisher so genannte On-Farm-Research-Ansätze, die in Form eines Monitorings die Ist-Situation auf den landwirtschaftlichen Betrieben bezüglich der Intensität, der Produktion und der Effizienz des Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes analysieren. Darüber hinaus wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass der ökologische Landbau bezüglich des Schutzes der Ressource Wasser günstigere Ergebnisse liefert als konventionelle Anbausysteme. Vorliegende Arbeiten auf den Versuchsgütern der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel zeigen jedoch, dass man dies offensichtlich in Abhängigkeit vom Standort (Geest/Hügelland) und von der Betriebspezialisierung (Marktfruchtbetriebe, Milchvieh-Futterbaubetriebe) differenzieren muss.

Ziel des Projektes COMPASS (comparative assessment of land use systems) war es somit, zum einen die Nährstoffflüsse und die Nährstoffverwertungseffizienz in der pflanzlichen Produktion Schleswig-Holsteins unter Berücksichtigung phytopathologischer Aspekte repräsentativ zu überprüfen und zum anderen eine Schwachstellenanalyse in den jeweiligen Regionen und Betriebszweigen durchzuführen, um daraus Optimierungspotentiale abzuleiten, die eine nachhaltige ökonomisch leistungsfähige Produktion in Schleswig-Holstein sichern und die Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinien erfüllen. Die Daten des COMPASS-Projektes dienen damit sowohl der landwirtschaftlichen Beratung und landwirtschaftlichen Praxis zur Optimierung der Produktionssysteme in wirtschaftlicher Hinsicht als auch der Politik im Lande, um z.B. aus Mitteln der 2. Säule der europäischen Agrarpolitik Maßnahmen zu formulieren, die in Abhängigkeit von regionalen Verhältnissen im Lande einem weitergehenden Schutz der Ressource Wasser dienen.

Wir danken dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein und der Landwirtschaftlichen Rentenbank Frankfurt für die finanzielle Förderung des Projektes, den beteiligten Betriebsleitern für eine immer kooperative Zusammenarbeit und die Bereitstellung umfangreicher Betriebsdaten, und schließlich den Projektbearbeitern Dr. Michael Kelm und M.Sc. Hinrich Hüwing für die mit großem Engagement durchgeführten Arbeiten. Mögen die Ergebnisse des COMPASS-Projektes und der ebenfalls dokumentierten assoziierten Projekte („Erfassung des Vorkommens von Antibiotika im Sickerwasser“ sowie „Bedeutung der Landnutzung auf die Avifauna“) zu einer Weiterentwicklung nachhaltiger leistungsfähiger Pflanzenproduktionssysteme im Lande beitragen.

Kiel, im Dezember 2006

Prof. Dr. Friedhelm Taube

Prof. Dr. Joseph-Alexander Verreet

Inhalt

1.	Zusammenfassung	3
2.	Hintergründe und Zielsetzung	5
3.	Projektbetriebe	7
4.	Teilprojekt A	11
4.1.	Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten	11
4.2.	Nährstoffflüsse und Nährstoffverluste durch Auswaschung	13
4.2.1.	Material und Methoden	13
4.2.2.	Ergebnisse	19
4.3.	Grünland-Umbruchversuch	41
4.3.1.	Material und Methoden	41
4.3.2.	Ergebnisse	42
4.4.	Botanische Diversität des Dauergrünlandes	45
4.4.1.	Material und Methoden	46
4.4.2.	Ergebnisse	46
4.5.	Konzeption optimierter Produktionssysteme mit dem Integrated farm System Model (IFSM)	48
4.5.1.	Material und Methoden	49
4.5.2.	Ergebnisse	51
4.6.	Noch nicht abgeschlossene Arbeiten	55
5.	Teilprojekt B	56
5.1.	Stand der Forschung	57
5.1.1.	Pflanzenkrankheiten im Weizen	57
5.1.2.	Qualität von ökologisch und konventionell erzeugtem Weizen	57
5.1.3.	Fusariumbefall und Mykotoxine	57
5.1.4.	Unkrautproblematik	58
5.1.5.	Pflanzenschutzmittel im Sickerwasser als potenzielle Gefahr für das Grundwasser	58
5.1.6.	Pflanzenschutzmittelrückstände in Nahrungsmitteln	59
5.2.	Material und Methoden	59
5.2.1.	Versuchsdesign	59
5.2.2.	Sortenwahl	60
5.2.3.	Standortbeschreibung	61
5.2.4.	Versuchsdurchführung	62
5.2.5.	Datenerhebung und Datenanalyse	65
5.2.6.	Befallsanalyse der Schadpathogene	65
5.2.7.	Erfasste Unkrautarten	71
5.2.8.	Mykotoxine und Pflanzenschutzmittelrückstände	73
5.2.9.	Ertrag und Qualitätsuntersuchungen	73
5.2.10.	Sickerwasseranalytik	75
5.2.11.	Witterung	76

5.2.12.	Statistische Auswertung	76
5.3.	Ergebnisse	76
5.3.1.	Witterung und Versuchsverlauf	76
5.3.2.	Krankheiten im Weizen	78
5.3.3.	Unkrautvorkommen und Entwicklung	94
5.3.4.	Erträge, Qualitäten und Mykotoxingehalte	111
5.3.5.	Sickerwasseranalytik	120
5.4.	Diskussion	121
6.	Teilprojekt C	134
6.1.	Material und Methoden	134
6.2.	Ergebnisse	136
6.2.1.	Anwendung von Antibiotika	136
6.2.2.	Gülleanalysen	136
6.2.3.	Sickerwasseranalysen	137
6.2.4.	Resistenzen	137
6.3.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	137
7.	Projekt AVI-LAND	139
7.1.	Material und Methoden	139
7.1.1.	Brutvogelkartierungen	139
7.1.2.	Vegetationsaufnahmen	141
7.2.	Ergebnisse und Diskussion	142
7.2.1.	Brutvögel	142
7.2.2.	Segetalvegetation	144
7.3.	Schlußfolgerungen	145
8.	PR- und Öffentlichkeitsarbeit, Wissenstransfer	146
8.1.	Internetpräsenz	146
8.2.	Projektinterne Veranstaltungen	146
8.3.	Weitere öffentliche und nicht-öffentliche Veranstaltungen	146
8.4.	Veröffentlichungen	147
9.	Schlussfolgerungen und Ausblick	148
10.	Literaturverzeichnis	150
11.	Danksagung	159

1. Zusammenfassung

1.1. Thema

Vergleichende Analyse der pflanzlichen Produktion ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe in Schleswig-Holstein mittels

- A. der Erfassung der Nährstoff- und Energieflüsse auf der Skalenebene des landwirtschaftlichen Betriebes
(Teilprojekt A, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau),
- B. der Erfassung der Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Sickerwasser, von Schadorganismen, Ackerbegleitflora und wertmindernden Lebensmittelinhaltsstoffen
(Teilprojekt B, Institut für Phytopathologie), und
- C. der Erfassung des Vorkommens von Antibiotika im Sickerwasser auf konventionellen und ökologischen Milchvieh-Futterbaubetrieben **(Teilprojekt C, Institut für Tierzucht und Tierhaltung).**

1.2. Kurzbezeichnung

COMPASS (Comparative assessment of land use systems).

1.3. Projektleiter

Prof. Dr. Friedhelm Taube (Teilprojekt A)

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Herrmann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel

Fon 0431 . 880 2134

Fax 0431 . 880 4568

E-Mail ftaube@email.uni-kiel.de

Prof. Dr. Joseph-Alexander Verreet (Teilprojekt B)

Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Herrmann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel

Fon 0431 . 880 2996

Fax 0431 . 880 1583

E-Mail javerreet@phytomed.uni-kiel.de

Prof. Dr. Joachim Krieter

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Olshausenstraße 40, 24118 Kiel

Fon 0431 . 880 2585

Fax 0431 . 880 2588
E-Mail jkrieter@tierzucht.uni-kiel.de

1.4. Projektbearbeiter

Dr. Michael Kelm (Teilprojekt A)
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer
Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Herrmann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel
Fon 0431 . 880 3275
Fax 0431 . 880 4568
E-Mail mkelm@email.uni-kiel.de

M.Sc. agr. Hinrich Hüwing (Teilprojekt B)
Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Herrmann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel
Fon 0431 . 880 7433
Fax 0431 . 880 1583
E-Mail hhuewing@phytomed.uni-kiel.de

Dr. Nicole Kemper (Teilprojekt C)
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Olshausenstraße 40, 24118 Kiel
Fon 0431 . 880 4533
Fax 0431 . 880 2585
E-Mail nkemper@tierzucht.uni-kiel.de

1.5. Projektdauer

01.03.04 bis 31.12.06 (Teilprojekt C: 01.03.05 bis 28.02.07)

1.6. Projektfinanzierung

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR) des Landes Schleswig-
Holstein, Abteilung Wasserwirtschaft, Kiel;
Landwirtschaftliche Rentenbank Frankfurt/Main.

2. Hintergründe und Zielsetzung

Die Bewertung der Umweltverträglichkeit agrarischer Landnutzungssysteme fokussiert sich zunehmend auf die Skalenebene des landwirtschaftlichen Betriebes. Die Forschung betrachtet meist die experimentelle Ebene, Effekte treten jedoch auf regionaler, nationaler oder globaler Ebene auf. Die Praxis hat großen Einfluss auf der Schlag- und Betriebsebene, daher ist eine Bewertung von Umweltindikatoren mindestens auf dieser Ebene notwendig. Der Prozessqualität landwirtschaftlicher Produktion wird immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Dies betrifft vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie die Analyse der Zusammenhänge zwischen der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen und anthropogenen, diffusen Stoffeinträgen in Grund- und Oberflächengewässer, sowie immer stärker auch die Transparenz und Qualitätssicherung in der Erzeugung qualitativ hochwertiger Nahrungsmittel. Da sämtliche Anbau- und Bewirtschaftungsentscheidungen vom jeweiligen Betriebsleiter getroffen werden und die Prozessqualität in der landwirtschaftlichen Produktion somit direkt von dieser Entscheidungsebene abhängt, kann nur die Analyse von Schwachstellen auf Betriebsebene zu einer Optimierung der Produktionsabläufe beitragen.

Der ökologische Landbau wird häufig als besonders umweltverträglich und daher förderungswürdig betrachtet (z.B. Haas und Köpke, 1994; Mäder et al., 2002). Es ist jedoch zu hinterfragen, ob der Schluss einer generellen Überlegenheit des ökologischen Landbaus gegenüber anderen Produktionssystemen in Bezug auf ökologische und agronomische Schlüsselleistungen – worauf sich die bestehende Praxis der Förderung des ökologischen Landbaus durch Bund und Länder gründet – anhand des bisher verfügbaren Wissens zulässig ist. In einigen Arbeiten konnte keine Überlegenheit des ökologischen Landbaus in bestimmten Umweltwirkungskategorien dokumentiert werden (Haas et al., 2001; Helander und Delin, 2004; Nemecek et al., 2001). Des Weiteren begrenzen methodische Aspekte der Versuchsanstellung sowie nach wie vor existente Wissenslücken die Möglichkeiten, wissenschaftlich hinreichend belastbare und verallgemeinerungsfähige Aussagen zu treffen. Beispielsweise ergaben umfangreiche Literaturrecherchen von Haas (2001) sowie Hole et al. (2005), dass (i.) es ungeklärt bleibe, ob holistische Ansätze auf der Ebene des gesamten Betriebes wie der ökologische Landbau positivere Auswirkungen auf den biotischen und abiotischen Ressourcenschutz hätten als das Vorhandensein nicht landwirtschaftlich genutzter Strukturen auf konventionellen Betrieben (Agrarumweltprogramme); (ii.) viele Vergleichsuntersuchungen zum ökologischen gegenüber dem konventionellen Landbau methodische Schwächen aufwiesen; (iii.) das vorhandene Wissen über die Auswirkungen ökologischer Bewirtschaftung auf Grünland- und Grenzstandorten sei begrenzt sei; und (iv.) nach wie vor die Notwendigkeit umfassender Studien auf Systemebene bestehe, bevor eine vollständige Bewertung der Leistungen des ökologischen Landbaus auf den Ressourcenschutz in Agrarökosystemen vorgenommen werden könne.

Ein weiterer Aspekt, der in der vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Landnutzungssysteme berücksichtigt werden muss, ist die Frage der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Parzellenversuchen in die landwirtschaftliche Praxis. Oft fehlt die entsprechende Validierung von Versuchsergebnissen unter variierenden Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen. Es existiert bisher kein systematisch und repräsentativ

erhobener Datensatz, in welchem zentrale agronomische, ökologische und Parameter der Prozess- und Produktqualität auf der Ebene landwirtschaftlicher Praxisbetriebe erhoben worden sind.

Im Projekt COMPASS werden daher auf 32 Praxisbetrieben ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweisen in Schleswig-Holstein zentrale Parameter wie Erträge, Produktqualitäten, Nährstoffkreisläufe, Nährstoff-Auswaschungsverluste, Pflanzenschutzmittel- und Antibiotikarückstände im Sickerwasser und am Erntegut, sowie die Artenvielfalt von Flora und Fauna systematisch untersucht. Das Projekt besteht aus den drei Teilprojekten

- A. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
- B. Institut für Phytopathologie,
- C.– Institut für Tierzucht und Tierhaltung,
sowie dem assoziierten Projekt
- D. AVI-LAND des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau.

Die Untersuchungen finden auf 32 repräsentativen und überdurchschnittlich leistungsfähigen Praxisbetrieben in ganz Schleswig-Holstein statt, die im Hinblick auf den Spezialisierungsgrad (Marktfruchtbau, Milchvieh-Futterbau), den Standort (Marsch, Geest, Hügelland) sowie die Intensität (konventionell, ökologisch) systematisch ausgewählt sind. Die Anordnung in Betriebspaaren von je einem ökologisch und einem ansonsten vergleichbaren konventionell wirtschaftenden Betrieb an einem Standort ermöglicht auch den Vergleich der beiden Wirtschaftsweisen unter Ausschluß verzerrender Standortfaktoren.

Die erhobenen Daten ermöglichen eine Schwachstellenanalyse im Hinblick auf die Optimierung von Produktionssystemen, und stellen für Praxis, Beratung, Forschung und Politik eine repräsentative und valide Entscheidungsgrundlage dar.

3. Projektbetriebe

Die Auswahl der Projektbetriebe erfolgte anhand folgender Prämissen:

- i. Spitzenbetriebe (Betriebe, die eine über dem Durchschnitt der vergleichbar spezialisierten Betriebe in der jeweiligen Region liegende ökonomische Leistungsfähigkeit und Managementqualität aufweisen),
- ii. Möglichkeit des Vergleichs zweier in Schleswig-Holstein dominierender Betriebstypen (spezialisierte Marktfruchtanbau, spezialisierter Milchvieh-Futterbau),
- iii. Möglichkeit des Vergleichs konventionell und ökologisch wirtschaftender Betriebe unter Ausschluss verzerrender Faktoren (Betriebspaare an jeweils einem Standort), und
- iv. Repräsentation der Naturräume Schleswig-Holsteins (Marsch, Geest, östliches Hügelland).

Die Anzahl der Projektbetriebe beträgt insgesamt 32, davon

- ※ 8 konventionell wirtschaftende Marktfruchtbetriebe,
- ※ 8 ökologisch wirtschaftende Marktfruchtbetriebe,
- ※ 8 konventionell wirtschaftende Milchvieh-Futterbaubetriebe, und
- ※ 8 ökologisch wirtschaftende Milchvieh-Futterbaubetriebe.

An einem Standort befinden sich jeweils ein konventionell und ein ökologisch wirtschaftender Betrieb derselben Spezialisierungsrichtung (Ackerbau oder Milchvieh-Futterbau). Diese Systematisierung des Monitorings ermöglicht den Vergleich der unterschiedlichen Wirtschaftsweisen unter weitgehendem Ausschluss verzerrender Faktoren wie Spezialisierungsgrad, Bodenverhältnisse und Witterung. Bei der Auswahl der zwei Betriebe eines Betriebspaares wurde darauf geachtet, dass die zwei zu vergleichenden Betriebe sich – abgesehen von der Wirtschaftsweise (konventionell, ökologisch) – so weit wie möglich ähneln. Dies betrifft z.B. die Bodenverhältnisse, die Viehdichte (bei Milchvieh-Futterbaubetrieben), die angebauten Kulturarten, und das Vorhandensein anderer, zusätzlicher Betriebszweige. Aufgrund der im Vergleich zu konventionellen Betrieben geringen Anzahl ökologisch wirtschaftender Betriebe in Schleswig-Holstein wurde zunächst ein ökologischer Betrieb ausgewählt, und anschließend ein möglichst vergleichbarer konventionell wirtschaftender Betrieb in räumlicher Nähe gesucht. Die uneingeschränkte Vergleichbarkeit zweier Betriebe eines Betriebspaares konnte jedoch nicht in allen Fällen gewährleistet werden, da nicht immer ein exakt passender Vergleichsbetrieb in räumlicher Nähe vorhanden war. Auch ist die Bereitschaft der Betriebsleiter, zuverlässig im Projekt mitzuarbeiten, ein wichtiges Auswahlkriterium gewesen. In einigen Fällen wurde auch auf Betriebe zurückgegriffen, mit denen bereits eine Zusammenarbeit durch vorhergehende Projekte (IPS-Modelle des Instituts für Phytopathologie) bestand. Daher spiegelt die letztendliche Auswahl der 32 Betriebe den bestmöglichen Kompromiss wieder. Einige der Marktfruchtbetriebe führen auch Tierhaltung durch, und zwar Ferkelerzeugung oder extensive Mutterkuhhaltung. Dies wird jedoch nicht als relevant für das Teilprojekt B (Institut für Phytopathologie) angesehen. Im Teilprojekt A (Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau) werden diese Betriebe im Hinblick auf deren Nährstoffbilanzen gesondert angesprochen.

Der Betriebsgröße wurde nur eine untergeordnete Bedeutung zugemessen, da davon ausgegangen wurde, dass die Betriebsgröße sich im Wesentlichen auf betriebswirtschaftliche Parameter sowie die eingesetzten Maschinengrößen auswirkt, jedoch kaum auf die agronomische Gestaltung von Anbauverfahren. Jedoch wurde auf eine Mindestgröße der Projektbetriebe geachtet (Minimum ca. 60 ha bei Milchvieh-Futterbaubetrieben, ca. 100 ha bei Marktfruchtbetrieben), um eine dem Stand der Technik entsprechende moderne Ausstattung zu gewährleisten.

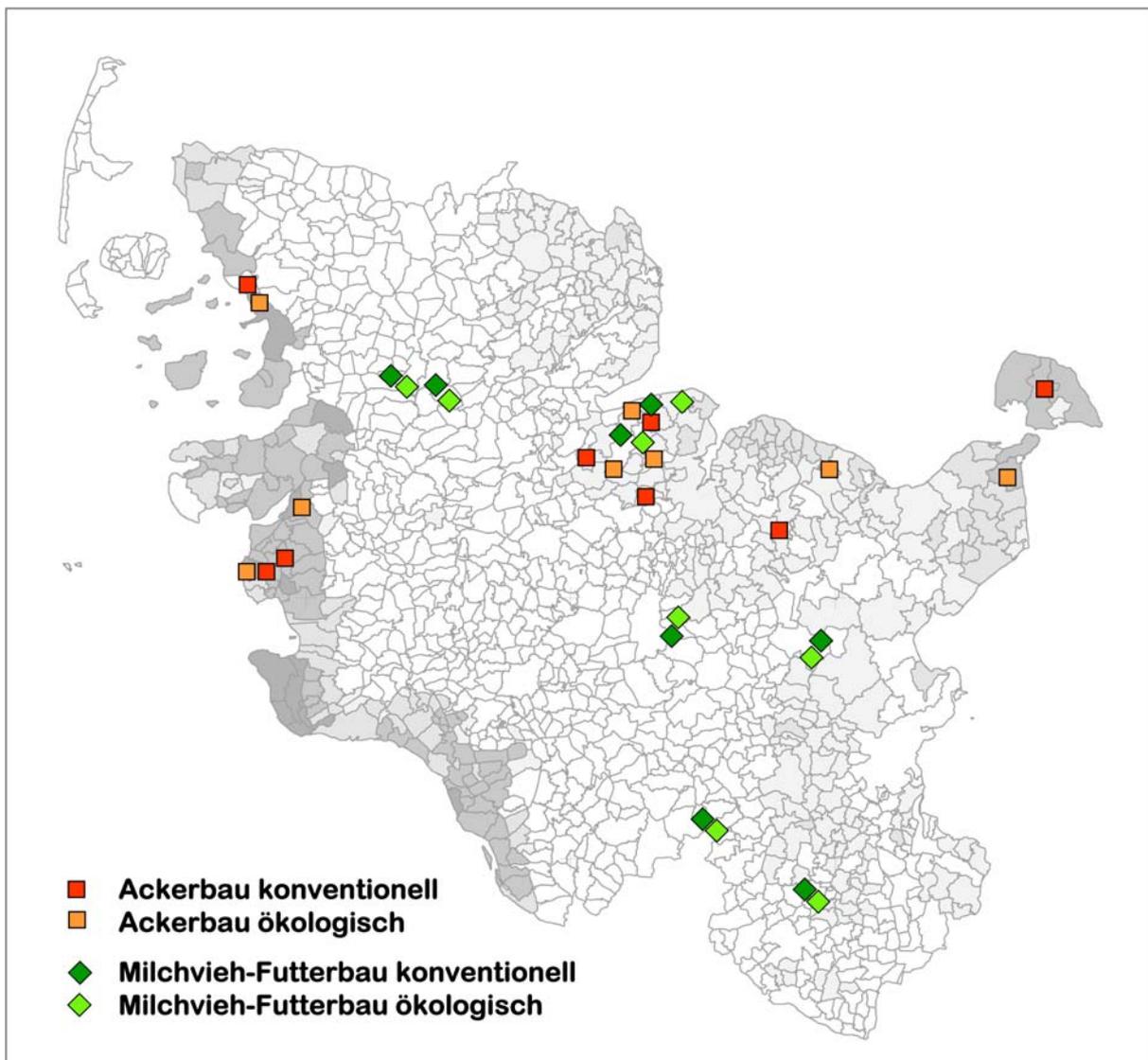


Abb. 1 Lage der Projektbetriebe in Schleswig-Holstein (Intensität der Graufärbung entspricht der Bodengüte bzw. Ackerzahl eines Standortes).

In den Tabellen 1 und 2 sind die 32 Projektbetriebe in einer Kurzcharakteristik wiedergegeben. Die Angaben zur Betriebsgröße (landwirtschaftlich genutzte Fläche LF ohne Dauerstilllegung) beziehen sich auf den Stichtag 30.06.05; die Milchproduktion (bestehend aus abgelieferter, im Haushalt verbrauchter, und nicht verwertbarer Milch) auf den Zeitraum 01.07.04 bis 30.06.05.

Detaillierte Kenngrößen der 16 Milchvieh-Futterbaubetriebe sind auch in den Tabellen A5 und A6 (Abschnitt 4.1.2.) dargestellt.

Tab. 1 Projektbetriebe Ackerbau

Betrieb Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Intensität	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.
Standort/ Naturraum	Probstei/ Selenter Seengebiet	Fehmarn	Dän. Wohld/ Westenseer Endmoränen	Dän. Wohld	Westenseer Endmoränen	Hauke-Haien- Koog	Dithmarscher Marsch	Dithmarscher Marsch
Betriebszweige	Ackerbau	Ackerbau	Ackerbau	Ackerbau	Ackerbau, Schweinemast	Ackerbau, Fer- kelerzeugung	Ackerbau	Ackerbau
angebaute Kulturarten	W-Raps, W-Weizen, W-Gerste	W-Raps, W- Weizen, Kohl	W-Raps, W- Weizen, W- Gerste, Tri- ticale, Ha- fer, Z.rüben	W-Raps, W- Weizen, Zucker- rüben	W-Raps, W- Weizen, W- Gerste, Zucker- rüben	W-Raps, W- Weizen, W- Gerste	W-Weizen, S-Weizen, S-Gerste, Hafer, Kartoffeln	W-Raps, W- Weizen, Kohl, Möhren
LF [ha] *	1.195	97	1.435	688	140	106	168	41
ökolog. Ver- gleichsbetrieb	9	10	11	12	13	14	15	16
Standort/ Naturraum	Selenter Seengebiet	Neu- Oldenburg	Dän. Wohld	Dän. Wohld	Dän. Wohld	Sönke-Nissen- Koog	Dithmarscher Marsch	Dithmarscher Marsch
angebaute Kulturarten	W-Weizen, S- Weizen, W- Gerste, W- Dinkel, Hafer, Ackerbohnen, Rotklee gras	W-Raps, W- Weizen, S- Weizen, Tri- ticale, Hafer, Erbsen, Rotklee gras	W-Weizen, W- Dinkel, Hafer, Ackerbohnen, Erbsen, Perserklee	W-Weizen, S- Weizen, W- Dinkel, Hafer, Erbsen, Kartoffeln, Rotklee gras	W-Dinkel, S- Gerste, Hafer, (Weißklee gras)	W-Weizen, S- Gerste, Möhren, Rotklee gras	W-Weizen, S- Weizen, S- Gerste, Hafer, Erbsen, Kohl, Rotklee gras	W-Weizen, S- Weizen, S- Gerste, Erbsen, Möhren, Kohl, div. Gemüse, Rotklee gras
Betriebszweige	Ackerbau	Ackerbau, Mutterkühe	Ackerbau	Ackerbau, Mutterkühe	Ackerbau, Schweinemast	Ackerbau	Ackerbau	Ackerbau
LF [ha] *	210	119	360	127	205	157	122	152
Jahr der Umstellung	1989	1989	1989	1994-2001	1989	1989	1987	1982

* ohne Dauerstilllegung, Stand: 30.06.05

Tab. 2 Projektbetriebe Milchvieh-Futterbau

Betrieb Nr.	17	18	19	20	21	22	23	24
Intensität	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.
Standort/ Naturraum	Ostenfelder Geest	Dän. Wohld	Stormarner Endmoränen- gebiet	Alster- niederungen	Schleswiger Vorgeest	Holsteinische Schweiz	Holsteinische Vorgeest	Dän. Wohld
Betriebszweige	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau, Bullenmast, Biogas	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau, Bullenmast
LF [ha] *	74	62	123	102	107	122	108	151
Milcherzeugung [kg ECM] #	687.000	581.000	928.000	630.000	760.000	747.000	626.000	1.058.000
ökolog. Ver- gleichsbetrieb	25	26	27	28	29	30	31	32
Standort/ Naturraum	Ostenfelder Geest	Dän. Wohld	Stormarner Endmoränen- gebiet	Obere Alster	Schleswiger Vorgeest	Holsteinische Schweiz	Holsteinische Vorgeest	Dän. Wohld
Betriebszweige	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau, Biogas	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau, Pensionspferde	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau, Pferdezucht	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau	Milchvieh- Futterbau, Ackerbau
LF [ha] *	423	139	104	209	111	221	98	56
Milcherzeugung [kg ECM] #	1.733.000	213.000	524.000	388.000	611.000	267.000	269.000	271.000
Jahr der Umstellung	1989	1991	1986	1994	1987	1989	1991	1985

* ohne Dauerstilllegung, Stand: 30.06.05

energiekorrigierte Milch; einschl. abgelieferte, im Haushalt verbrauchte und nicht verwertbare Milch; Zeitraum 01.07.04 – 30.06.05

4. Teilprojekt A

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau

4.1. Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten

Zentrale einzelbetriebliche Indikatoren zur Beurteilung sowohl der pflanzenbaulichen Leistungsfähigkeit als auch der ökologischen Belastungspotenziale sind Nährstoff- und Energiebilanzen. Da diese Indikatoren mit moderatem Aufwand ermittelt werden können und eine enge Beziehung zu umweltrelevanten Effekten (Nährstoffeintrag in Grund- und Oberflächenwasser, Treibhausgasemissionen) aufweisen, sind sie für alle beteiligten Akteure von besonderem Interesse. Vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, die den Grundsatz einer Umkehr signifikanter Belastungstrends und die Begrenzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser formuliert, werden im COMPASS-Teilprojekt A insbesondere die ökologischen Belastungspotenziale für Boden und Grundwasser durch Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen betrachtet. Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) besteht weiterhin Forschungsbedarf für eine Reihe von Vorgaben aus der Wasserrahmenrichtlinie, so die Überprüfung der Auswirkungen anthropogener Tätigkeiten auf die Qualität des Grundwassers (BMU, 2003). Anhand von Langzeitbeobachtungen zur Grundwasserbeschaffenheit in Schleswig-Holstein konnte Steinmann (2006) nur einen schwach ausgeprägten Zusammenhang zwischen den gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser und landwirtschaftlichen Nutzungs-Parametern des Einzugsgebietes feststellen. Ein wesentlicher Grund hierfür wird in der Unschärfe des Datenmaterials gesehen, insbesondere was das landwirtschaftliche Management in einem Grundwasser-Einzugsgebiet und die damit verbundenen Belastungspotenziale betrifft. Des Weiteren zeigen die Langzeitbeobachtungen in Schleswig-Holstein, dass an 70% der Messstellen deutlich oder stark erhöhte Nitratkonzentrationen auftreten, und kein signifikanter Rückgang zu verzeichnen ist (LANU, 2002; Steinmann, 2006).

Auf Parzellenniveau konnte auf den Versuchsgütern der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel gezeigt werden, dass eine enge Beziehung zwischen Stickstoff-Flächenbilanzsaldo und der Nitratbelastung des Sickerwassers besteht. Diese Beziehung ist bei Weidewirtschaft mit konventionell praxisüblichen N-Düngungsintensitäten auf auswaschungsgefährdeten Geeststandorten besonders ausgeprägt (Büchter et al., 2002; Wachendorf et al., 2004), während auf ackerbaulich genutzten Standorten höherer Bodengüte oft nur ein schwacher Zusammenhang zwischen N-Bilanzsaldo und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser gegeben ist (Ruhe et al., 2002). Dementsprechend kann ökologischer Marktfruchtbau unter Standortbedingungen des östlichen Hügellandes gleiche oder sogar höhere Nitratfrachten zur Folge haben kann als in hoch produktiven konventionellen Anbausystemen (Ruhe et al., 2002), während intensive konventionelle Futterbausysteme auf einem auswaschungsgefährdeten Geeststandort in der Regel wesentlich höhere N-Frachten aufweisen als Futterbausysteme im ökologischen Landbau (Büchter et al., 2002; Wachendorf et al., 2004). Hansen et al. (2000) konnten in Dänemark zeigen, dass die Nitratfrachten im

ökologischen Ackerbau auf Sand- bzw. Lehmböden 46% bzw. 75% der Nitratfrachten in den konventionellen Vergleichssystemen betragen, während die Getreideerträge im ökologischen Ackerbau relativ unabhängig vom Standort 65–70% der konventionellen Erträge erreichten. Haas (2001) kam anhand einer umfangreichen Literaturrecherche sowie eigener Versuche zu dem Ergebnis, dass eine ökologische Bewirtschaftung die Nährstoffauswaschung potenziell reduzieren könne, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Anbaumaßnahmen im ökologischen Landbau auf die Belange des Grundwasserschutzes abgestimmt seien. Viele bisherige Arbeiten ließen aufgrund unterschiedlicher Bodenverhältnisse, (zu) kurzer Versuchszeiträume, unvollständiger Fruchtfolgen, nur eingeschränkt vergleichbarer Kulturarten und praxisuntypischer Anbausysteme nur eine rein deskriptive und kaum erklärende Darstellung zu.

Anhand der in Schleswig-Holstein gemachten grundlegenden Beobachtungen in Bezug auf das ökologische Belastungspotenzial unterschiedlicher Landnutzungssysteme, dargestellt am Indikator "Nitratbelastung des Grundwassers", ist das Konzept der "Vorrangflächen für den ökologischen Landbau" (Taube et al., 2006) konzipiert worden. Dieses Konzept schlägt statt einer pauschalen Betrachtung der angenommenen ökologischen Vorteile des ökologischen Landbaus eine nach Standortbedingungen und Betriebstypen differenzierte Bewertung vor. Anreize zur Extensivierung und/oder Umstellung sollten vor allem dort erhöht werden, wo die ökologischen Belastungen durch konventionelle Anbausysteme hoch und die Produktivitätseinbußen durch ökologischen Landbau relativ gering sind. Dies trifft in Schleswig-Holstein in erster Linie für den Geestrücken und die eingeschlossenen Niedermoorstandorte der Eider-, Treene- und Sorge-Niederung mit der dort konzentrierten Milcherzeugung zu. Im Gegensatz dazu stellen die hoch produktiven Ackerstandorte der Marsch und des östlichen Hügellandes Vorrangflächen für intensiven und umweltverträglichen (integrierten) Marktfruchtbau dar.

Um die auf Parzellenebene ermittelten Zusammenhänge zwischen der Form der Flächenbewirtschaftung und den Nährstoffausträgen ins Grundwasser unter Praxisbedingungen zu verifizieren, stellt die Abschätzung der N-Verluste mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von Standort (Geest, Hügelland), Betriebstyp (Ackerbau, Futterbau) und Wirtschaftsweise (konventionell, ökologisch) stellt daher den zentralen Untersuchungsgegenstand des Teilprojektes A dar. Die auf den Versuchsbetrieben der Universität Kiel ermittelten Daten stellen nur Punktbeobachtungen dar, deren Übertragbarkeit auf Praxisbetriebe bisher nicht überprüft werden konnte. Es fehlt im Bundesgebiet bisher eine derartige vergleichende indikatorgestützte Bewertung von repräsentativen Betriebstypen des ökologischen und konventionellen Landbaus im Hinblick auf Leistung und ökologische Effekte. Neben der Abhängigkeit der relativen Förderungswürdigkeit des ökologischen Landbaus von Standort und Betriebstyp ist auch von einer erheblichen Variation umweltrelevanter Parameter zwischen gleich gelagerten Betrieben, bedingt durch individuelle Praktiken im Pflanzenbau, auszugehen. Kalk et al. (1996) konnten unter mitteldeutschen Bedingungen zeigen, dass es in dieser Hinsicht durchaus systematische Unterschiede zwischen (allerdings kleinen) Gruppen von ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben geben kann. Für Standortbedingungen Schleswig-Holsteins, vergleichbar mit weiten Teilen Nordwesteuropas unter maritimem Klimaeinfluss, liegen diesbezüglich bisher keine vergleichenden Untersuchungen vor.

Ferner stellt die Bestimmung der auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben zentralen Eingangsgröße der Stickstofffixierung durch Leguminosen, sowie eine Berücksichtigung der

Tierhaltung bei der Quantifizierung der Nährstoffflüsse auf den untersuchten Praxisbetrieben einen wichtigen Arbeitsbereich des Teilprojektes dar, da diese beiden Aspekte v.a. in Umweltbewertungssystemen wie USL (Eckert et al., 1999) kaum Berücksichtigung finden.

Mit Hilfe von Modellansätzen auf Betriebsebene, namentlich mit dem IFSM-Modell (Rotz, 1999; Rotz et al., 2006), werden eine Verallgemeinerungsfähigkeit der ermittelten Ergebnisse sowie Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf ein nachhaltiges Nährstoffmanagement auf Betriebsebene abgeleitet.

Die Zielsetzungen und Lösungskonzepte des Teilprojekts A lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a. Analyse und vergleichende Bewertung der Nährstoff- und Energieflüsse in typischen Betriebsformen des konventionellen und ökologischen Landbaus unter repräsentativen Standortverhältnissen mit Hilfe von Flächen-, Stall- und Hoftorbilanzen sowie der Abschätzung der biologischen N_2 -Fixierung durch Leguminosen;
- b. Ableitung von quantitativen Beziehungen zwischen Bilanzsalden, N_{\min} -Gehalten und N-Verlusten durch Auswaschung sowie Verifizierung der auf Parzellenebene beobachteten Zusammenhänge;
- c. Erfassung und Beurteilung der Prozessqualität landwirtschaftlicher Produktion im Hinblick auf das Nährstoffmanagement (Grad der Umsetzung der "Guten Fachlichen Praxis") zur Analyse von Schwachstellen;
- d. Bilanzierung weiterer umweltrelevanter Parameter (z.B. Energiebilanzen) anhand der erhobenen Betriebsdaten;
- e. Kalibrierung und Weiterentwicklung bestehender Gesamtbetriebsmodelle (IFSM) mit Hilfe der gewonnenen Daten, um diese Modelle als methodische Werkzeuge zur Schwachstellenanalyse auf Betriebsniveau zu etablieren und zur Bewertung von Landnutzungsintensitäten in unterschiedlichen Landschaftsräumen zu verwenden.

4.2. Nährstoffflüsse und Nährstoffverluste durch Auswaschung

4.2.1. Material und Methoden

Nährstoffbilanzierung

Die Bilanzierung der Nährstoffflüsse auf Betriebsebene wurde anhand folgender Datengrundlagen durchgeführt:

- i. Nährstoffzufuhr und -abfuhr durch handelbare bzw. physisch erfassbare Güter: anhand der Buchführungsdaten des Betriebes;
- ii. Angaben der Betriebsleiter zur innerbetrieblichen Verwertung von Marktfrüchten, Raufutter, geborenen/aufgezogenen Tieren, Milch, usw.;
- iii. monatlichen LKV-Kontrollberichten zur Milchleistungsprüfung (MLP) sowie dem LKV-Jahresabschluss;
- iv. Jahresabschluss der Rinderspezialberatung (nur bei Beratungsbetrieben);
- v. Schlagkarteien für jeden Einzelschlag des Betriebes einschl. aller pflanzenbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen, Angaben zur Weidenutzung, zur Bodenart, usw.; und

- vi. anhand von Probenahmen ermittelte Eingangsdaten zur Berechnung der Stickstoff-Fixierungsleistung von Leguminosenbeständen.

Die gesammelten Daten geben ein vollständiges Bild der Anbau- und Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Pflanzenproduktion sowie in der Rinderhaltung der Projektbetriebe wieder, und erlauben die Bilanzierung der Nährstoffflüsse sowohl auf Hoforbasis als auch innerbetrieblich. Zusätzlich ermöglichen die detailliert aufgenommenen Daten und Angaben in gewissem Maß auch eine Ursachenforschung für auffällig geringe oder auch überhöhte Nährstoffüberschüsse bzw. für ein effizientes oder weniger effizientes Nährstoffmanagement.

Für nicht-standardisierte Güter – z.B. eigene Marktfrüchte, zugekaufte oder verkaufte Wirtschaftsdünger, organische Handelsdünger oder Raufutter – lagen in vielen Fällen Analyseergebnisse bezüglich der Nährstoffgehalte vor. Wo dies nicht der Fall war, wurden Tabellenwerte herangezogen.

Die auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben zentrale Größe der symbiontischen N_2 -Fixierung durch Leguminosen wurde anhand eines empirischen Modells berechnet (Høgh-Jensen et al., 2004), welches unterschiedliche Futter- und Körnerleguminosenbestände ebenso berücksichtigt wie unterschiedliche Bodenarten. Dieses Modell wurde anhand umfangreicher Datensätze aus Dänemark und Schleswig-Holstein kalibriert und kann daher als uneingeschränkt anwendbar für die im Projekt angetroffenen Bestände angesehen werden. Als Eingangsdaten sind der jährliche Klee- bzw. Kornertrag (bei Körnerleguminosen) sowie der N-Gehalt des Klees bzw. des Ernteguts notwendig. Diese Daten wurden in der Vegetationsperiode 2004 auf repräsentativen Beständen der ökologisch wirtschaftenden Projektbetriebe im Rahmen einer Masterarbeit (Witte, 2006) ermittelt. Im Jahr 2005 erfolgte anstelle der aufwändigen Probenahmen des Jahres 2004 lediglich eine visuelle Schätzung des Kleeanteils in Klee grasbeständen, sowie eine ergänzende Beprobung einiger ausgewählter Bestände. Neben schnittgenutzten Klee grasflächen wurden 2004 und 2005 auch beweidete Klee grasbestände beprobt, um die Ertragsleistung und die N_2 -Fixierung unter Weidenutzung zu ermitteln (Witte, 2006). Dies geschah unter Verwendung von Weidekäfigen und der getrennten Beprobung des ungestörten Aufwuchses im Käfig, des Weiderestes auf dem beweideten Areal, und eines nicht-stickstofffixierenden Referenzbestandes. Witte (2006) ermittelte auf diese Weise die N_2 -Fixierung nach der erweiterten Differenzmethode (Hardy und Holsten, 1977; Marriott und Haystead, 1993), und verglich diese mit der nach Høgh-Jensen et al. (2004) berechneten N_2 -Fixierungsleistung. Die in Tab. A1–A4 sowie in Tab. A7 und Tab. A8 dargestellten Mengen fixierten Luftstickstoffs basieren jedoch auf Berechnungen nach Høgh-Jensen et al. (2004), um ein einheitliches Vorgehen für alle Betriebe zu gewährleisten.

Die N_2 -Fixierung des Dauergrünlandes erfolgte anhand von Regressionsgleichungen, die nach Trott et al. (2004) abgeleitet wurden und den Kleeanteil sowie das Nutzungssystem berücksichtigen. Die Kleeanteile auf dem Dauergrünland wurden auf repräsentativen Beständen aller 16 Milchvieh-Futterbaubetriebe kartiert (siehe 4.4.).

Aufgrund dieser genauen Bestimmung der N_2 -Fixierung weichen die in Tab. A1–A4 dargestellten N-Bilanzen z.T. erheblich von offiziell erstellten Bilanzen ab, da dort pauschal eine N_2 -Fixierung von 30 kg N ha^{-1} für Dauergrünland angenommen wird, und Klee gras i.d.R. überhaupt keine Berücksichtigung findet. Dies bedeutet, dass die von der Officialberatung entsprechend der Düngeverordnung erstellten Bilanzen die Stickstoffzufuhr

in den Betrieb über die N_2 -Fixierung von Dauergrünland i.d.R. stark überschätzen, während die N-Zufuhr durch Klee gras stark unterschätzt wird.

In den Bilanzen in Tab. A1–A4 wurde ferner, abweichend von den Vorgaben der Düngeverordnung, ein jährlicher Stickstoffeintrag über atmosphärische Deposition von pauschal 10 kg N ha^{-1} angenommen. Die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls sowie der anrechenbaren „unvermeidbaren“ NH_3 -Verluste während der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern erfolgte jedoch anhand der in der novellierten Düngeverordnung von 2006 genannten Tabellenwerte. Eine separate Berechnung der NH_3 -Verluste aus Exkrementen bei Weidegang erfolgte auf Betriebsebene nicht, jedoch für die in Tab. A7–A8 dargestellten Schlagbilanzen. Hier wurde von einer mittleren NH_3 -Ausgasung von 13% des Gesamt-Stickstoffs im Urin und Kot der Weidetiere ausgegangen (Oenema et al., 2001). Die Berechnung der während des Weideganges auftretenden Exkrementmengen erfolgte anhand der Angaben der Landwirte zur Beweidung der Flächen (Anzahl Tage je Monat, Stunden pro Tag, Anzahl Tiere, Art der Tiere, usw.). Die tägliche Menge ausgeschiedenen Stickstoffs je Tier in Abhängigkeit vom Haltungssystem, der Fütterung, der Milchleistung usw. ist in der Übersicht der DLG (2005) dokumentiert.

Sämtliche Angaben der Landwirte und offizieller Stellen (LKV, Beratungsringe, Landwirtschaftskammer, Buchführungsverband) wurden miteinander abgeglichen und auf Plausibilität überprüft. In einigen Fällen wurden erhebliche Fehler in den von offizieller Seite erstellten Auswertungen gefunden (z.B. falsche Angaben zu den Inhaltsstoffen zugekaufter Futtermittel, falsche Mengenangaben, falsche Angaben zum Verkauf von Tieren, usw.). In jedem Fall erfolgte eine Klärung eventueller Unstimmigkeiten mit dem Betriebsleiter, um zu einer möglichst fehlerfreien Datenbasis zu kommen. In einigen Fällen war die Plausibilitätsprüfung anhand der zur Verfügung stehenden Unterlagen jedoch nur sehr eingeschränkt möglich.

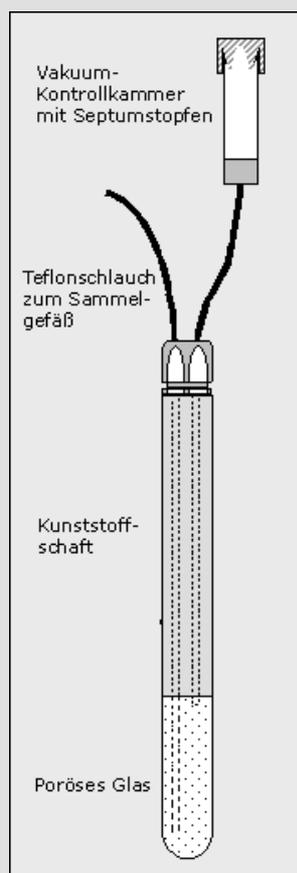
Nährstoffverluste durch Auswaschung

Im COMPASS-Projekt erfolgte die Bestimmung der Stoffauswaschung mit der Saugkerzen-Methode. Der Einsatz von Saugkerzen stellt unter Feldbedingungen die praktikabelste Methode dar, um Stoffflüsse im Boden zu beobachten. Mit Saugkerzen kann Bodenlösung aus fast jeder beliebigen Tiefe entnommen werden. Mit Hilfe der anschließend laboranalytisch bestimmten Stoffkonzentrationen in der Bodenlösung sowie der rechnerisch ermittelten Sickerwassermenge ist eine Bestimmung der Stofffrachten je Flächeneinheit möglich. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass Bodenlösung, die im Winterhalbjahr bei wassergesättigtem Boden unterhalb des Wurzelhorizonts in Grobporen vorliegt, vom Pflanzenbestand nicht mehr aufgenommen werden kann und weiter in tiefere Bodenschichten bis ins oberflächennahe Grundwasser versickert.

Es wurden überwiegend keramische Saugkerzen verwendet, welche für die Beprobung der Nitrat-, Ammonium- und Kaliumkonzentrationen im Bodenwasser uneingeschränkt einsetzbar sind. Zusätzlich erfolgte der Einbau einer geringeren Anzahl der wesentlich teureren Glas-Saugkerzen, um die Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln, Antibiotika und organischen N-Verbindungen in der Bodenlösung analytisch konsistent zu erfassen, da diese organischen Substanzen von Keramik-Saugkerzen in erheblichem Umfang adsorbiert werden (Wessel-Bothe et al., 2000).

Mit einer elektrischen Vakuumpumpe wurde eine Woche nach dem Einbau der Saugkerzen ein Unterdruck von 0,4 bar angelegt. Tensiometermessungen zeigten den Zeitpunkt des Beginns von Sickerungsvorgängen in 80 cm Tiefe an. Dies ist 2004 in der ersten Novemberdekade der Fall gewesen, 2005 aufgrund geringerer Niederschläge im Herbst erst zwischen Ende November und – auf den schweren Böden im östlichen Hügelland – Mitte Dezember. Ab Beginn der Sickerung erfolgte die Entnahme der in den Sammelflaschen vorhandenen Bodenlösung einmal wöchentlich bis zum Ende der Sickerwasserperiode Ende März 2005 bzw. um den 20. April 2006. Die Probenahmen wurden unterbrochen durch mehrere strenge Frostperioden, so z.B. insgesamt 4 Wochen zwischen Ende Januar und Anfang März 2005, sowie 2 Wochen im Januar 2006 und 3 Wochen im März 2006. Insgesamt wurden 2004/2005 je nach Standort und Witterung 17–19 Termine beprobt, im Winter 2005/2006 aufgrund des späteren Sickerungsbeginns und längerer Frostperioden nur 12–13 Termine.

Sämtliche Proben für die Stickstoff- und Kaliumanalytik wurden bei -18°C eingefroren und zu einem späteren Zeitpunkt im Labor analysiert. Die Analyse auf Nitrat, Ammonium, organischen Stickstoff (N_{org}) und Kalium erfolgte photometrisch am Autoanalyser im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau – der CAU Kiel.



„Saugkerzen“ bestehen aus der eigentlichen Saugkerze, einem Sammelschlauch, einem weiteren Schlauch zur Belüftung und Vakuumkontrolle, sowie einem Schaft, der Saugkerze und Schläuche beim Einbau in den Boden vor Beschädigungen schützt. Saugkerzen bestehen aus porösem Silikatglas, Keramik oder Kunststoff und weisen eine Porengröße von $0,45\text{--}1,00\ \mu\text{m}$ auf. Aufgrund von Adsorptionseffekten gelöster Stoffe an der „inneren“ Oberfläche dieser Materialien richtet sich das eingesetzte Material nach der Art der zu beprobenden Substanzen. Organische Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Antibiotika, organische C- und N-Verbindungen) werden lediglich von Glas-Saugkerzen kaum adsorbiert, während die meisten Metall- und Nichtmetall-Ionen (z.B. Nitrat, Sulfat) von keinem dieser Materialien in größerem Umfang adsorbiert werden. Daher kommen für die Beprobung organischer Stoffe ausschließlich die wesentlich teureren Glas-Saugkerzen in Frage. Die Bodenlösung tritt aufgrund des permanent vorhandenen Unterdrucks in den Innenraum der Saugkerze ein und wird mit dem Sammelschlauch abgeführt. Die Vakuum-erzeugung erfolgt mit einer elektrischen Vakuumpumpe. Das anliegende Vakuum beträgt ca. 0,4 bar, um lediglich das Sickerwasser, welches in Grobporen ($>10\ \mu\text{m}$ Durchmesser) vorliegt, in die Saugkerze eindringen zu lassen, nicht jedoch das Haftwasser aus Mittel- und Kleinporen.

Abb. A1 Saugkerze. Zeichnung: Ecotech GmbH, Bonn

Probenahmen fanden während der Sickerwasserperioden 2004/2005 und 2005/2006 statt. Der Einbau der Saugkerzen erfolgte jeweils im Oktober. Während der Vegetationsperiode konnten die Saugkerzen nicht auf den Flächen belassen werden, um die Feldarbeiten nicht

zu beeinträchtigen. Unter Verwendung eines Pürkhauer-Bohrstocks wurden Löcher bis in eine Tiefe von 80 cm unter der Geländeoberfläche getrieben. In diese leicht schräg angelegten Löcher (um vertikale Wasserbewegungen entlang der äußeren Schaftwände auszuschließen) wurden die Saugkerzen hineingesteckt. Auf das Einschlämmen wurde verzichtet, um die Bodenstruktur, welche die Saugkerze umgibt, nicht zu verfälschen.

Jede Saugkerze besaß eine separate Sammelflasche. Diese bestanden aus Braunglas, um photochemische Umsetzungen gelöster Stoffe durch Sonneneinstrahlung zu minimieren. Durch eine Vakuum-Sammelleitung waren sämtliche Saugkerzen bzw. Sammelflaschen eines Schläges miteinander verbunden. Ein manueller Hahn zwischen Sammelflasche und Saugkerze verhinderte das Abfallen des Vakuums an einer Saugkerze im Fall eines Lecks an einer anderen Saugkerze oder an der Vakuum-Sammelleitung.

Beprobungsschema

Die Beprobung des Sickerwassers fand auf acht ausgewählten Projektbetrieben statt:

- ※ 2 Betriebspaare Milchvieh-Futterbau:
 - Betrieb 21 (konv.) und Betrieb 29 (ökolog.) in Ellingstedt (Geestböden), sowie
 - Betrieb 18 (konv.) und Betrieb 32 (ökolog.) (Hügelland, überw. sandiger Lehm)
- ※ 2 Betriebspaare Ackerbau, beide im östlichen Hügelland gelegen:
 - Betrieb 4 (konv.) und Betrieb 12 (ökolog.) im Dänischen Wohld, sowie
 - Betrieb 1 (konv.) und Betrieb 9 (ökolog.) im Kreis Plön.

Auf jedem der 8 Betriebe wurden Saugkerzen auf zwei Schlägen repräsentativer Kulturarten installiert:

- ※ auf Milchvieh-Futterbaubetrieben:
 - Dauergrünland (Nutzung: 1 Siloschnitt, danach Beweidung),
 - nach Silomais (konventionelle Betriebe: Silomais-Monokultur; ökologische Betriebe: Schwarzbrache nach der Silomaisernte, Vorfrucht: Klee gras)
- ※ auf Ackerbaubetrieben:
 - Winterweizen nach Vorfrucht Winterraps (konventionelle Betriebe) bzw. nach Vorfrucht Klee gras (ökologische Betriebe),
 - Winterraps nach Vorfrucht Wintergerste (konventionelle Betriebe), Klee gras (als Untersaat in Getreide angelegt).

Auf Futterbaubetrieben stellen Dauergrünland und Silomais die Hauptfutterfrüchte dar, wobei die Mähweidenutzung mit einem Siloschnitt eine weit verbreitete und typische Nutzungsform darstellt. Die Auswahl der beprobten Kulturarten auf Ackerbaubetrieben erfolgte nach der Prämisse, das Fruchtfolgeglied mit der potenziell höchsten N-Auswaschungsgefährdung (Winterweizen nach Raps- bzw. Klee gras-Vorfrucht) sowie das Fruchtfolgeglied mit der potenziell geringsten N-Auswaschungsgefährdung (nach abtragendem Getreide) zu untersuchen.

Auf jedem der Ackerschläge wurden an Stellen repräsentativer Bodenverhältnisse 4 Nester à 3 keramische Saugkerzen installiert. Der Abstand zwischen den jeweils 3 Kerzen eines Nestes betrug 1 m, der Abstand zwischen den Nestern 15–30 m. Das separat gesammelte Sickerwasser der jeweils 3 Kerzen eines Nestes wurde zu einer Mischprobe zusammengeführt, so dass sich je Schlag Analysewerte in vierfacher Wiederholung je Termin ergeben.

Um der höheren räumlichen Variabilität der potenziellen N-Austräge unter Dauergrünland, verursacht durch das kleinräumige und zufällige Absetzen von Exkrementen durch Kühe bei Weidegang, Rechnung zu tragen, wurden auf Dauergrünland 6 Nester à 3 keramische Saugkerzen installiert, womit je Probenahmetermin Analysewerte in sechsfacher Wiederholung vorliegen.

Zusätzlich wurden 3 Glas-Saugkerzen je Schlag eingebaut, die zur Gewinnung von Bodenwasser für die Analyse auf Pflanzenschutzmittel und Antibiotika dienen.

Ferner wurden die Varianten des Grünland-Umbruchversuchs in Ellingstedt (siehe 4.3.) mit Saugkerzen beprobt.

Berechnung der Sickerwassermengen und Stofffrachten

Die Berechnung der je Probenahmetermin anfallenden Sickerwassermenge erfolgte mit Hilfe einer klimatischen Wasserbilanz. Zwar berücksichtigt die klimatische Wasserbilanz nicht die Pufferwirkung des Bodenspeichers, weshalb Speicher- oder Simulationsmodelle für die Berechnung der Versickerung zu bevorzugen wären, jedoch fiel die Wahl der Methode auf die klimatische Wasserbilanz, um die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichbar zu machen, in denen ebenfalls die klimatische Wasserbilanz Anwendung fand. Die klimatische Wasserbilanz nach DVWK (1996) wurde um eine Reduktionsfunktion erweitert, die eine Verringerung der Evapotranspiration bei sinkendem Bodenwasservorrat abbildet (DVWK, 1996). Des Weiteren wurde der verzögerten Sickerung in schweren Lehmböden durch einen bodenartspezifischen Korrekturfaktor Rechnung getragen. Die Verdunstungsberechnung erfolgte nach dem für küstennahe Standorte modifizierten Turc-Wendling-Verfahren (Wendling et al., 1991). Eine kulturartenspezifische Betrachtung der potenziellen Evapotranspiration ET_p fand unter Verwendung entsprechender k_c -Werte (DVWK, 1996) statt. Die Witterungsdaten stammen von den im Teilprojekt B aufgestellten automatischen Wetterstationen (Standorte Oster-Ohrstedt, Lindhof, Lehmkuhlen und Tröndel) sowie – im Falle von Datenlücken dieser Stationen – vom Deutschen Wetterdienst DWD (Stationen Leck, Kiel-Holtenau und Dörnick). Die Stofffrachten über die gesamte Sickerwasserperiode errechnen sich als das Summenprodukt der wöchentlichen Sickerwassermengen und Stoffkonzentrationen.

N_{min} -Beprobung

Zum Abgleich der mittels Saugkerzen bestimmten N-Auswaschung und der kalkulatorischen Auswaschung als Differenz der N_{min} -Werte zu Vegetationsende und Vegetationsbeginn wurden auf einer großen Anzahl von Schlägen nahezu aller Projektbetriebe, einschließlich aller Schläge, auf denen Saugkerzen installiert waren, N_{min} -Proben entnommen. Mit einem Pürkhauer-Bohrstock wurden die Tiefen 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm mit 15–30 Einstichen auf einer Teilfläche von ca. 3 ha beprobt. Auf Schlägen, die mit Saugkerzen ausgestattet waren, erfolgten die Einstiche in näherer Umgebung der Saugkerzen-Nester, um eine engere Beziehung zu den mittels Saugkerzen festgestellten Mengen ausgewaschenen Stickstoffs herzustellen. Die Bohrkern der jeweiligen Tiefenstufen wurden zu einer Mischprobe vereinigt und bei -18°C tiefgefroren. Der Aufschluss erfolgte nach langsamem Auftauen im Kühlschranks mit 200 ml CaCl_2 -Lösung für 50 g feldfeuchten Boden. Das nach Schütteln und Filtrieren gewonnene Filtrat wurde am photometrisch Autoanalyzer auf Nitrat,

Ammonium und N_{org} gemessen. Die Stickstoffmengen je Hektar wurden unter Berücksichtigung der aktuellen Bodenwassergehalte und der nach Tiefenstufen differenzierten durchschnittlichen Lagerungsdichten berechnet.

Von sämtlichen N_{min} -Proben wurde eine Unterprobe entnommen, bei -18°C tiefgefroren, nach dem Auftauen bei $+35^{\circ}\text{C}$ luftgetrocknet, gesiebt und gemörsert, und am C/N-Analysator auf den Gesamtgehalt an Kohlenstoff und Stickstoff der jeweiligen Tiefenschicht untersucht.

4.2.2. Ergebnisse

N-Bilanzsalden auf Betriebsebene

Die mittleren N-Bilanzsalden auf Hoftorbasis in den Wirtschaftsjahren 2003/2004 und 2004/2005 lagen je nach Betriebstyp und Bewirtschaftungsweise bei:

※	Markfruchtbetriebe konv.	80,2 kg N ha ⁻¹
※	Markfruchtbetriebe ökolog.	21,7 kg N ha ⁻¹
※	Milchvieh-Futterbaubetriebe konv.	127,3 kg N ha ⁻¹
※	Milchvieh-Futterbaubetriebe ökolog.	42,2 kg N ha ⁻¹

Marktfrucht-Betriebe

In Abb. A2 sind die N-Bilanzsalden der einzelnen Marktfrucht-Betriebe dargestellt. Nach der im Jahr 2006 novellierten Düng-Verordnung ist der betriebliche Nährstoffüberschuss im Mittel der drei vergangenen Düngjahre von 90 kg N ha⁻¹ auf 60 kg N ha⁻¹ ab dem Jahr 2011 zu reduzieren. Diese derzeit und zukünftig anzustrebenden Bereiche „Guter Fachlicher Praxis“ sind in den Abbildungen A2 und A3 farblich unterlegt.

Entgegen des häufig vorgetragenen Standpunktes, spezialisierte Marktfruchtbetriebe seien in Bezug auf N-Überschüsse aufgrund ihres geringen oder nicht vorhandenen Viehbesatzes als eher unproblematisch zu charakterisieren (z.B. Frede, 2003), zeigt sich auf den COMPASS-Projektbetrieben ein anderes Bild. Nur 3 von 8 untersuchten konventionellen Marktfruchtbetrieben gelingt es derzeit, den ab 2011 geforderten maximalen N-Saldo von 60 kg N ha⁻¹ einzuhalten. Die Marktfruchterträge in den zugrunde liegenden Erntejahren waren 2003 trotz der Hitzeperiode durchschnittlich, und 2004 deutlich über dem Durchschnitt der vergangenen Jahre. Lediglich auf Betrieb 1 gab es 2003 durch Hagel und Wildschäden auf einigen Teilflächen Ertragsausfälle, die sich im Betriebsmittel jedoch nicht signifikant auf den N-Saldo auswirkten.

Die hohen N-Salden einiger Betriebe erklären sich wie folgt (siehe auch Tab. A1):

※ Betrieb Nr. 6: Neben dem Anbau von Winterraps, Winterweizen und Wintergerste findet als weiterer Betriebszweig die Ferkelerzeugung mit 400 Sauenplätzen statt. Die entsprechenden Mengen an zugekauftem Kraftfutter führen zu einem N-Saldo von 132,8 kg N ha⁻¹ netto (168,4 kg N ha⁻¹ brutto) im Mittel der untersuchten Wirtschaftsjahre 2003/2004 und 2004/2005, was jedoch unter dem von Wiermann (2003) beobachteten Brutto-Saldo von

171 kg N ha⁻¹ für typische Marktfrucht-Veredelungsbetriebe in der Schleswig-Holsteinischen Marsch liegt. – Außer Betrieb Nr. 6 betreibt keiner der untersuchten konventionellen Marktfruchtbetriebe Tierhaltung. Die Betriebe Nr. 1, Nr. 4 und Nr. 5 importieren jedoch Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel wie Klärschlamm (vgl. Tab. A1).

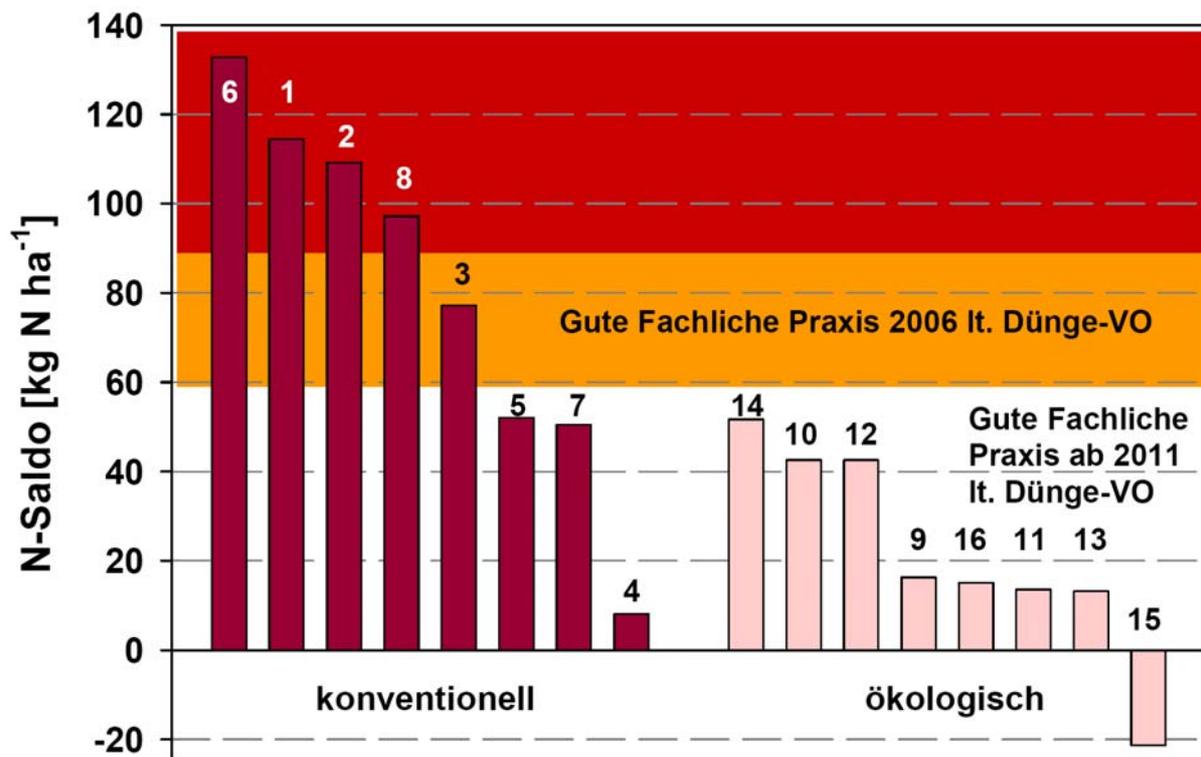


Abb. A2 N-Bilanzsalden konventionell und ökologisch bewirtschafteter Marktfruchtbetriebe (netto nach Abzug der NH₃-Verluste lt. Dünge-VO, Mittel der Wirtschaftsjahre 2003/2004 und 2004/2005). Betriebs-Nr. (1–16): siehe Tab. 1.

※ Betrieb Nr. 1: Im Mittel der beiden Wirtschaftsjahre importierte der Betrieb 48,3 kg N ha⁻¹ über Wirtschaftsdünger (Putenmist, Schweinegülle, Rindergülle, Rindermist) sowie 6,4 kg N ha⁻¹ über Klärschlamm und Knochenmehl. Diese erheblichen Mengen an organischem Stickstoff wurden in der Düngeplanung des Betriebes nicht entsprechend angerechnet (vgl. die mineralische N-Düngung in Höhe von 220–230 kg N ha⁻¹, was etwa dem N-Sollwert für Winterraps und Wintergetreide entspricht. Abzüglich des N_{min}-Wertes im Frühjahr hätte ohne Anrechnung von Wirtschaftsdüngern eine mineralische N-Düngung von 190–200 kg N ha⁻¹ im Betriebsmittel ausgereicht. Unter entsprechender Anrechnung der Wirtschaftsdünger hätte die mineralische N-Düngung noch deutlich geringer ausfallen müssen.).

※ Betriebe Nr. 2 und Nr. 8: Die mineralische N-Düngung lag deutlich über den standort- und kulturart- und sortenspezifischen N-Sollwerten.

Die Betriebe Nr. 5, Nr. 7 und insbesondere Nr. 4 zeigen jedoch, dass es mit einer anspruchsvollen Düngeplanung und Bestandesführung möglich ist, im spezialisierten Ackerbau N-Bilanzsalden von unter 60 kg N ha⁻¹ zu erreichen. Das Reduktionspotenzial liegt demnach je nach Standort, Witterung und Fruchtfolge zwischen 30 und 100 kg N ha⁻¹.

Auf ökologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben reichte die Spanne der N-Bilanzsalden von +51,7 kg N ha⁻¹ bis -21,3 kg N ha⁻¹ im Mittel der zwei Wirtschaftsjahre. Die Variation ergibt sich in erster Linie durch den Anteil von Klee gras in der Fruchtfolge, die N₂-Fixierungsleistung des Klee grasses, und die Marktfruchterträge (Tab. A2).

※ **Klee grasanteil:**

Die geringste N₂-Fixierung auf Betriebsebene weist Betrieb Nr. 13 mit 16,3 kg N ha⁻¹ auf. Dieser Betrieb versucht, die N-Zufuhr in die Fruchtfolge ausschließlich über Untersaaten und Stickstoff fixierende Zwischenfrüchte (Inkarnatklee, Sommerwicke) sicherzustellen, um nicht auf Fläche für Marktfrüchte verzichten zu müssen. Der unzureichenden N-Versorgung der Fruchtfolge versucht der Betriebsleiter, mit dem Zukauf organischer Handelsdünger (Kompost, Federmehl) zu begegnen. Ein weiterer Nachteil des Fehlens einer Klee gras-Hauptfrucht ist der sehr hohe Unkrautdruck auf den Betriebsflächen, welcher die Marktfruchterträge nennenswert beeinträchtigen dürfte (vgl. Teilprojekt B).

Alle anderen ökologischen Marktfruchtbetriebe bauen Klee gras als überwinternde, einjährige Hauptfrucht an, i.d.R. als Rotklee-Reinsaat oder rotklee dominierte Gemenge mit Weißklee, Schwedenklee und Deutsch-Weidel gras als Mischungspartner. Eine Ausnahme stellt Betrieb Nr. 11 dar, auf dem im Frühjahr eine Perserklee-Reinsaat als Blanksaat etabliert wird. Den höchsten Klee grasanteil in der Fruchtfolge erreicht Betrieb Nr. 14, hier lagen die Klee anteile der Bestände jedoch nur bei 30–50%, was die N₂-Fixierungsleistung reduzierte. Auf den Betrieben Nr. 9, 10, 11 und 16 wird ein Teil der Klee grasfläche 1–2 Mal gemäht, der Aufwuchs an Futterbaubetriebe verkauft, und anschließend noch 1–2 Mal gemulcht. Alle anderen Betriebe mulchen das Klee gras ausschließlich.

※ **N₂-Fixierungsleistungen:**

Die geringste N₂-Fixierungsleistung weist mit Abstand der im Frühjahr etablierte Perserklee auf Betrieb Nr. 11 auf (je nach Nutzung 45–112 kg N ha⁻¹), was am hohen Unkrautanteil in diesen Beständen sowie an der vergleichsweise geringen Ertrags- und Fixierungsleistung des 3–6 Mal gemulchten Perserklees liegt. Die höchsten N₂-Fixierungsleistungen erreichte Betrieb Nr. 9 mit 132–339 kg N ha⁻¹. Die hohen Werte lagen im Rotkleeanteil von 95%–99% sowie im hohen Ertragsniveau dieser Bestände begründet.

※ **Marktfruchterträge:**

Die Höhe der Marktfruchterträge variierte zwischen ökologischen Betrieben deutlich stärker als zwischen konventionellen Betrieben. Beispielsweise variierten die Winterweizenerträge auf ökologischen Marktfruchtbetrieben (allesamt auf Böden mit einer Ackerzahl über 45 Punkten) zwischen 39 und 57 dt ha⁻¹ (2004) bzw. zwischen 35 und 58 dt ha⁻¹ (2005) im Mittel der Betriebsflächen, d.h. einige Betriebe ernteten 45%–65% mehr als andere. Zum Vergleich: zwischen den konventionellen Ackerbaubetrieben lagen die Winterweizenerträge bei 86–100 dt ha⁻¹ (2004) bzw. 92–106 dt ha⁻¹ (2005), d.h. die höchsten Erträge lagen nur um ca. 15% über den niedrigsten. Die hohe Variabilität der Erträge zwischen Betrieben ist Ausdruck der schwierigeren Bestandesführung im ökologischen Landbau aufgrund von Pflanzenpathogenen, Schädlingen und stickstofflimitierter Bedingungen (vgl. Teilprojekt B).

N-Bilanzsalden im nur leicht positiven oder sogar negativen Bereich (siehe insbesondere Betrieb Nr. 15) liegen in erster Linie im hohen Produktionsniveau dieser Betriebe begründet. Die N-Zufuhr ist nicht in allen Fällen geringer als auf Betrieben geringerer Produktivität. Beispielsweise erzielt Betrieb Nr. 9 ein hohes Produktionsvolumen bei gleichzeitig hoher N₂-

Fixierung im Betriebsmittel, während auf Betrieb Nr. 15 die N_2 -Fixierung den N-Bedarf bei weitem nicht decken kann. Derart niedrige N-Salden führen unter Berücksichtigung der N-Auswaschung, welche die verfügbare Menge an Stickstoff weiter reduziert, mittelfristig zu einem signifikanten Abbau der Bodenvorräte an organischer Substanz. Daher kann eine solche Herangehensweise im Pflanzenbau, auch wenn sie betriebswirtschaftlich kurzfristig opportun erscheinen sein mag, nicht als nachhaltig charakterisiert werden.

Milchvieh-Futterbaubetriebe

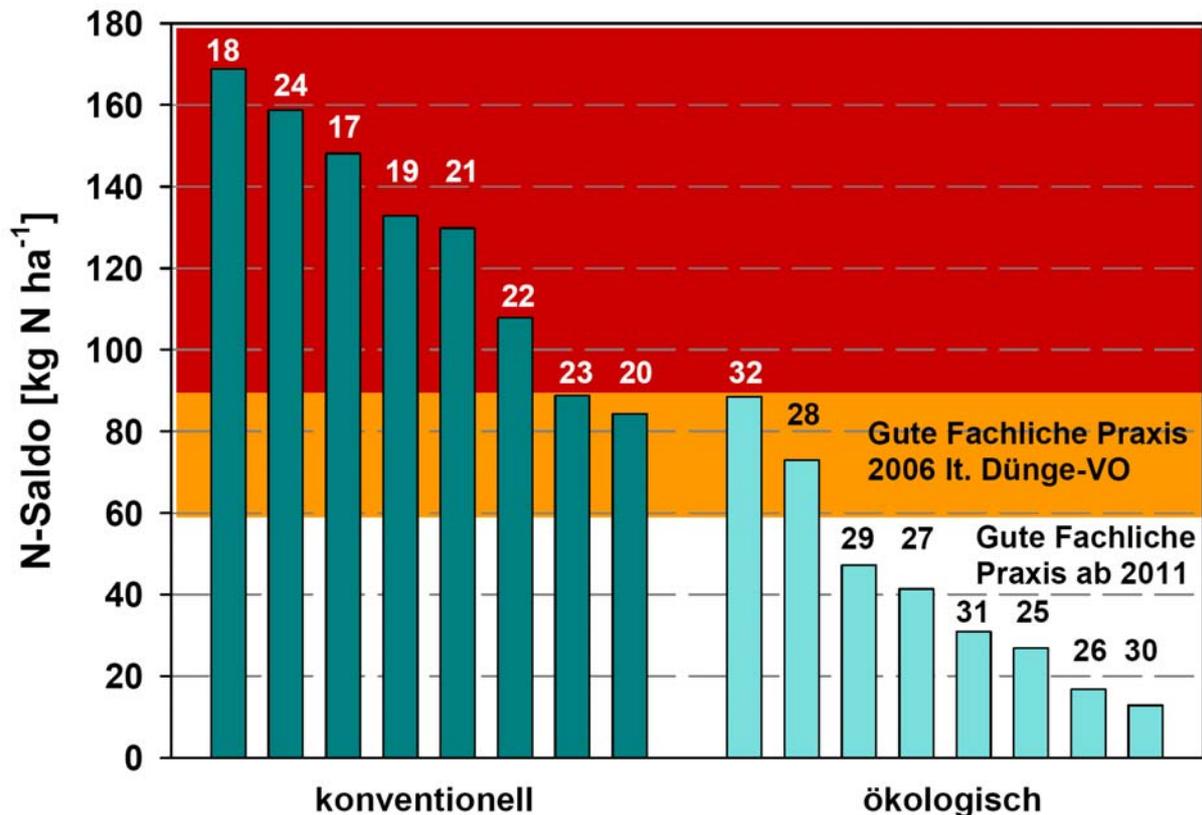


Abb. A3 N-Bilanzsalden konventionell und ökologisch bewirtschafteter Milchvieh-Futterbaubetriebe (netto nach Abzug der NH_3 -Verluste lt. Dünge-VO, Mittel der Wirtschaftsjahre 2003/2004 und 2004/2005). Betriebs-Nr. (17–32): siehe Tab. 2.

Die N-Salden der konventionell wirtschaftenden Milchvieh-Futterbaubetriebe zeigen ein Bild ähnlich dem der untersuchten konventionellen Marktfruchtbetriebe, wenngleich auf deutlich höherem N-Niveau. Betrieben mit hohen N-Bilanzsalden stehen solche mit Salden von unter 90 kg N ha^{-1} gegenüber. Die große Variation zwischen Praxisbetrieben weist auf das in der Praxis vorhandene erhebliche Optimierungspotenzial hin (Abb. A3, Tab. A3 und A4). Nur 2 von 8 untersuchten konventionell wirtschaftenden Milchvieh-Futterbaubetrieben können den derzeit erlaubten maximalen N-Saldo von 90 kg N ha^{-1} einhalten. Ob angesichts dieser Tatsache (es handelt sich bei den Projektbetrieben um eine Auswahl von Spitzenbetrieben) selbst die nährstoffeffizientesten konventionellen Milchvieh-Futterbaubetriebe einen zukünftig geforderten N-Saldo von 60 kg N ha^{-1} erreichen können, muss als sehr unsicher betrachtet werden.

Tab. A1 N-Bilanzen der konventionell wirtschaftenden Marktfrucht-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05 (Hoftor-Basis, alle Angaben in kg N ha⁻¹)

Betrieb Nr. Wirtschaftsjahr	1		2		3		4		5 §		6		7		8	
	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Zufuhr																
Mineraldünger	229,2	219,6	293,6	256,4	210,2	211,0	213,8	204,9	168,3		219,8	177,1	173,4	170,2	279,2	244,0
Wirtschaftsdünger	59,0	37,5							45,4							
Organische Handelsdünger *	1,1	11,6					6,0	5,1								
Kraftfutter											158,7	156,2				
Tierzukauf											0,4	0,4				
Atmosphär. Deposition	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0		10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Summe Zufuhr	299,3	278,7	303,6	266,4	220,2	221,0	229,8	220,0	223,7		388,9	343,7	183,4	180,2	289,2	254,0
Abfuhr																
Marktfrüchte	156,8	159,2	168,0	183,6	150,7	136,2	203,8	203,9	164,8		128,3	147,8	137,2	125,3	171,6	177,1
Stroh	7,2	11,4														
Tierverkauf											48,4	39,8				
TKV #											0,2					
Wirtschaftsdünger											15,8	15,8				
Summe Abfuhr	164,0	170,5	168,0	183,6	150,7	136,2	203,8	203,9	164,8		192,5	203,3	137,2	125,3	171,6	177,1
Saldo brutto	135,3	108,2	135,5	82,9	69,5	84,8	26,0	16,2	58,9		196,4	140,4	46,1	54,9	117,5	76,8
N-Verluste aus Wirtschaftsdünger																
N-Ausscheidung Gesamtbetrieb											96,8	95,3				
Lagerungsverluste											29,0	28,6				
Ausbringungsverluste	8,9	5,6							6,8		6,8	6,7				
Summe der N-Verluste	8,9	5,6							6,8		35,8	35,3				
Saldo netto	126,5	102,6	135,5	82,9	69,5	84,8	26,0	16,2	52,1		160,6	105,1	46,1	54,9	117,5	76,8

* einschl. Klärschlamm, Kompost

TKV: Tierkörperverwertung (verendete Tiere)

§ Aufgrund der Versuchsausrichtung der Schweinemast auf dem CAU-Versuchsgut Hohenschulen wird nur die N-Zufuhr über Gülle in den Betriebskreislauf eingerechnet.

Tab. A2 N-Bilanzen der ökologisch wirtschaftenden Marktfrucht-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05 (Hoftor-Basis, alle Angaben in kg N ha⁻¹)

Betrieb Nr. Wirtschaftsjahr	9		10		11		12		13		14		15		16	
	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Zufuhr																
Wirtschaftsdünger		22,7				9,7				13,7	55,2				9,9	9,9
Organische Handelsdünger *		8,9				28,4	27,7			8,2	27,8					
Kraftfutter								0,3	0,3	14,6						
Tierzukauf								1,3	1,2	3,0						
Symbiont. N ₂ -Fixierung	91,3	106,3	72,2	100,1	52,5	42,4	76,2	79,9	21,8	10,8	53,4	75,2	61,9	33,5	79,9	71,7
Atmosphär. Deposition	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Summe Zufuhr	101,3	147,9	82,2	110,1	100,6	80,1	87,8	91,4	71,2	103,8	63,4	85,2	71,9	43,5	99,8	91,6
Abfuhr																
Marktfrüchte	61,6	70,2	39,3	35,3	73,4	74,6	44,2	25,9	60,2	66,2	29,6	15,5	86,1	72,0	79,9	69,3
Raufutter und Stroh	30,6	50,6	10,4	12,1	3,9									2,7	6,3	
Tierverkauf			0,7	0,7			3,9	4,3	12,0							
TKV #																
Summe Abfuhr	92,3	120,9	50,4	48,0	77,3	74,6	48,1	30,2	72,2	66,2	29,6	15,5	86,1	72,0	82,7	75,5
Saldo brutto	9,0	27,1	31,8	62,1	23,3	5,4	39,7	61,3	- 0,9	37,7	33,7	69,7	- 14,2	- 28,5	17,1	16,1
N-Verluste aus Wirtschaftsdünger																
N-Ausscheidung Gesamtbetrieb				11,8	11,8			28,6	28,6	9,6						
Lagerungsverluste				3,6	3,6			4,3	4,3	2,9						
Ausbringungsverluste		3,4	0,8	0,8	1,5			3,6	3,6	2,0	5,5				1,5	1,5
Summe der N-Verluste		3,4	4,4	4,4	1,5			7,9	7,9	4,9	5,5				1,5	1,5
Saldo netto	9,0	23,7	27,4	57,7	21,8	5,4	31,8	53,4	- 5,8	32,1	33,7	69,7	- 14,2	- 28,5	15,6	14,6

* einschl. Klärschlamm, Kompost

TKV: Tierkörperverwertung (verendete Tiere)

Tab. A3 N-Bilanzen der konventionell wirtschaftenden Milchvieh-Futterbau-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05 (Hoftor-Basis, alle Angaben in kg N ha⁻¹)

Betrieb Nr. Wirtschaftsjahr	17		18		19		20		21		22		23		24	
	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Zufuhr																
Mineraldünger	140,0	127,3	213,0	200,4	173,7	189,4	93,8	89,0	148,8	141,9	124,9	132,9	130,3	115,4	183,8	182,3
Einstreu							0,8	0,9								
Raufutter											1,0					
Futtergetreide						0,8	0,7				3,9	7,6			2,5	
Kraftfutter	134,6	125,7	113,8	106,3	66,4	66,9	53,0	79,7	71,2	95,6	95,0	78,1	54,7	59,0	132,7	114,0
Tierzukauf	0,2				0,2	0,1									1,3	
Symbiont. N ₂ -Fixierung	5,3	5,3	1,3	1,2	1,8	2,4	2,1	2,2	5,6	4,8	2,4	2,3	0,9	0,9	0,5	0,5
Atmosphär. Deposition	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Summe Zufuhr	290,1	268,2	338,0	318,0	252,0	269,5	160,5	181,7	235,7	252,3	237,1	230,9	195,9	185,3	330,9	306,8
Abfuhr																
Marktfrüchte	15,1	12,6	57,4	43,5	42,6	36,3	13,0	8,5	11,2	20,0	51,0	45,0	36,2	34,5	60,1	59,4
Raufutter, Stroh					2,1											
Milch [§]	50,0	49,7	50,2	49,8	41,3	40,2	31,3	32,8	39,3	37,2	35,1	32,7	31,2	30,3	44,8	37,3
Tierverkauf	12,4	10,9	5,6	7,5	7,1	6,1	6,7	6,6	10,7	8,1	5,5	4,7	4,7	5,0	9,1	7,7
TKV #	1,5	1,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,6	0,3	0,6	0,5	0,0	0,2	0,3	3,0	1,3
Wirtschaftsdünger																
Summe Abfuhr	77,5	73,2	113,2	100,8	93,1	82,6	51,0	47,9	61,3	65,3	91,6	82,4	72,1	69,9	114,0	104,4
Saldo brutto	212,6	195,0	224,9	217,1	158,9	186,9	109,5	133,8	174,4	187,0	145,6	148,5	123,8	115,4	216,9	202,4
N-Verluste aus Wirtschaftsdünger																
N-Ausscheidung Gesamtbetrieb	204,8	196,3	190,2	191,2	143,3	145,2	134,1	135,3	189,5	177,1	146,8	134,9	114,7	107,2	203,4	162,6
Lagerungsverluste	30,7	29,5	28,5	28,7	21,5	21,8	20,1	20,3	28,4	26,6	22,0	20,2	17,2	16,1	30,5	24,4
Ausbringungsverluste	26,1	25,0	24,2	24,4	18,3	18,5	17,1	17,3	24,2	22,6	18,7	17,2	14,6	13,7	25,9	20,7
Summe der N-Verluste	56,8	54,5	52,8	53,0	39,8	40,3	37,2	37,5	52,6	49,2	40,7	37,4	31,8	29,8	56,4	45,1
Saldo netto	155,7	140,5	172,1	164,1	119,1	146,6	72,3	96,2	121,8	137,8	104,8	111,1	92,0	85,7	160,5	157,2

* einschl. Klärschlamm, Kompost

§ einschl. nicht verwertbarer Milch und im Haushalt verbrauchter Milch, ohne Kälbermilch

TKV: Tierkörperverwertung (verendete Tiere)

Tab. A4 N-Bilanzen der ökologisch wirtschaftenden Milchvieh-Futterbau-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05 (Hoftor-Basis, alle Angaben in kg N ha⁻¹)

Betrieb Nr. Wirtschaftsjahr	25		26		27		28		29		30		31		32	
	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Zufuhr																
Mineraldünger																
Einstreu							0,9						1,0			
Raufutter			17,1	10,1			0,2									
Futtergetreide			1,1		3,6	9,0							2,4		4,0	3,5
Kraftfutter	27,9	26,8			11,2	11,2	0,4		40,9	44,5					17,7	15,5
Tierzukauf				0,2				0,1	0,9	0,1	0,1		0,3			
Symbiont. N ₂ -Fixierung	68,8	70,9	75,2	37,3	79,8	86,1	93,5	92,7	49,2	85,3	59,3	48,5	67,0	58,5	170,3	102,2
Atmosphär. Deposition	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Summe Zufuhr	106,7	107,7	103,4	57,5	104,7	116,4	105,0	102,7	101,1	139,9	69,4	58,5	80,6	68,5	202,0	131,2
Abfuhr																
Marktfrüchte	22,0	18,2	45,3	33,8			9,1	6,2	6,9	5,7	31,4	28,6	0,9	2,3	14,8	12,9
Milch §	23,4	21,9	8,7	8,2	27,3	26,9	9,5	9,9	29,6	29,2	7,2	6,4	15,9	14,7	25,0	25,8
Tierverkauf	3,5	3,4	3,0	2,2	4,8	6,4	2,3	1,0	6,2	5,1	3,6	1,5	3,2	4,2	4,5	4,7
TKV #					0,1	0,1			0,1		0,2				0,1	0,1
Wirtschaftsdünger	7,5	7,1					0,2									
Summe Abfuhr	56,4	50,5	56,9	44,2	32,1	33,4	21,0	17,1	40,8	32,9	42,2	36,6	20,0	21,1	44,3	43,4
Saldo brutto	50,3	57,2	46,5	13,3	72,6	83,0	84,0	85,7	60,3	107,0	27,2	22,0	60,6	47,4	157,7	87,8
N-Verluste aus Wirtschaftsdünger																
N-Ausscheidung Gesamtbetrieb	98,9	94,7	46,9	47,3	134,5	127,5	41,8	43,5	129,6	133,1	33,6	29,7	64,5	60,4	119,7	127,0
Lagerungsverluste	14,8	14,2	7,0	7,1	20,2	19,1	6,3	6,5	19,4	20,0	10,1	8,9	19,3	18,1	18,0	19,1
Ausbringungsverluste	12,6	12,1	6,0	6,0	17,2	16,3	5,3	5,5	16,5	17,0	2,4	2,1	4,5	4,2	15,3	16,2
Summe der N-Verluste	24,7	26,3	13,0	13,1	37,3	35,4	11,6	12,1	36,0	36,9	12,4	11,0	23,9	22,3	33,2	35,2
Saldo netto	22,9	30,9	33,5	0,2	35,2	47,6	72,4	73,6	24,3	70,1	14,7	11,0	36,7	25,1	124,5	52,6

* einschl. Klärschlamm, Kompost

§ einschl. nicht verwertbarer Milch und im Haushalt verbrauchter Milch, ohne Kälbermilch

TKV: Tierkörperverwertung (verendete Tiere)

Tab. A5 Kennzahlen der konventionell wirtschaftenden Milchvieh-Futterbau-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05

Betrieb Nr.	Wirtschaftsjahr	17		18		19		20		21		22		23		24	
		03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Betriebsgröße *	ha LF	74,3	73,8	57,8	61,7	97,9	122,9	106,1	102,2	98,5	107,4	121,2	121,6	103,2	108,4	118,0	151,0
davon: Dauergrünland §	%	62	62	26	24	26	26	51	53	56	52	53	48	32	30	36	35
Ackergras	%	0	0	0	5	5	5	0	5	0	7	0	0	6	7	7	10
Wechselgrünland	%	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silomais	%	25	21	22	33	34	24	26	20	31	26	31	25	24	23	29	25
Marktfrüchte, GPS, Stilllegung	%	13	17	37	28	35	45	23	22	13	15	16	27	38	40	28	30
Anzahl Kühe	GV	76	72	66	71	84	104	82	78	95	94	93	84	66	63	132	145
Jungvieh	GV	40	34	32	34	34	49	51	49	60	66	71	64	37	34	82	79
Mastvieh	GV	16	15							24	22					19	14
Viehbesatz gesamt	GV ha ⁻¹	1,78	1,64	1,70	1,71	1,21	1,24	1,26	1,24	1,82	1,69	1,35	1,21	1,00	0,90	1,97	1,57
Remontierungsrate	%	46,1	36,1	34,6	36,5	47,6	44,2	17,1	28,2	28,4	40,5	28,0	28,6	36,6	38,0	38,6	41,3
Milchleistung #	kg ECM	9174	9548	8551	8180	9030	8924	7598	8073	7690	8083	8577	8896	9306	9944	7517	7295
Rasse		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Angler	
Stallsystem, Wirtschaftsdüngersystem		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle	
Weidegang Kühe		tags, wechselnde Flächen		tags, Standweide		tags, Standweide		Tag u. Nacht, Standweide		Tag u. Nacht, wechselnde Flächen		tags, wechselnde Flächen		tags, Standweide		kein Weidegang	
Kraftfutter-N ^s / Kuh	kg N	125,9	121,2	95,7	88,7	74,2	76,8	66,7	100,2	67,9	101,4	123,6	130,0	78,0	97,5	101,8	100,8
Kraftfutter-N ^s / kg ECM	g N kg ⁻¹	13,7	12,7	11,2	10,8	8,2	8,6	8,8	12,4	8,8	12,5	14,4	14,6	8,4	9,8	13,5	13,8

* ohne Dauerstilllegung

§ ohne vorübergehend umgebrochene und für den Ackerbau/Ackerfutterbau genutzte Flächen

energiekorrigierte Milch; einschl. abgelieferte, im Haushalt verbrauchte und nicht verwertbare Milch

§ einschl. eigenes Futtergetreide und Körnerleguminosen

Tab. A6 Kennzahlen der ökologisch wirtschaftenden Milchvieh-Futterbau-Projektbetriebe in den Wirtschaftsjahren 2003/04 und 2004/05

Betrieb Nr.	Wirtschaftsjahr	25		26		27		28		29		30		31		32	
		03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05	03/04	04/05
Betriebsgröße *	ha LF	398,3	422,5	138,6	138,6	103,7	103,7	208,9	208,9	110,7	111,3	220,9	220,9	92,3	97,7	56,0	56,0
davon: Dauergrünland §	%	11	10	21	21	15	15	37	37	59	60	34	34	41	33	26	26
Ackergras/Klee gras	%	25	25	14	0	58	61	14	20	0	21	21	21	23	24	39	35
Wechselgrünland	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silomais	%	6	5	0	0	0	0	3	6	0	3	0	0	4	3	7	5
Marktfrüchte, GPS	%	58	60	65	79	27	24	46	37	41	16	45	45	32	40	28	34
Anzahl Kühe	GV	217	227	45	46	79	69	57	60	98	96	56	51	55	55	38	42
Jungvieh	GV	155	160	24	24	62	62	27	31	49	70	28	29	18	18	28	29
Mastvieh	GV			3	4			2				12	8			2	2
Viehbesatz gesamt	GV ha ⁻¹	0,93	0,92	0,52	0,54	1,36	1,26	0,41	0,44	1,33	1,49	0,44	0,40	0,80	0,75	1,22	1,31
Remontierungsrate	%	37,3	38,8	31,1	19,6	26,6	47,8	35,1	16,7	32,0	27,1	21,4	19,6	16,4	23,6	34,2	31,0
Milchleistung #	kg ECM	8068	7634	5009	4623	6734	7600	6552	6469	6274	6362	5359	5236	5009	4890	6009	6445
Rasse		Holstein-SB		Deutsche SB		Holstein-SB		Holstein-SB		Holstein-RB		Deutsche SB		Holstein-SB		Holstein-SB	
Stallsystem, Wirtschaftsdüngersystem		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Laufstall, Gülle		Anbindestall, Festmist/Jauche		Tretmiststall, Festmist/Jauche		Laufstall, Gülle	
Weidegang Kühe		tags, Standweide		tags, Standweide		kein Weidegang		Tag u. Nacht, wechselnde Flächen, Kurzrasensystem		Tag u. Nacht, wechselnde Flächen		tags, wechselnde Flächen		tags, wechselnde Flächen		tags, Standweide	
Kraftfutter-N § / Kuh	kg N	60,3	68,0	60,6	61,5	39,8	42,3	52,5	37,7	44,4	49,5	19,0	29,3	25,8	22,0	30,7	35,0
Kraftfutter-N §/ kg ECM	g N kg ⁻¹	7,5	8,9	12,1	13,3	5,9	5,6	8,0	5,8	7,1	7,8	3,5	5,6	5,2	4,5	4,5	5,4

* ohne Dauerstilllegung

§ ohne vorübergehend umgebrochene und für den Ackerbau/Ackerfutterbau genutzte Flächen

energiekorrigierte Milch; einschl. abgelieferte, im Haushalt verbrauchte und nicht verwertbare Milch

§ einschl. eigenes Futtergetreide und Körnerleguminosen

In Abschnitt 4.5. wurde anhand von Modellstudien mit dem IFSM-Modell untersucht, bei welchem N-Saldo alle Optimierungsmöglichkeiten ausgereizt sind. Diese modellgestützte Systemanalyse ließ erkennen, dass eine Reduktion der N-Salden auf weniger als 70–90 kg N ha⁻¹ bei konstantem Produktionsniveau (konstante Milchquote des Betriebes und konstante Milchleistung der Kühe) nicht möglich erscheint (siehe 4.5.).

Auf ökologisch wirtschaftenden Milchvieh-Futterbaubetrieben traten nur in zwei Fällen N-Salden oberhalb von 60 kg N ha⁻¹ auf: Betriebe 28 und 32, bedingt durch eine hohe N₂-Fixierung auf Betriebsebene, sowie gleichzeitig ein vergleichsweise geringes Produktionsvolumen (nur Betrieb 28) (siehe Tab. A4). Es ist zu beachten, dass der durchschnittliche Viehbesatz der ökologischen Milchvieh-Futterbaubetriebe weit geringer als der Viehbesatz der konventionellen Vergleichsgruppe ist (Tab. A5 und A6, Abb. A4).

Ursachen für die erhebliche Variation der N-Salden von Milchvieh-Futterbaubetrieben müssen in drei Bereichen gesehen werden:

※ **Düngung:**

Betrieb Nr. 20 besitzt einen erheblichen Anteil an absoluten Dauergrünlandflächen auf feuchten bis nassen Niedermoorstandorten. Hier ist die Wirkung der N-Düngung im Vergleich zu Mineralböden deutlich herabgesetzt, da die lange anhaltende Wassersättigung, die langsame Erwärmung im Frühjahr sowie der niedrige pH-Wert des Bodens die N-Verfügbarkeit und das N-Aufnahmepotenzial der Pflanzen herabsetzen, hohe Mineralisationsraten jedoch bereits einen erheblichen Teil des Pflanzenbedarfs sicherstellen (vgl. Schrautzer, 2001). Die mineralische N-Düngung auf diesem Betrieb lag daher deutlich unter der von anderen Betrieben, die den größten Teil ihrer Flächen auf Mineralböden besitzen.

Im Vergleich der sieben konventionellen Betriebe auf überwiegend mineralischen Böden ergibt sich dennoch eine erhebliche Variation der N-Düngung (Tab. A3). Insbesondere auf dem Dauergrünland, welches als Weide oder Mähweide genutzt wird, liegt die N-Düngung (mineralisch plus Wirtschaftsdünger) in einigen Fällen in einem Bereich von 230 bis über 300 kg N ha⁻¹ (vgl. Schlagbilanzen in Tab. A8). Die im Projekt durchgeführten Grünlandkartierungen zeigen, dass der Ertragsanteil an Deutsch-Weidelgras im Mittel der konventionell bewirtschafteten Grünlandflächen nur bei 48% lag. Aufgrund des geringeren Ertragspotenzials der anderen Gräserarten wäre die N-Düngung auf dem Grünland deutlich zu reduzieren. Auch zu Marktfrüchten findet nicht in allen Fällen eine entsprechende Anrechnung der Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern statt (Daten nicht gezeigt).

※ **Viehbesatz:**

Der Zusammenhang zwischen dem Viehbesatz und dem N-Saldo auf Betriebsebene wurde in etlichen Arbeiten empirisch dokumentiert (z.B. Frede, 2003; Wiermann, 2003). Die geringere N-Effizienz Vieh haltender Betriebe, die sich bei gegebenem Produktionsniveau zwangsläufig in erhöhten N-Salden niederschlägt, ist in der geringen N-Verwertung der Tiere (15%–25% bei Milchkühen; van der Meer, 1982) sowie in der geringeren N-Ertragswirkung und erhöhter NH₃-Verluste von Wirtschaftsdünger und Exkrementen im Vergleich zu Mineraldünger begründet. Auch im COMPASS-Projekt konnte der Zusammenhang zwischen Viehbesatz und N-Saldo dokumentiert werden (Abb. A4). Von den ökologischen Betrieben fallen die Betriebe Nr. 28 und 32 heraus, auf denen der hohe N-Input durch die N₂-Fixierung den

Zusammenhang überlagert. In Bezug auf die konventionellen Betriebe ist festzustellen, dass auch bei gegebenem Viehbesatz ein erhebliches Reduktionspotenzial in Bezug auf die N-Salden gegeben ist. Beispielsweise liegt eine Differenz von ca. 50 kg N ha⁻¹ zwischen den konventionellen Betrieben mit 1,2–1,3 GV je Hektar (Abb. A4). Die viehstarken Betriebe mit 1,7–1,8 GV je Hektar unterscheiden sich im N-Saldo immerhin um bis zu 38 kg N ha⁻¹.

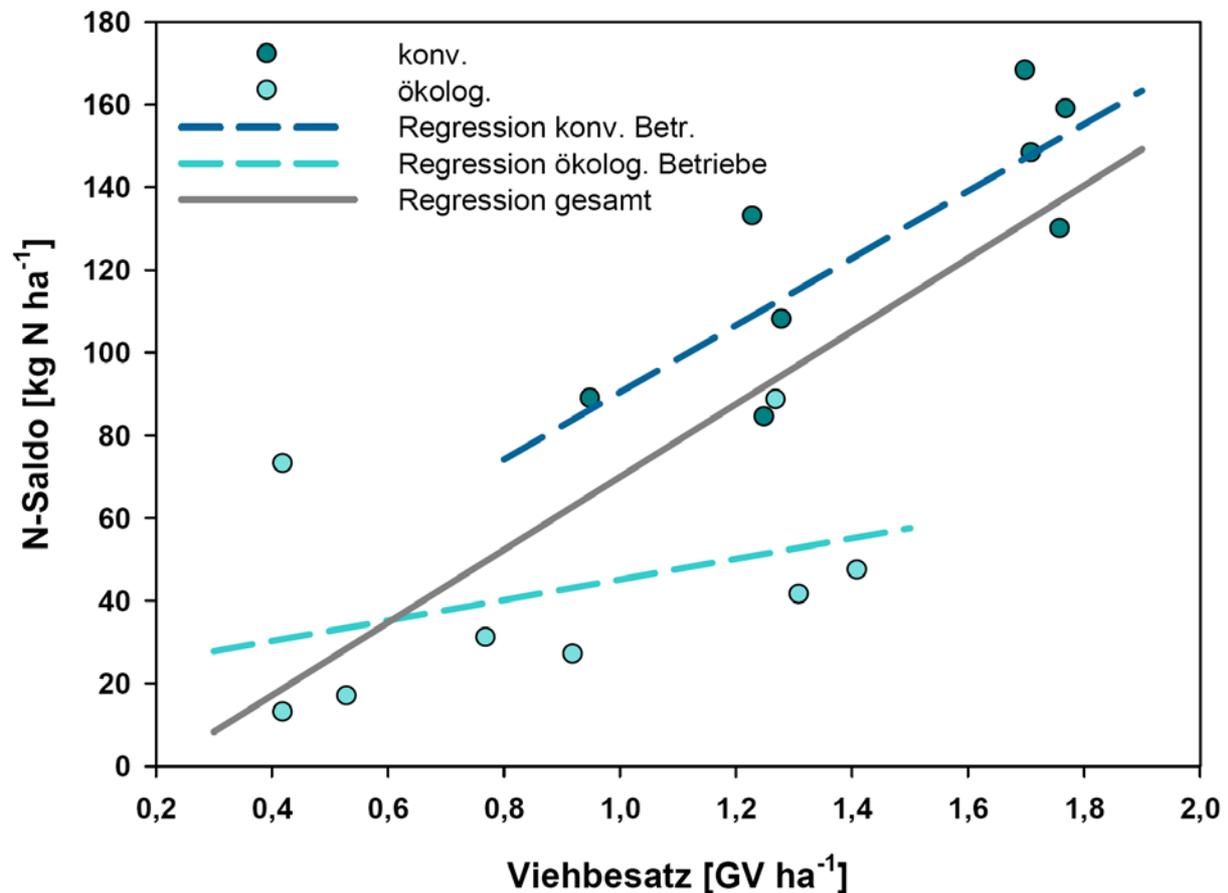


Abb. A4 Beziehung zwischen der Viehbesatzdichte und dem N-Bilanzsaldo (netto) ökologisch und konventionell wirtschaftender Milchvieh-Futterbaubetriebe.

※ N-Verwertung der Milchkühe:

Die N-Verwertung von Milchkühen bestimmt den Anteil aufgenommenen Stickstoffs, welcher in Kot und Urin ausgeschieden wird. Eine optimale N-Verwertung durch die Kühe ist nicht nur in Bezug auf den Wirtschaftsdüngeranfall und damit für die N-Effizienz des Betriebes von Bedeutung, sondern auch für die Tiergesundheit. Eine Fütterung, in der Stickstoff und/oder Energie nicht optimal eingestellt sind, führt zu Stoffwechsel-Imbalancen, welche eine verringerte Milchleistung und eine erhöhte Anfälligkeit für infektiöse Erkrankungen nach sich ziehen. Letzteres muss in der Praxis durch eine Merzung kranker oder unfruchtbarer Kühe kompensiert werden, womit die Remontierungsrate steigt, was durch die höhere Anzahl an Jungtieren auf dem Betrieb letztendlich ebenfalls zu erhöhten N-Salden führt.

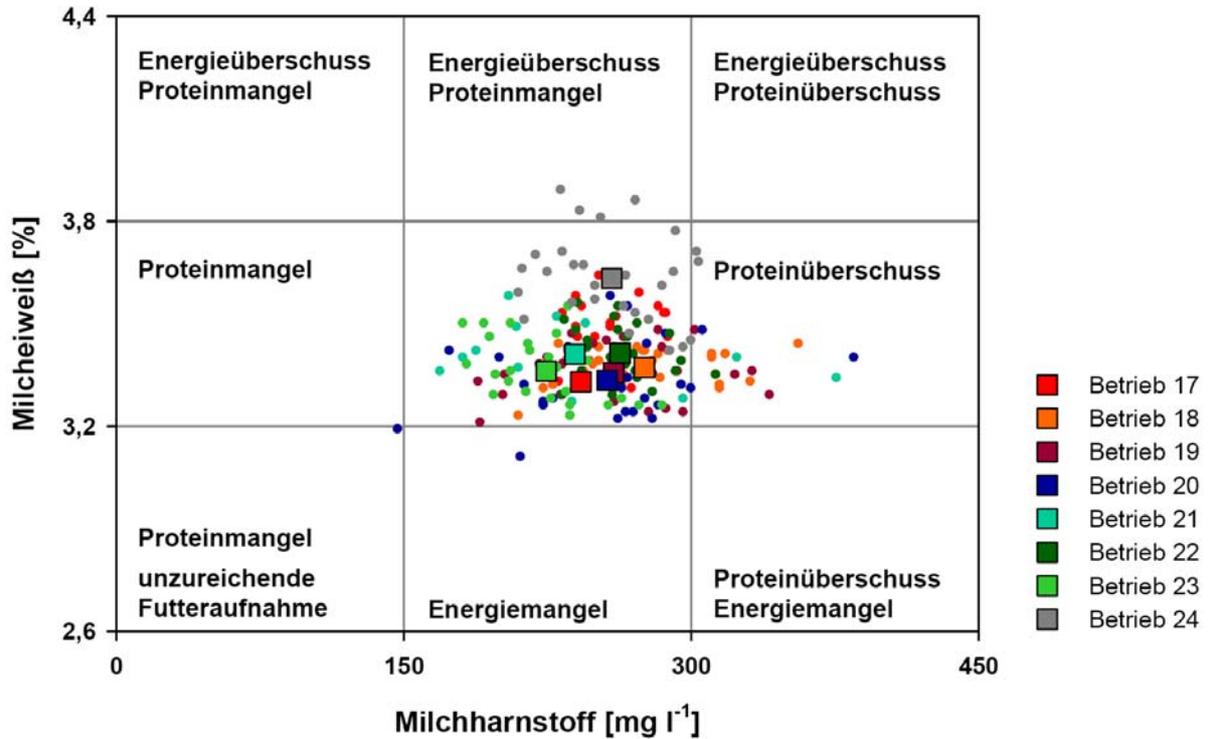


Abb. A5 (konv. Betriebe)

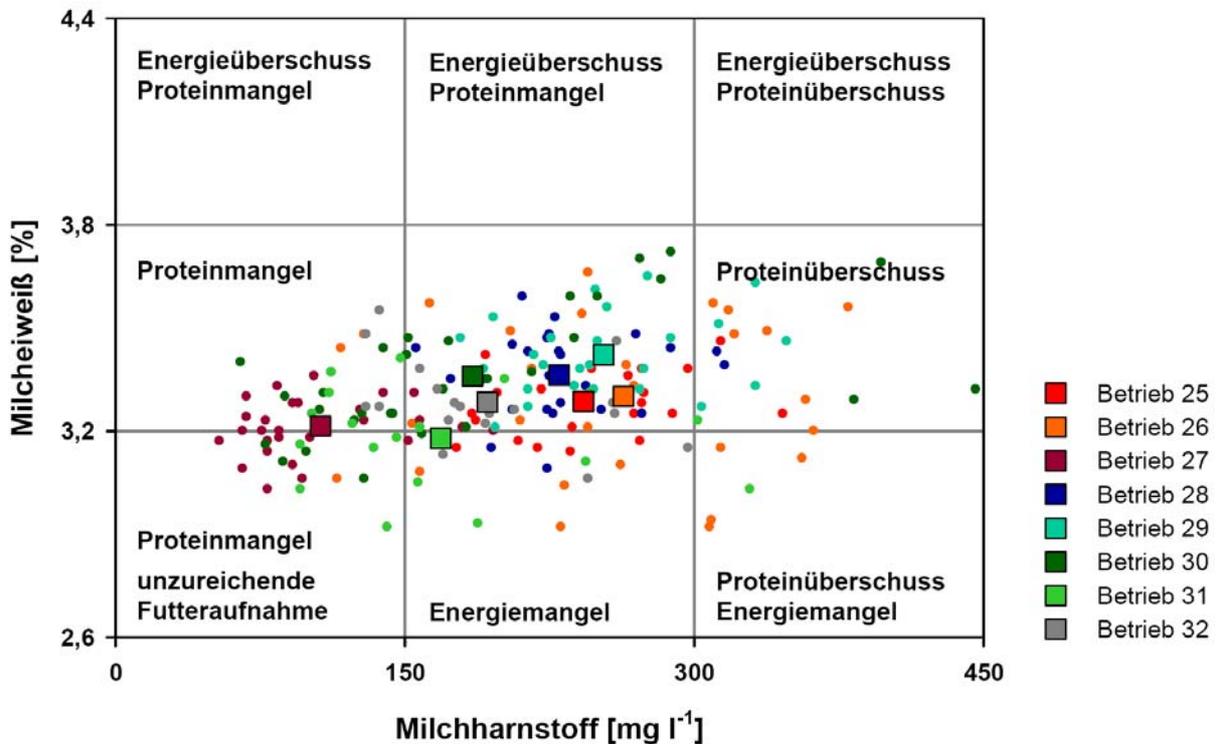


Abb. A5 (oben), A6 (unten) Milchharnstoff- und Milcheiweißgehalte der konventionell (A5) und ökologisch (A6) wirtschaftenden Milchvieh-Futterbau-Projektbetriebe (monatliche Mittelwerte aller laktierenden Kühe (kleine Symbole) sowie Mittelwert des Betriebes im Zeitraum Mai 2003 - Dezember 2005 (große Symbole); Datenquelle: monatliche Milchleistungsprüfungen (MLP) durch den Landeskontrollverband (LKV) Schleswig-Holstein).

Der Milchharnstoffwert ist, in Verbindung mit dem Milcheiweißgehalt und/oder dem Fett-Eiweiß-Quotienten in der Milch ein aussagekräftiger Indikator für die Fütterung und das Angebot an Rohprotein im Pansen (z.B. Oltner und Wiktorsson, 1983). Ein überhöhter Milchharnstoffwert ist i.d.R. mit einer unnötig hohen N-Ausscheidung v.a. im Urin aufgrund eines Überangebots an Rohprotein verbunden, wobei die Milchleistung, der Gesundheitsstatus und andere Faktoren diese Zusammenhänge jedoch modifizieren können. Bereits bei den je kg produzierter Milch eingesetzten Mengen an Stickstoff aus Kraftfutter (Tab. A5 und A6) fällt auf, dass einige der konventionellen Betriebe (z.B. Nr. 19 und Nr. 23) bis zu 5g weniger Kraftfutter-Stickstoff je kg produzierter Milch einsetzen als andere Betriebe (z.B. Nr. 17, Nr. 22, Nr. 24). Anhand der Milchharnstoffwerte (Abb. A5) konnte jedoch nur in einigen Fällen nachgewiesen werden, dass eine zeitweise Überversorgung der Kühe mit Rohprotein vorgelegen hat. Im Mittel des ausgewerteten Zeitraumes war dies jedoch auf keinem der konventionellen Betriebe der Fall. Dies zeigt zum einen, dass die Fütterung aus Sicht des Tieres auf allen konventionellen Betrieben optimal gewesen ist, andererseits jedoch eine für die Milchkuh optimale Ration auch mit einem geringeren Kraftfuttereinsatz möglich ist. Dies kann durch den Einsatz spezieller Kraftfutter-Komponenten (z.B. UDP-reiche Futtermittel), eine höhere Grundfutteraufnahme, optimale Grundfutterqualität und gute Tiergesundheit erreicht werden.

Bei den ökologischen Milchvieh-Futterbaubetrieben (Abb. A6) fällt zum einen auf, dass alle Betriebe eher in den Bereich des Energiemangels und/oder einer unzureichenden Futteraufnahme tendieren. Eine suboptimale Proteinversorgung war auf einem der Betriebe permanent gegeben. Zweitens fällt die im Vergleich zu konventionellen Betrieben viel größere Streuung auf. Dies weist darauf hin, dass es im ökologischen Landbau offenbar schwierig ist, nur mit betriebseigenen Futtermitteln sowie zugekauften Körnerleguminosen als Protein- und Energieergänzung eine genaue Einstellung der Fütterung vorzunehmen, welche auf die sich im Jahresablauf und aufgrund von tierspezifischen Faktoren permanent ändernden Anforderungen der Kühe an die Fütterung Rücksicht nimmt. Insbesondere die Betriebe Nr. 25 und Nr. 26 wiesen zeitweise einen z.T. erheblichen Rohproteinüberschuss in der Ration auf, was die N-Ausscheidung der Kühe unnötig erhöht und die Tiergesundheit beeinträchtigt. Dazu kommt, dass ein permanenter Wechsel zwischen Unter- und Überversorgung mit Energie und/oder Protein die Milchleistung und die Tiergesundheit beeinträchtigt, womit die Produktivität der Milcherzeugung im ökologischen Landbau sinkt. Dies wirkt sich in der Konsequenz auch auf die N-Salden aus.

Die mittleren Zellzahlen in der Milch lagen auf den ökologischen Betrieben bei 245.000 je ml Milch, auf den konventionellen Betrieben bei 230.000 somatischen Zellen je ml. Auch hier war auf den ökologischen Betrieben eine weitaus größere Variation zwischen den Betrieben als auch innerhalb eines Betriebes im Jahresablauf zu beobachten, was die Vermutung einer schwierigeren Steuerung der Milchproduktion und Tiergesundheit im ökologischen Landbau unterstreicht.

N-Auswaschung

Auf dem **Dauergrünland** konnten deutlich geringere N-Auswaschungsverluste unter ökologisch bewirtschafteten Flächen im Vergleich zu konventionellen Dauergrünlandflächen beobachtet werden (Abb. A7). Jedoch wurde auch auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche

im Hügelland eine mittlere Nitratkonzentration von 50 ppm, entsprechend dem EU-Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser, überschritten. Zwischen den Standorten waren die Unterschiede nur gering ausgeprägt. Die N-Flächensalden (Tab. A8) der beiden konventionell bewirtschafteten Grünlandbestände waren etwa gleich hoch, jedoch traten auf dem konventionellen Betrieb im Dänischen Wohld aufgrund höherer Beweidungsintensität deutlich höhere N-Einträge durch Exkrememente auf, wovon insbesondere die N-Einträge durch Urin besonders auswaschungsgefährdet sind (Cuttle and Bourne, 1993; Cuttle et al., 1992). Dieser Effekt überlagerte vermutlich die bodenartbedingte N-Auswaschungsgefährdung der unterschiedlichen Standorte.

Wird die N-Auswaschung in Bezug zum N-Flächenbilanzsaldo gestellt (Tab. A8, Abb. A8), so zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung mit der im N-Projekt Karkendamm etablierten Beziehung (N-Flächenbilanzsalden in Abb. A8 ohne Exkremementeinträge von Stickstoff).

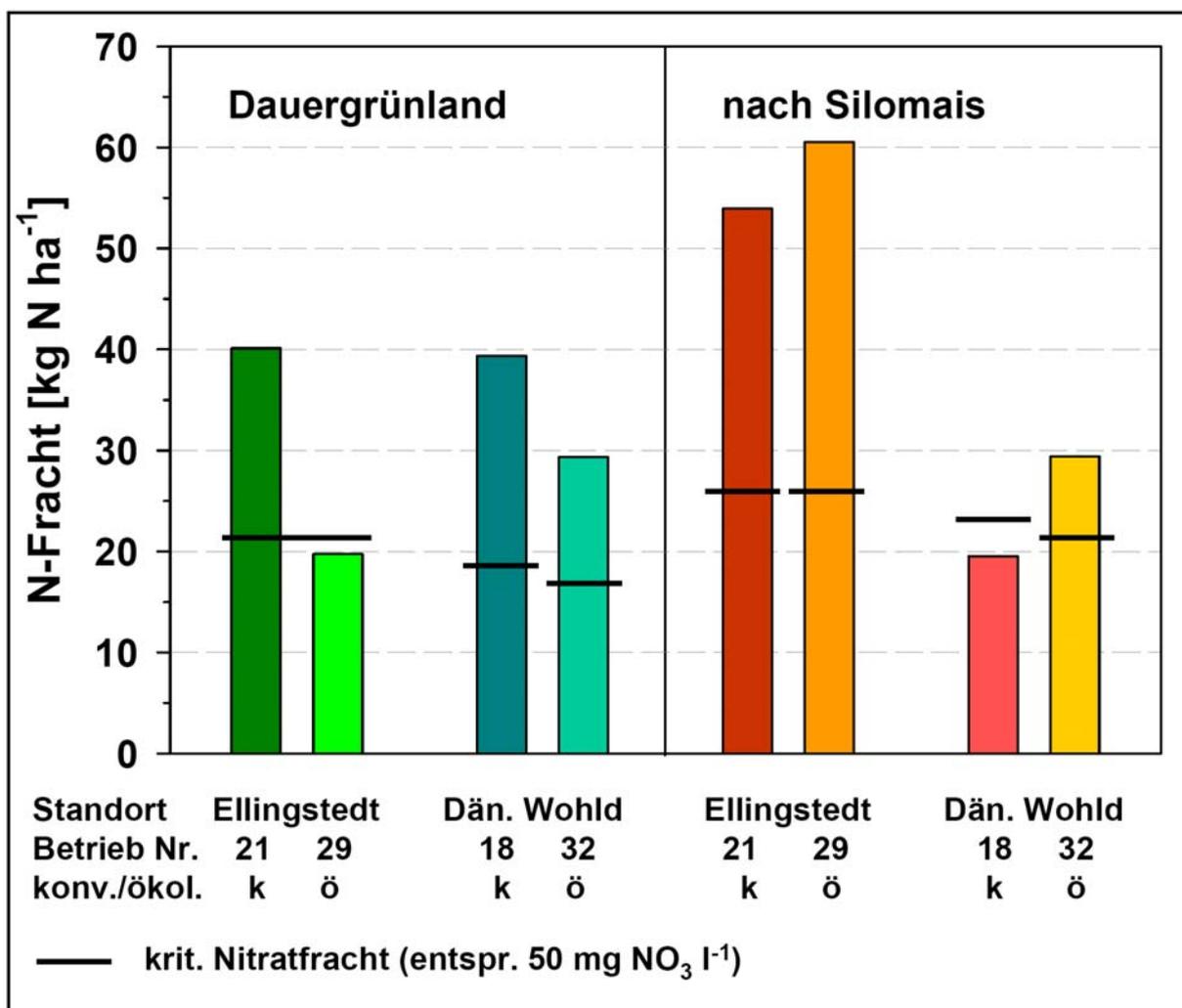


Abb. A7 N-Auswaschung (Summe aus NO₃-N + NH₄-N + N_{org}) unter konventionell und ökologisch bewirtschafteten Futterbaulflächen (links: Dauergrünland, rechts: nach Silomais) an einem Geeststandort (Ellingstedt) und einem Standort im Dänischen Wohld, Mittel der Sickerwasserperioden 2004/2005 und 2005/2006.

Bei der N-Auswaschung im **Silomaisanbau** traten Standorteffekte in großer Deutlichkeit auf, mit weitaus höheren N-Auswaschungsverlusten auf der Geest im Vergleich zum Hügelland. Hierbei ist nicht nur die höhere Auswaschungsgefährdung auf sandigen Böden der Geest zu berücksichtigen, sondern die im Mittel der beiden untersuchten Sickerwasserperioden höhere Sickerwassermenge in Ellingstedt (233 mm) im Vergleich zum Dänischen Wohld (211 mm). Im Dänischen Wohld traten in der zweiten untersuchten Sickerwasserperiode 2005/2006 deutlich geringere Niederschlagsmengen auf als an den anderen Standorten, was sich auch auf die N-Auswaschung unter den Ackerbauflächen ausgewirkt hat (siehe Tab. A7). Bemerkenswert ist die gleich hohe N-Auswaschung unter konventionell und ökologisch bewirtschafteten Silomaisflächen am jeweiligen Standort. Beachtet man jedoch die N-Flächenbilanzsalden (Tab. A8), so werden die Ursachen deutlich. Auf den beprobten ökologischen Flächen wurde der Silomais stets nach Klee gras angebaut, welches im Frühjahr unmittelbar vor der Maisbestellung umgebrochen wurde. Zusätzlich erfolgte eine Gülledüngung, sowie in einigen Fällen auch eine hohe Stallmistgabe, die vor der Maisbestellung untergepflügt wurde. Insgesamt ergaben sich Wirtschaftsdüngergaben von 60–215 kg N ha⁻¹, zusätzlich zu den N-Mengen in den Residuen des Klee grasses in Höhe von 121–142 kg N ha⁻¹.

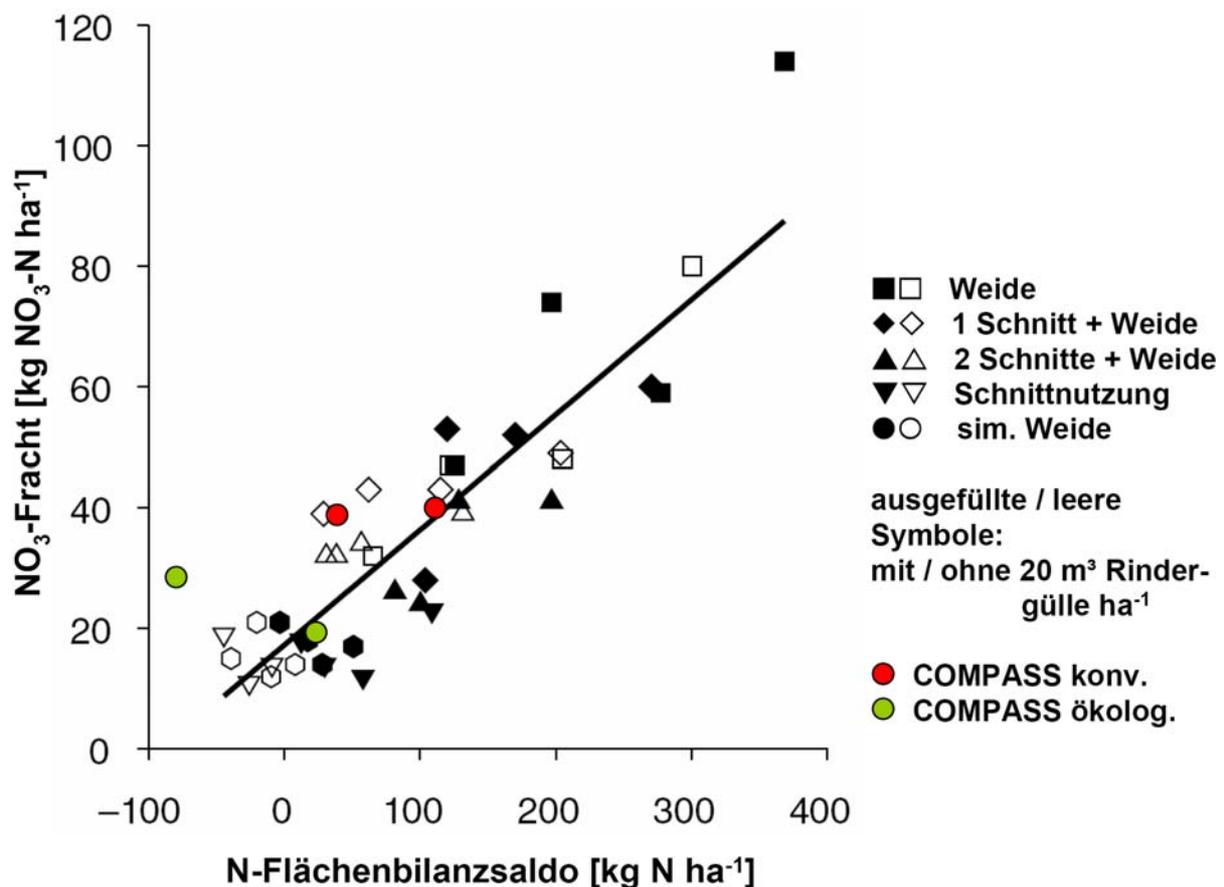


Abb. A8 Nitrat auswaschung unterschiedlich genutzter Grünlandbestände im N-Projekt Karkendamm in Abhängigkeit vom N-Flächenbilanzsaldo (N-Input: Mineraldüngung + Gülle + symbiontische N₂-Fixierung + atmosphärische Deposition, N-Output: Grassilage + Weidegras). Abb. aus Wachendorf et al., 2004; dazu im Vergleich die untersuchten COMPASS-Grünlandflächen im Mittel der zwei Jahre (siehe Tab. A8).

Die N-Flächenbilanzsalden im ökologischen Silomaisanbau lagen damit z.T. deutlich über denen der konventionellen Vergleichsflächen. Sowohl im konventionellen wie auch im ökologischen Silomaisanbau blieben die Äcker über Winter praktisch schwarz. Spät bestellte Zwischenfrüchte zur Winterbegrünung (Grünroggen) waren nur sehr schlecht aufgelaufen (Abb. A11), oder es kam der Grubber zur Queckenbekämpfung im Herbst zum Einsatz (Abb. A12).

Die Rohproteingehalte des Silomaises lagen in allen Fällen z.T. deutlich über dem von Herrmann und Taube (2004) etablierten „kritischen Rohproteingehalt“ für Maximalertrag im Silomais von 6,6%. Die N-Auswaschungsverluste der konventionellen Mais-Monokulturflächen lagen über dem Bereich der für die entsprechende Düngungsstufe im N-Projekt Karkendamm gemessenen N-Frachten im Silomaisanbau in Monokultur (Wachendorf et al., 2006b).

Im **Marktfruchtanbau** (Abb. A9) traten hohe N-Auswaschungsverluste nach der Winterweizen-Vorfrucht Raps bzw. Klee gras auf. Sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Anbau von Winterweizen in der produktionstechnisch bevorzugten Fruchtfolgestellung überschritt die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser den EU-Grenzwert von 50 ppm Nitrat im Trinkwasser deutlich. Die N-Flächenbilanzsalden einschließlich der N₂-Fixierung des Klee grasses in der Vegetationsperiode vor Sickerwasserbeginn lagen im ökologischen Landbau über denen der konventionellen Vergleichsflächen (Tab. A7). Auf Betrieb Nr. 9 wurde das Klee gras schnittgenutzt (3 Siloschnitte, mittlerer Jahresertrag: 73 dt TM ha⁻¹), auf Betrieb Nr. 12 erfolgten 2 Siloschnitte und ein Mulchgang (mittlerer Jahresertrag einschl. des gemulchten Aufwuchses: 7,7 dt TM ha⁻¹). Aufgrund der Klee anteile von über 95% auf Betrieb Nr. 9 wurden hier höhere N₂-Fixierungsleistungen als auf Betrieb Nr. 12 erzielt.

Nach der abtragenden Getreidefrucht traten im konventionellen Ackerbau N-Auswaschungsverluste auf, die den Erwartungswert deutlich übertrafen. Auf beiden konventionellen Ackerbaubetrieben wurde nach Wintergerste bzw. Winterweizen in abtragender Fruchtfolgestellung der Nitratgrenzwert überschritten (Abb. A9). Betrachtet man jedoch die N-Flächenbilanzsalden (Vegetationsperiode der Getreide-Vorfrucht + Herbstdüngung zu Winterraps), so wird deutlich, dass dieser höher ist als nach einer Raps-Vorfrucht. Dies steht im Widerspruch zur allgemein akzeptierten Erkenntnis, dass nach der Winterraps-ernte eine erhöhte N-Auswaschung in Ackerbau-Fruchtfolgen zu erwarten ist (z.B. Loges, 2002; Ruhe et al., 2002; Sieling et al., 1997), was im COMPASS-Projekt auch eine der Arbeitshypothesen gewesen ist und zur Auswahl der beprobten Fruchtfolgeglieder im Ackerbau geführt hat. Die hier beobachteten N-Auswaschungsverluste deuten an, dass es offensichtlich vielmehr darauf ankommt, wie pflanzenbauliche und Düngungs-Maßnahmen zu den jeweiligen Kulturarten gestaltet werden. Wird zu Getreide deutlich über dem N-Sollwert gedüngt (siehe Tab. A7) und anschließend noch eine Herbstdüngung von 30-40 kg N ha⁻¹ zum Winterraps durchgeführt, so liegen die N-Flächenbilanzsalden fast zwangsläufig in einem Bereich, der eine signifikante N-Auswaschung in der folgenden Sickerwasserperiode erwarten lässt. Im Vergleich zum CONBALE-Projekt auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof (Loges, 2002; Ruhe et al., 2002), wo nach Winterraps die höchsten N-Frachten gemessen wurden, waren die N-Erträge der Winterrapsbestände der hier untersuchten Flächen deutlich höher, v.a. auf Betrieb Nr. 4, während die N-Düngung zu Getreide im CONBALE-Projekt etwas geringer als auf den COMPASS-Projektbetrieben war.

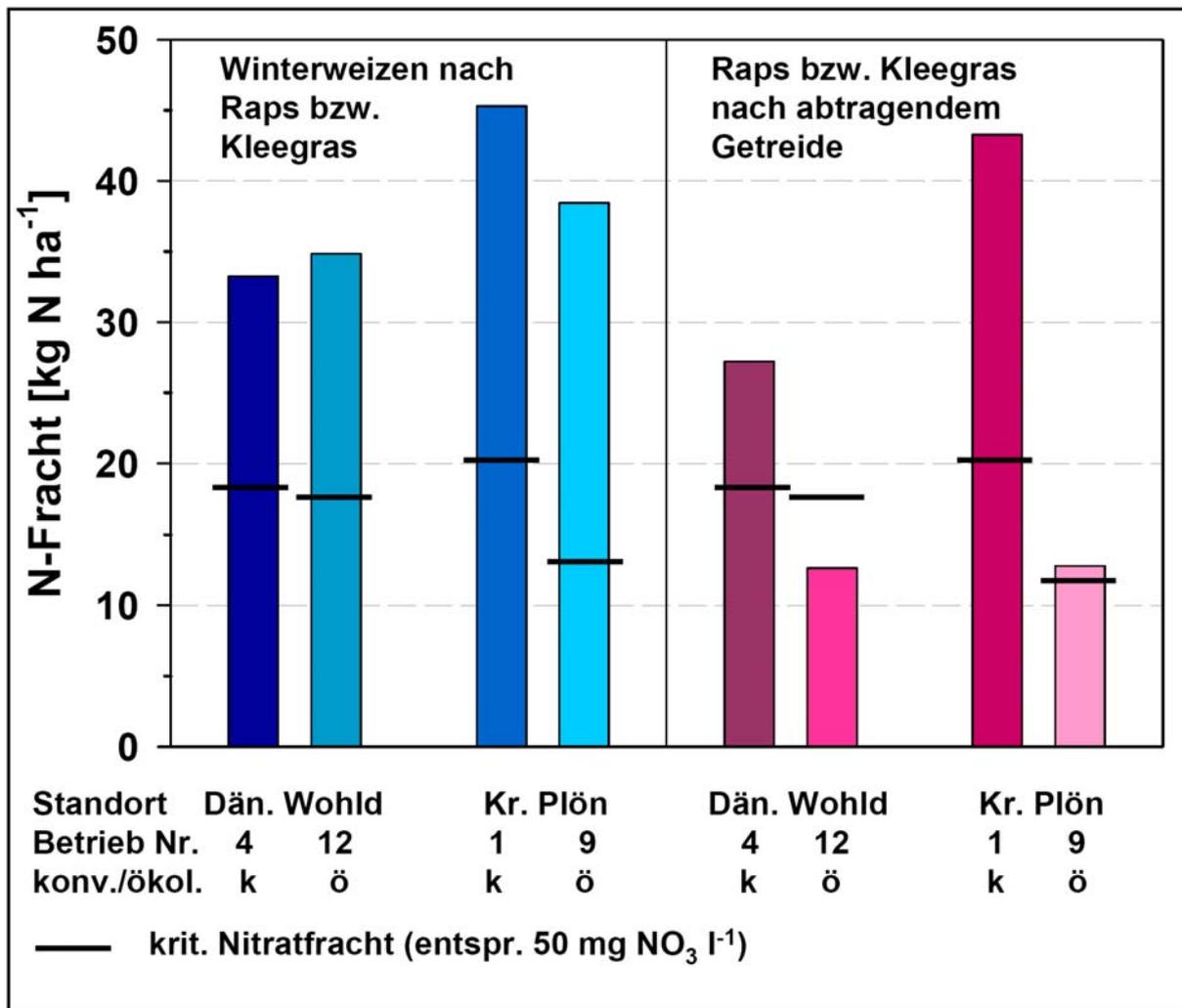


Abb. A9 N-Auswaschung (Summe aus NO₃-N + NH₄-N + N_{org}) unter konventionell und ökologisch bewirtschafteten Ackerbauflächen (links: Winterweizen nach Raps-Vorfrucht (konv.) bzw. Klee gras-Vorfrucht (ökolog.), rechts: Winterraps (konv.) bzw. Klee gras (ökolog.) nach abtragender Getreide-Vorfrucht) an zwei Standorten im östlichen Hügelland (Dänischer Wohld, Kreis Plön), Mittel der Sickerwasserperioden 2004/2005 und 2005/2006.

Aufgrund des im Mittel der untersuchten Flächen nur schwach ausgeprägten Zusammenhanges zwischen N-Flächenbilanzsaldo und N-Auswaschungsverlusten (Abb. 10) kann der N-Flächenbilanzsaldo jedoch nur grobe Hinweise für die Ursachen von N-Auswaschungsverlusten geben. Beispielsweise sind sowohl die Form (Mineraldünger, Gülle, Festmist, Exkremate der Weidetiere, N₂-Fixierung, pflanzliche Residuen der Vorfrucht) als auch der Zeitpunkt der N-Zufuhr auf die Fläche höchst variabel.

Des Weiteren ist anzumerken, dass die Sickerwasserproben des Winters 2005/2006 der Betriebe Nr. 4 und Nr. 12 noch nicht vollständig im Labor gemessen sind. Daher sind die hier dargestellten N-Auswaschungsverluste dieser beiden Standorte noch nicht als endgültige Werte zu betrachten.

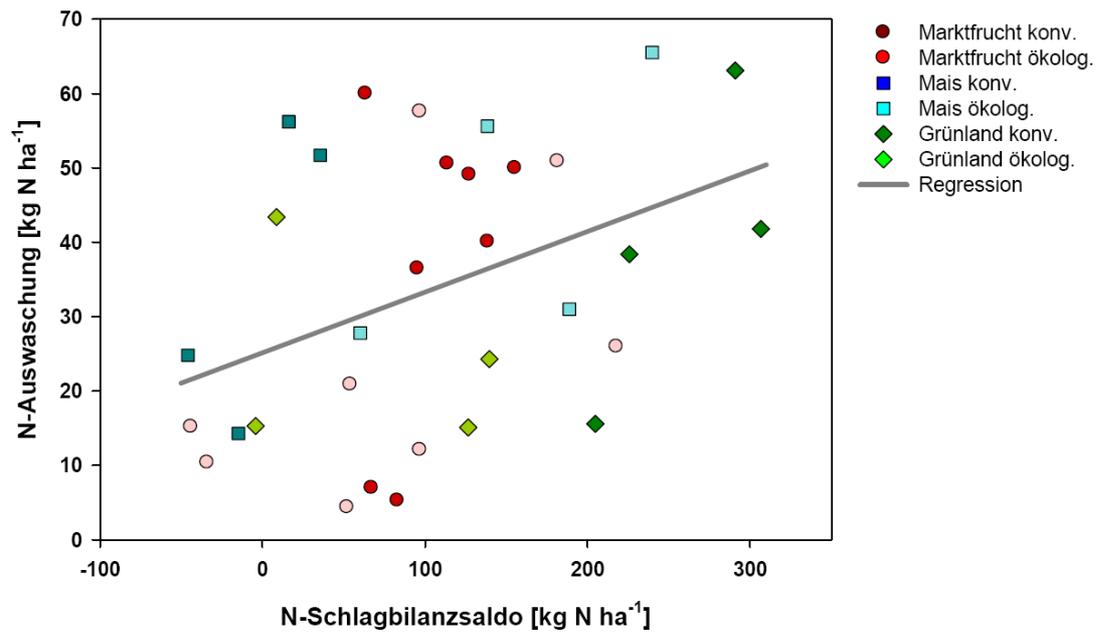


Abb. A10 Beziehung zwischen dem N-Saldo auf Schlagebene und der N-Auswaschung auf ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen (Regression: $y = 25,14 + 0,0815 x$; $r^2 = 0,16^*$)

Tab. A7 Schlagbilanzen der mit Saugkerzen beprobten Kulturarten/Fruchtfolgeglieder auf konventionellen und ökologischen Marktfruchtbetrieben (Bilanzierungszeitraum: Kalenderjahre 2004 und 2005, Auswaschung in den darauf folgenden Sickerwasserperioden 2004/05 und 2005/06; alle Angaben in kg N ha⁻¹).

Betrieb	Standort	Kulturart/Fruchtfolgeglied, Jahr *	N-Input				N-Output				NH ₃ -Verl. #		
			Mineraldünger	Wirtsch.-dünger	N-Menge der Vorfrucht §	atmosph. N ₂ -Fix.	N-Ertrag Ernte §	Summe N-Input	Summe N-Output	N-Saldo		N-Auswaschung	
1 (k)	Kr. Plön	W-Weizen 04/05 n. W-Raps	265,0				10,0	136,3	275,0	136,3	138,5	40,1	0,0
1 (k)	Kr. Plön	W-Weizen 05/06 n. W-Raps	184,0	61,6			10,0	141,9	255,6	141,9	113,7	50,6	6,2
1 (k)	Kr. Plön	W-Raps 04/05 n. W-Gerste	230,0	61,6			10,0	146,3	301,6	146,3	155,3	50,0	6,2
1 (k)	Kr. Plön	W-Raps 05/06 n. W-Gerste	250,0				10,0	164,7	260,0	164,7	95,3	36,5	
4 (k)	Dän. Wohld	W-Weizen 04/05 n. W-Raps	225,0				10,0	171,6	235,0	171,6	63,4	60,0	
4 (k)	Dän. Wohld	W-Weizen 05/06 n. W-Raps	225,4				10,0	168,3	235,4	168,3	67,1	7,0 †	
4 (k)	Dän. Wohld	W-Raps 04/05 n. W-Weizen	285,0				10,0	167,8	295,0	167,8	127,2	49,1	
4 (k)	Dän. Wohld	W-Raps 05/06 n. W-Weizen	249,4				10,0	176,4	259,4	176,4	83,0	5,3	
9 (ö)	Kr. Plön	W-Weizen 04/05 n. Kleeagr.				323,0	10,0	114,8	332,5	114,8	217,7	26,0	
9 (ö)	Kr. Plön	W-Weizen 05/06 n. Kleeagr.				339,0	10,0	168,0	349,5	168,0	181,5	50,9	
9 (ö)	Kr. Plön	Klee gras aus Untersaat 04				20	10,0	74,0	30,0	74,0	-34,0	10,4	
9 (ö)	Kr. Plön	Klee gras aus Untersaat 05				30	10,0	74,0	40,0	74,0	-44,0	15,2	
12 (ö)	Dän. Wohld	W-Weizen 04/05 n. Kleeagr.				262,0	10,0	175,2	272,0	175,2	96,8	57,6	
12 (ö)	Dän. Wohld	W-Weizen 05/06 n. Kleeagr.				262,0	10,0	175,2	272,0	175,2	96,8	12,1 †	
12 (ö)	Dän. Wohld	Klee gras aus Untersaat 04		42		60,0	10,0	58,0	112,0	58,0	54,0	20,9	6,3
12 (ö)	Dän. Wohld	Klee gras aus Untersaat 05				50	80,0	88,0	140,0	88,0	52,0	4,4	

* Die Bilanzierung umfasst das Kalenderjahr, in welchem die jeweils beprobte Sickerwasserperiode beginnt. Z.b. wird im Fall „W-Weizen 04/05 n. W-Raps“ das Kalenderjahr 2004 (hier: Ernte 2004 Raps) bis zum Ende der Vegetationsperiode (also einschl. der Herbstdüngung zum W-Weizen) bilanziert, und die Schlagbilanz der N-Auswaschung in der Sickerwasserperiode 04/05 gegenübergestellt.

§ Die N-Menge in den Residuen (Aufwuchs, Stoppeln und Wurzeln) einer im Frühjahr des jeweiligen Jahres umgebrochenen Vorfrucht (Klee gras, Winterzwischenfrüchte) wurde nach Dreyman (2005) sowie anhand auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof ermittelter langjähriger Werte angerechnet.

§ N-Ertrag von Marktfrüchten, Silomais und Grassilage

† N-Auswaschung 05/06: vorläufige Werte, da zum Zeitpunkt des Erscheinens dieses Berichtes noch nicht alle Sickerwasserproben gemessen waren.

Berechnung der NH₃-Ausbringungsverluste von Gülle und Festmist nach Düng-VO, sowie 13% NH₃-Verluste aus Urin und Kot bei Weidegang.

Tab. A8 Schlagbilanzen der mit Saugkerzen beprobten Kulturarten/Fruchtfolgeglieder auf konventionellen und ökologischen Milchvieh-Futterbaubetrieben (Bilanzierungszeitraum: Kalenderjahre 2004 und 2005, Auswaschung in den darauf folgenden Sickerwasserperioden 2004/05 und 2005/06; alle Angaben in kg N ha⁻¹).

Betrieb, Standort	Kulturart, Jahr *	N-Input						N-Output							
		Mineral- dünger	Wirtsch.- dünger	N-Menge der Vor- frucht §	N ₂ -Fix.	atmosph. Depos.	Exkre- mente	N-Ertrag Ernte §	N-Ertrag Weidegras	Summe N-Input	Summe N-Output	N-Saldo	N-Aus- waschung	NH ₃ - Verluste #	
19 (k) Dän. Wohld	Dauergrünl. 04	185,0				2,0	10,0	211,3	55,1	62,3	408,3	117,4	290,9	63,1	27,4
19 (k) Dän. Wohld	Dauergrünl. 05	170,0				2,0	10,0	197,3	97,1	77,4	379,3	174,5	204,8	15,6	25,6
19 (k) Dän. Wohld	Silomais 04	40,0	70,0				10,0		165,8		120,0	165,8	-45,8	24,8	10,5
19 (k) Dän. Wohld	Silomais 05	80,0	70,0				10,0		174,7		160,0	174,7	-14,7	14,3	10,5
21 (k) Ellingstedt	Dauergrünl. 04	245,0	87,5			20,0	10,0	158,9	128,8	85,9	521,4	214,7	306,6	41,8	33,8
21 (k) Ellingstedt	Dauergrünl. 05	160,0	70,0			20,0	10,0	151,3	98,1	87,4	411,3	185,6	225,8	38,4	30,2
21 (k) Ellingstedt	Silomais 04	52,0	140,0				10,0		166,4		202,0	166,4	35,6	51,7	21,0
21 (k) Ellingstedt	Silomais 05	40,0	140,0				10,0		173,7		190,0	173,7	16,3	56,2	21,0
32 (ö) Dän. Wohld	Dauergrünl. 04		36,0			21,0	10,0	84,9	66,0	90,1	151,9	156,1	-4,2	15,3	16,4
32 (ö) Dän. Wohld	Dauergrünl. 05		45,0			21,0	10,0	88,9	76,1	80,1	164,9	156,2	8,7	43,4	18,3
32 (ö) Dän. Wohld	Silomais 04		60,0	142,0			10,0		151,8		212,0	151,8	60,2	27,8	9,0
32 (ö) Dän. Wohld	Silomais 05		215,0	142,0			10,0		178,2		367,0	178,2	188,8	31,0	26,0
29 (ö) Ellingstedt	Dauergrünl. 04		105,0			9,0	10,0	117,0	50,1	64,3	241,0	114,4	126,6	15,1	31,0
29 (ö) Ellingstedt	Dauergrünl. 05		120,0			9,0	10,0	99,9	39,9	59,3	238,9	99,2	139,6	24,3	31,0
29 (ö) Ellingstedt	Silomais 04		120,0	120,7			10,0		112,3		250,7	112,3	138,4	55,6	18,0
29 (ö) Ellingstedt	Silomais 05		185,0	120,7			10,0		75,9		315,7	75,9	239,8	65,5	21,5

* Die Bilanzierung umfasst das Kalenderjahr, in welchem die jeweils beprobte Sickerwasserperiode beginnt. Z.b. wird im Fall „W-Weizen 04/05 n. W-Raps“ das Kalenderjahr 2004 (hier: Ernte 2004 Raps) bis zum Ende der Vegetationsperiode (also einschl. der Herbstdüngung zum W-Weizen) bilanziert, und die Schlagbilanz der N-Auswaschung in der Sickerwasserperiode 04/05 gegenübergestellt.

§ Die N-Menge in den Residuen (Aufwuchs, Stoppeln und Wurzeln) einer im Frühjahr des jeweiligen Jahres umgebrochenen Vorfrucht (Klee gras, Winterzwischenfrüchte) wurde nach Dreymann (2005) sowie anhand auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof ermittelter langjähriger Werte angerechnet.

§ N-Ertrag von Marktfrüchten, Silomais und Grassilage

Berechnung der NH₃-Ausbringungsverluste von Gülle und Festmist nach Düng-VO, sowie 13% NH₃-Verluste aus Urin und Kot bei Weidegang.



Abb. A11 Grünroggen Ende November 2004 auf einer konventionellen Silomais-Monokulturfläche auf der Geest, im Vordergrund Saugkerzen (Foto: M. Kelm).



Abb. A12 Grasbewuchs nach der Silomaisernte (Oktober 2004) auf einer ökologisch bewirtschafteten Fläche. Kurze Zeit später kam der Grubber zum Einsatz, womit die Quecke, aber auch die Winterbegrünung bekämpft wurde... (Foto: M. Kelm).

4.3. Grünland-Umbruchversuch

Insbesondere in den Geestregionen Schleswig-Holsteins ist die Erneuerung von Grünlandnarben eine häufig anzutreffende Praxis, da die Leistungsfähigkeit der Narben durch häufige Nutzung, Trockenstress in den Sommermonaten sowie mangelnde Nährstoffverfügbarkeit auf sauren sandigen bis anmoorigen Böden häufig bereits nach wenigen Hauptnutzungsjahren signifikant reduziert ist.

Um die Auswirkungen eines Umbruchs von langjährigem Dauergrünland auf den Abbau von organischer Substanz im Oberboden sowie auf die N-Auswaschung zu untersuchen, wurde im Frühjahr 2004 ein Grünland-Umbruchversuch auf dem Projektbetrieb Nr. 29 (ökologisch wirtschaftender Milchvieh-Futterbaubetrieb, Schleswiger Vorgeest) angelegt.

4.3.1. Material und Methoden

Bei der Versuchsfläche handelte es sich um eine über 30 Jahre alte Dauergrünlandfläche. Beim Bodentyp dieser Fläche, welcher einen großen Teil der Schleswiger Vorgeest dominiert und damit repräsentativ für die intensive Milchvieh-Futterbauregion der niederen Geest ist, handelt es sich um einen Gley-Podsol mit humos-sandigem Ah-Horizont (0–25 cm Tiefe), einem Ae-Horizont aus Bleichsand (25–40 cm), und einer daran anschließenden Ortsteinschicht (Bhs-Horizont, 40–70 cm). Der C-Horizont besteht aus Grob- bis Mittelsand. Das oberflächennahe Grundwasser liegt in einer Tiefe von 100 cm (Winter) bis 150 cm (Sommer) unter der Geländeoberfläche an. Die Narbe des Ausgangsbestandes wies zwar einen Gräseranteil von 84% auf (Tab. A9), wovon jedoch weniger wertvolle Grasarten wie Gemeine Rispe oder Weißes Straußgras (Flechtstraußgras) den größeren Teil ausmachten. Die Lückigkeit des Bestandes betrug ca. 15%. Ertragspotenzial und Futterqualität des Ausgangsbestandes sind als sehr gering zu charakterisieren (siehe Abb. A13).

Folgende Versuchsvarianten wurden in vierfacher Wiederholung auf der 3,1 ha großen Versuchsfläche etabliert:

- i. Frühjahrsumbruch (am 10.04.04), Sommergerste-Erbesen-Gemenge (GPS-Ernte am 28.07.04), Pflügen und Grünland-Neuansaat am 10.–11.09.04
- ii. Herbstumbruch der Altnarbe (am 10.09.04), Grünland-Neuansaat am 11.09.04
- iii. Kontrolle (Altnarbe)

Der Umbruch erfolgte in beiden Varianten heil, also ohne vorherige Zerkleinerung der Altnarbe mit einem Grubber, einer Scheibenegge oder anderem Gerät. Die Parzellengröße betrug jeweils 60 m². Die Probenahmen umfassten

- ※ Bodenproben (N_{\min} in 0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm Tiefenschichten, 15 Einstiche je Parzelle) in vierwöchigen Abständen im Jahr 2004, danach in achtwöchigen Abständen; diese Proben wurden auch für die Bestimmung des C- und N-Gesamtgehaltes der Bodenschichten verwendet,
- ※ Aufwuchsproben zur Bestimmung des TM-, N- und Energieertrages (nur im Jahr 2004), sowie
- ※ die Beprobung der N-Auswaschung mit Saugkerzen in den Sickerwasserperioden 2004/2005 und 2005/2006.

Letzteres erfolgte mit 3 keramischen Saugkerzen je Parzelle, sowie 2 Glas-Saugkerzen in den Varianten eines der vier Blöcke (Wiederholungen).

Tab. A9 Botanische Zusammensetzung des Ausgangsbestandes des Grünland-Umbruchsversuchs (Aufnahme: 27.04.04)

Art			Ertragsanteile [%]		
			Summe Gräser	Summe Legum.	Summe Kräuter
Deutsch-Weidelgras	<i>Lolium perenne</i>	35	84		
Gemeine Risppe	<i>Poa trivialis</i>	20			
Jährige Risppe	<i>Poa annua</i>	1			
Wiesenschwingel	<i>Festuca pratensis</i>	6			
Rotschwingel	<i>Festuca rubra</i>	1			
Wiesenlieschgras	<i>Phleum pratense</i>	3			
Knautgras	<i>Dactylis glomerata</i>	5			
Wolliges Honiggras	<i>Holcus lanatus</i>	1			
Gemeine Quecke	<i>Agropyron repens</i>	1			
Weißes (Flecht-) Straußgras	<i>Agrostis stolonifera</i>	10			
Knickfuchsschwanz	<i>Alopecurus geniculatus</i>	1			
Weißklee	<i>Trifolium repens</i>	< 1		< 1	
Gemeiner Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i>	7			15
Vogelmiere	<i>Stellaria media</i>	1			
Scharfer Hahnenfuß	<i>Ranunculus acris</i>	< 1			
Kriechender Hahnenfuß	<i>Ranunculus repens</i>	2			
Wiesenkerbel	<i>Anthriscus sylvestris</i>	1			
Ackerkratzdistel	<i>Cirsium arvense</i>	< 1			
Krauser Ampfer	<i>Rumex crispus</i>	3			
Gemeines Hornkraut	<i>Cerastium holosteoides</i>	< 1			
Gemeine Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i>	< 1			

4.3.2. Ergebnisse

Im ersten Winter nach dem Umbruch (Sickerwasserperiode 2004/2005) wurden sehr hohe N-Frachten (Summe aus $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NH}_4\text{-N}$ + N_{org}) von 123 kg N ha^{-1} (Frühjahrs-umbruch) bzw. 112 kg N ha^{-1} (Herbst-umbruch) gemessen (Abb. A15). Davon entfielen $6,4$ bzw. $7,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ auf organischen Stickstoff (N_{org}), $0,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ auf Ammonium, und die Restmenge ausgewaschenen Stickstoffs in Höhe von 115 bzw. 104 kg N ha^{-1} auf Nitrat-Stickstoff.

Die statistische Auswertung ist noch nicht abgeschlossen, jedoch sind die Unterschiede in der N-Auswaschung zwischen dem Frühjahrs- und dem Herbst-umbruch als kaum relevant anzusprechen. Unabhängig vom Umbruchzeitpunkt wurde die untergepflügte Altnarbe bis zum Einsetzen der Sickerwasserperiode weitgehend mineralisiert. Die dadurch freigesetzten N-Mengen konnten im Falle des Frühjahrs-umbruchs vom Sommergeste-Erbsen-Bestand offensichtlich nur in geringem Maß aufgenommen werden, so dass hier, wie auch nach dem Herbst-umbruch, der größte Teil des mineralisierten Stickstoffs ausgewaschen wurde. Die schnelle Mineralisation der untergepflügten Altnarbe wurde durch die Bodenverhältnisse am Standort sicherlich begünstigt. Der sandige, dunkle Oberboden erwärmt sich rasch, und auch die geringe Lagerungsdichte und die damit einhergehende Luftkapazität des Oberbodens fördern die mikrobielle Umsetzung der organischen Substanz.

Im zweiten Winter nach dem Umbruch bewegte sich die N-Auswaschung bereits auf einem deutlich niedrigeren Niveau von 11 kg N ha^{-1} (Frühjahrs-umbruch 2004) bzw. 23 kg N ha^{-1} (Herbst-umbruch 2004). Der letztere Wert entsprach etwa dem der Kontrolle (Altnarbe). Somit

war der Effekt des Umbruchs einer alten Dauergrünlandnarbe auf die N-Auswaschungsverluste auf den ersten Winter nach dem Umbruch beschränkt, und zwar unabhängig vom Umbruchzeitpunkt (Frühjahr oder Herbst).

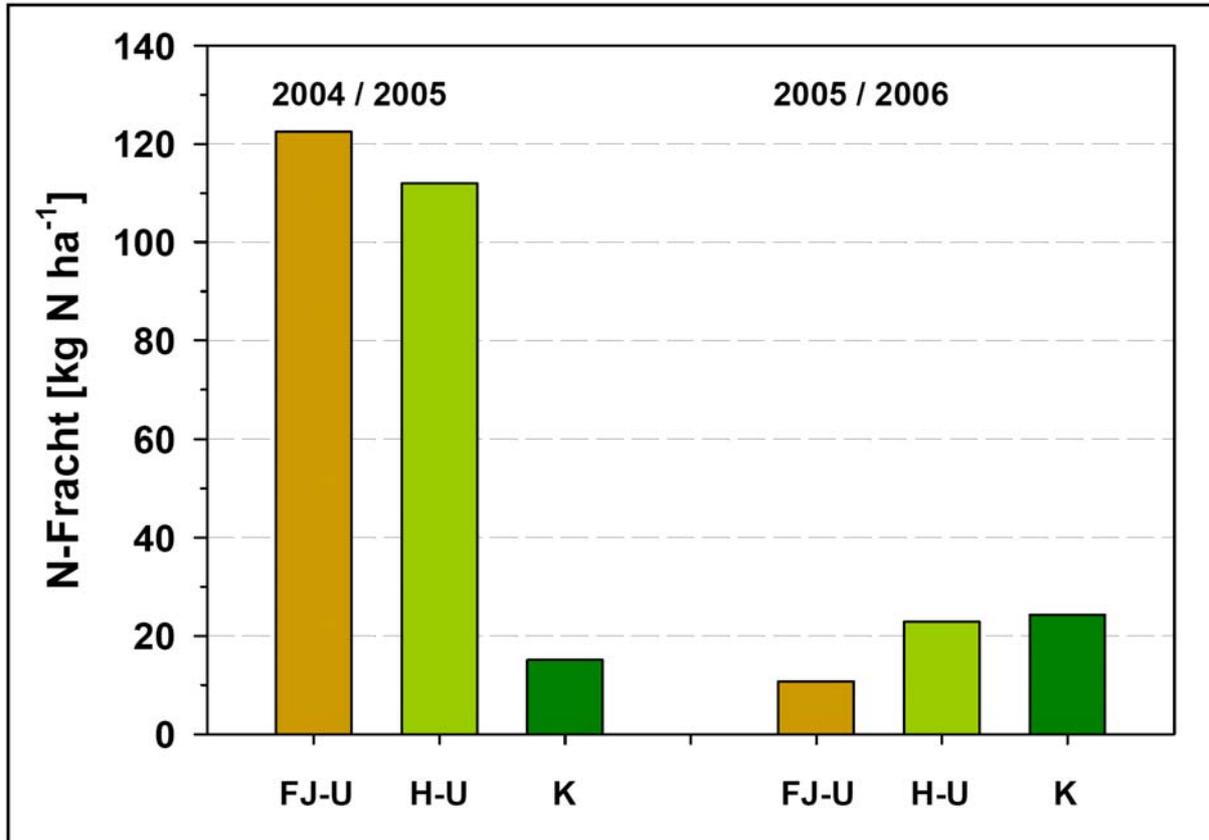


Abb. A15 N-Auswaschung (Summe aus $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NH}_4\text{-N}$ + N_{org}) nach einem Frühjahrsumbruch (FJ-U) und einem Herbstumbruch (H-U) einer alten Dauergrünlandnarbe in der ersten und zweiten Sickerwasserperiode nach dem Umbruch (K: Kontrolle; Standort: Ellingstedt, Gley-Podsol mit humos-sandigem Oberboden).

Kayser et al. (2003) stellten auf einem ebenfalls humosen Sandboden in der Weser-Ems-Region einen signifikanten Effekt des Umbruchzeitpunktes auf die Nitratauswaschung im folgenden Winter fest. Mit (im Mittel der Jahre ca. 60 kg N ha^{-1}) und ohne mineralische N-Düngung vor dem Umbruch der Altnarbe wurden N-Frachten von unter 10 kg N ha^{-1} (Frühjahrsumbruch) und 36 bzw. 60 kg N ha^{-1} (Herbstumbruch ohne und mit vorangegangener mineralischer N-Düngung) gemessen. Den Effekt des Umbruchzeitpunktes auf die N-Auswaschung führen die Autoren auf den N-Ertrag des nach dem Frühjahrsumbruch angesäten neuen Grünlandbestandes zurück. Angaben zur Höhe der aufgenommenen Stickstoffmengen sowie zur N-Auswaschung in den Folgejahren nach dem Umbruch fehlen jedoch.

Eine Untersuchung aus Dänemark (Eriksen, 2001) zeigte N-Auswaschungsverluste im ersten Winter nach dem Frühjahrsumbruch von Ackergras- und Klee grasbeständen in einer Größenordnung von $20\text{--}35 \text{ kg N ha}^{-1}$ in den mit dem vorliegenden Versuch zu

vergleichenden ungedüngten Varianten, allerdings auf einem lehmigen Standort. In einer Fruchtfolge im ökologischen Landbau fanden Eriksen et al. (1999) eine Nitratauswaschung von $44 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ nach einem Frühjahrsumbruch und Anbau von Sommergerste-Erbse-Gemenge wie im vorliegenden Versuch. Im zweiten Winter nach dem Umbruch war die Nitratauswaschung jedoch höher als im ersten Winter und ging in den folgenden Wintern stetig zurück.

Die Messung und Auswertung der Bodenproben (N_{min} - und C/N-Werte) des vorliegenden Versuches ist noch nicht abgeschlossen, so dass eine genauere Analyse zur Umsetzung der untergepflügten Altnarbe zum jetzigen Zeitpunkt unterbleiben muss.



Abb. A13 Ausgangsbestand des Grünland-Umbruchversuchs am 27.04.04 (Foto: M. Kelm).



Abb. A14 Grünland-Umbruchversuch am 27.04.04. Links Frühjahrsumbruch mit Sommergerste-Erbesen-Gemenge, rechts Kontrolle (Altnarbe) (Foto: M. Kelm).

4.4. Botanische Diversität des Dauergrünlandes

Der botanischen Artenvielfalt landwirtschaftlich genutzter Flächen wird eine hohe Aussagekraft als Indikator für den biotischen Ressourcenschutz zugeschrieben. Im Zuge der Intensivierung der futterbaulichen Nutzung des Dauergrünlandes in den vergangenen Jahrzehnten, u.a. in Form erhöhter Düngungsmengen, häufigerer Nutzung, und vermehrten Umbruchs bzw. häufigerer Erneuerung alter Grünlandnarben, konnte allgemein eine floristische Verarmung der bestehenden Grünlandflächen beobachtet werden. Auf der anderen Seite nahm der Flächenanteil unter Bewirtschaftungsrichtlinien des ökologischen Landbaus seit den 1980er Jahren stetig zu. Ein erklärtes Ziel des ökologischen Landbaus ist die Erhaltung und Förderung der Artenvielfalt. Im Hinblick auf die Artenvielfalt des Dauergrünlandes kommt dem Verzicht auf mineralischen Stickstoffdünger und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie der Förderung von Grünlandleguminosen, v.a. Weißklee (*Trifolium repens*), eine zentrale Bedeutung zu (vgl. Wachendorf und Taube, 2001).

Die botanische Zusammensetzung einer Grünlandnarbe ist des Weiteren von Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Bestandes im Hinblick auf das Ertragspotenzial und zentrale Futterqualitätsparameter. Im ökologischen Landbau ist der Kleeanteil aufgrund der symbiontischen N_2 -Fixierung von besonderer Bedeutung für die Stickstoffversorgung des Grünlandes.

Anhand der Kartierung repräsentativer Dauergrünlandbestände der Projektbetriebe sollte den Fragen nachgegangen werden,

- i. inwieweit ökologische Bewirtschaftung einen Beitrag zur Erhöhung der Artenvielfalt auf dem Dauergrünland leistet,

- ii. wie hoch der Ertragsanteil des Weißklees auf ökologisch bewirtschafteten Dauergrünlandflächen ist, und welcher Beitrag zur Stickstoffversorgung des Bestandes daraus abgeleitet werden kann, und
- iii. welchen Ertragsanteil wertvolle Futtergräser auf der einen und – futterbaulich meist wertlose – Grünlandkräuter auf der anderen Seite ausmachen, und welche Schlüsse auf die Leistungsfähigkeit der Narbe dies zulässt.

4.4.1. Material und Methoden

Zwischen Oktober 2005 und Juni 2006 wurden insgesamt 27 konventionell und 23 ökologisch bewirtschaftete Dauergrünlandflächen auf allen 16 am Projekt teilnehmenden Milchvieh-Futterbaubetrieben kartiert. Die Flächen wurden repräsentativ für jeden Betrieb ausgewählt, und umfassten ausschließlich mindestens 10 Jahre alte Narben des Dauergrünlandes. Auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben wurden lediglich Flächen kartiert, die zum Zeitpunkt der Untersuchung mindestens 10 Jahre lang unter ökologischer Bewirtschaftung standen. Auf jedem Schlag wurden alle vorkommenden Arten aufgelistet, sowie an 2–6 Wiederholungen (ca. eine Wiederholung je Hektar) auf einem je 2×2 m großen repräsentativen Flächenausschnitt eine Schätzung der Ertragsanteile vorgenommen.

Bei den pflanzensoziologischen Einheiten der untersuchten Flächen handelt es sich im Wesentlichen um Arrhenatheretalia (Wiesen und Weiden frischer Standorte, 42 Flächen), sowie um Molinietaalia (Feuchtwiesen, 8 Flächen). Alle Flächen wurden praxisüblich als Weide, Mähweide oder drei- bis viermalige Schnittnutzung bewirtschaftet. Flächen mit Nutzungsaufgaben z.B. aufgrund von Biotopschutzprogrammen wurden in der Untersuchung ausgeklammert.

4.4.2. Ergebnisse

Tab. A10 Mittlere Artenzahlen und Ertragsanteile der Artengruppen (Gräser – einschließlich Binsen und Seggen –, Leguminosen, Kräuter) im konventionell und ökologisch bewirtschafteten Dauergrünland

	konventionell				ökologisch			
	mittl. Artenzahl		mittl. Ertragsanteil [%]		mittl. Artenzahl		mittl. Ertragsanteil [%]	
Gräser, Binsen, Seggen	9,2	(4 – 20)	91,0	(57 – 100)	9,4	(6 – 15)	76,4	(42 – 97)
Leguminosen	1,0	(0 – 2)	1,4	(0 – 20)	1,3	(1 – 2)	9,9	(0 – 40)
Kräuter	9,3	(4 – 26)	7,6	(0 – 43)	8,8	(4 – 18)	13,8	(0 – 58)
Artenzahl gesamt	19,4	(10 – 47)			19,5	(12 – 30)		

Die durchschnittliche Artenzahl unterscheidet sich insgesamt und auch innerhalb der drei Artengruppen (Gräser einschließlich Binsen und Seggen, Leguminosen, Kräuter) nur minimal zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Praxisflächen des Dauergrünlandes (Tab. A10). Im Mittel wurden 19,4 (konv.) bzw. 19,5 (ökolog.) Arten vorgefunden. Je nach Standortverhältnissen und Bewirtschaftung reichte die Spanne von 10–12 Arten auf extrem artenarmen Flächen bis hin zu artenreichen Beständen mit 25–30 Arten. Auf einem

konventionell wirtschaftenden Betrieb (Betrieb Nr. 20, Alsterniederungen) konnten auf allen vier untersuchten Grünlandflächen des Betriebes durchschnittlich 33 Arten festgestellt werden, unter anderem (s.u.) auch zwei Arten der Roten Liste, Kategorie V (potenziell gefährdet).

Die mittleren Ertragsanteile weisen einen Kleeanteil von 9,9% auf ökologisch bzw. 1,4% auf konventionell bewirtschafteten Flächen auf (Tab. A11). Tendenziell war der Kleeanteil auf Mineralböden höher als auf anmoorigen und/oder feuchten bis nassen Flächen, wo auch im ökologischen Landbau nur Kleeanteile zwischen 0% und 4% realisiert wurden. Der Anteil an Kräutern war in ökologisch bewirtschafteten Beständen mit 13,8% deutlich höher als in den konventionellen Vergleichsbeständen.

Tab. A11 Liste der Arten mit höherem Ertragsanteil ($\geq 0,5\%$) im konventionell und ökologisch bewirtschafteten Dauergrünland

Art	Ertragsanteil [%]		
	konventionell	ökologisch	
Gräser			
Deutsch-Weidelgras	<i>Lolium perenne</i>	48,4	32,7
Wiesenrispe	<i>Poa pratensis</i>	2,8	2,3
Gemeine Rispe	<i>Poa trivialis</i>	19,9	20,1
Jährige Rispe	<i>Poa annua</i>	0,9	0,3
Wiesenschwingel	<i>Festuca pratensis</i>	4,0	4,1
Rotschwingel	<i>Festuca rubra</i>	0,6	1,2
Wiesenlieschgras	<i>Phleum pratense</i>	1,2	2,6
Knautgras	<i>Dactylis glomerata</i>	1,6	0,9
Gemeine Quecke	<i>Agropyron repens</i>	3,6	1,0
Wolliges Honiggras	<i>Holcus lanatus</i>	3,6	2,9
Rotes Straußgras	<i>Agrostis capillaris</i>	0,2	0,7
Weißes Straußgras (Flecht-S.)	<i>Agrostis stolonifera</i>	1,4	2,0
Wiesenfuchsschwanz	<i>Alopecurus pratensis</i>	1,8	3,8
Knickfuchsschwanz	<i>Alopecurus geniculatus</i>	0,8	0,5
Leguminosen			
Weißklee	<i>Trifolium repens</i>	1,4	9,8
Kräuter			
Gemeiner Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i>	3,9	8,0
Vogelmiere	<i>Stellaria media</i>	0,7	0,1
Kriechender Hahnenfuß	<i>Ranunculus repens</i>	1,3	4,5

Folgende gefährdete bzw. Rote-Liste-Arten (LANU, 2006) wurden im Zuge der Kartierungen auf den Grünland-Praxisflächen vorgefunden:

- ※ Kuckuckslichtnelke (*Silene flos-cuculi*): Rote Liste Kategorie 3 (gefährdet), gefunden auf einer ökologisch bewirtschafteten Wiese in der Nähe eines Waldrandes, Boden- und Wasserverhältnisse: Mineralboden (lehmiger Sand), frisch bis wechselfeucht.
- ※ Flammender Hahnenfuß (*Ranunculus flammula*): Rote Liste Kategorie V (potenziell gefährdet),

gefunden auf 3 Wiesen desselben konventionell wirtschaftenden Betriebes (Betrieb Nr. 20, Alsterniederungen), Boden- und Wasserverhältnisse: anmoorig, wechselfeucht bis nass (Feuchtwiesen),

- ※ Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*): Rote Liste Kategorie V (potenziell gefährdet), gefunden auf einer konventionell bewirtschafteten, extrem artenreichen Weide (insgesamt 47 Arten) – ebenfalls auf dem Betrieb Nr. 20 – , deren Ertragspotenzial als äußerst gering einzuschätzen ist (24% Kräuteranteil, 5% Deutsch-Weidelgras, Rotschwengel mit 16% Ertragsanteil Hauptbestandbildner, extrem geringer Massenaufwuchs zum Zeitpunkt der Kartierung am 11.05.06). Boden- und Wasserverhältnisse: Mineralboden (Sand), frisch.

Insgesamt geben die Ergebnisse der dargestellten Grünland-Kartierungen einen für die Projektbetriebe weitgehend repräsentativen Aufschluss über die botanische Artenvielfalt und damit einhergehende Leistungsparameter konventionell und ökologisch bewirtschafteter Praxisflächen in Schleswig-Holstein.

4.5. Konzeption optimierter Produktionssysteme mit dem Integrated Farm System Model (IFSM)

Das Integrated Farm System Model (IFSM) (frühere Bezeichnung: DAFOSYM) wurde an der Pasture Systems and Watershed Management Research Unit des Agricultural Research Service (ARS), United States Department of Agriculture (USDA) entwickelt (Rotz, 2006; Rotz et al., 1999). Das Modell ist als Werkzeug für Forschung, Lehre und Beratung konzipiert und beinhaltet die wesentlichen biologischen und physischen Prozesse im Pflanzenbau und in der Tierhaltung auf der Skalenebene des Gesamtbetriebes sowie in den jeweiligen Subsystemen. Das Modell eignet sich insbesondere für die Simulation von Milchvieh-Futterbaubetrieben. Alle zentralen Vorgänge wie Bodenbearbeitung, Bestellung, Düngung, Ernte, Lagerung, Fütterung, Milchproduktion und Wirtschaftsdüngermanagement können über beliebig viele Jahre mit den Witterungsdaten sowie Angaben zum vorherrschenden Bodentyp des betreffenden Standortes simuliert und ausgewertet werden, ebenso wie die Kreisläufe von Wirtschaftsdüngern sowie Nährstoffverluste durch Auswaschung, Denitrifikation und gasförmige Verluste. Durch die Simulation alternativer Produktionsstrategien auf repräsentativen Betrieben ist es möglich, Produktionssysteme zu identifizieren, die ein angestrebtes Niveau ökonomischer und ökologischer Ziele realisieren können. In den vergangenen Jahren wurden solche Studien mit dem IFSM-Modell erfolgreich für landwirtschaftliche Produktionssysteme in den USA (Rotz et al., 1999, 2001, 2002a), den Niederlanden (Rotz et al., 2005) und Deutschland (Rotz et al., 2002b, 2005) durchgeführt. Um die im COMPASS-Projekt erhobenen Daten im Hinblick auf die Konzeption optimierter, nährstoffeffizienterer Produktionssysteme auszuwerten, fand vom 05.09.06 bis 05.10.06 ein Forschungsaufenthalt von Dr. Michael Kelm an der Pasture Systems and Watershed Management Research Unit des Agricultural Research Service (ARS), United States Department of Agriculture (USDA) in State College, Pennsylvania, USA statt. Die während und im Anschluss an diesen Aufenthalt erarbeiteten Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

4.5.1. Material und Methoden

Für die Simulation optimierter Managementstrategien mit dem Ziel einer signifikanten Reduzierung der N-Bilanzsalden und der N-Auswaschung im Milchvieh-Futterbau wurden die im COMPASS-Projekt aufgenommenen und gemessenen Daten von vier Betrieben herangezogen:

- ※ Betrieb Nr. 18 (konventionell, Hügelland),
- ※ Betrieb Nr. 21 (konventionell, Geest),
- ※ Betrieb Nr. 32 (ökologisch, Hügelland), und
- ※ Betrieb Nr. 29 (ökologisch, Geest).

Diese vier Betriebe wurden ausgewählt, da auf diesen Betrieben die N-Auswaschung mit Saugkerzen gemessen wurde. Der erste Arbeitsschritt bestand darin, die auf diesen Betrieben mit Saugkerzen gemessene tatsächliche N-Auswaschung mit der simulierten N-Auswaschung abzugleichen bzw. die Eingangsparameter für das IFSM-Modell so zu kalibrieren, dass eine bestmögliche Wiedergabe der gemessenen Auswaschung unter Dauergrünland sowie nach der Silomaisernte erfolgt.

Im Anschluss daran wurden die nachstehend beschriebenen Szenarien simuliert. Dies geschah nur für die beiden konventionellen Betriebe, da die ökologisch wirtschaftenden Milchvieh-Futterbaubetriebe auf Gesamtbetriebsebene bereits einen so engen N-Kreislauf aufwiesen, dass eine weitere Optimierung nicht möglich war. Zwar wiesen die ökologisch bewirtschafteten Flächen nach Silomaisanbau eine im Vergleich zu den konventionellen Betrieben ähnlich hohe N-Auswaschung auf (vgl. Abb. A8), dem hätte man jedoch nur durch die Simulation des Silomaisanbaus mit einer Untersaat begegnen können. Mit einer Untersaat jedoch waren die simulierten Silomaiserträge aufgrund der Nährstoffkonkurrenz der Untersaat signifikant reduziert bei nur vergleichsweise geringer Reduktion der N-Frachten, was im Einklang mit den Ergebnissen von Wachendorf et al. (2006a, b) steht und daher kaum als praktikable Option bewertet werden kann. Daher wurde auf eine modellgestützte Optimierung der N-Kreisläufe der ökologisch wirtschaftenden Betriebe verzichtet, und nur für die beiden konventionellen Betriebe das in Tab. A12 dargestellte, aufeinander aufbauende Schema an Handlungsoptionen simuliert.

Die Randbedingungen bestanden in einer konstanten Milchleistung je Kuh, einer konstanten Milchproduktion des Gesamtbetriebes, sowie einer konstanten Betriebsfläche. Die Gesamtproduktivität des Betriebes variiert daher nur aufgrund unterschiedlicher Flächenanteile, die für den Marktfruchtanbau zur Verfügung stehen. Die insgesamt anfallende und je nach simuliertem Szenario variierende Menge an Wirtschaftsdünger wurde nach Abzug von Lagerungs- und Ausbringungsverlusten in Höhe von 30% den einzelnen Kulturarten anteilig zugeordnet, um das unter Szenario (16) definierte N-Düngungsziel zu erreichen. Die Höhe der Mineraldüngerapplikation änderte sich daher (außer zu Silomais) mit jeder Änderung des Wirtschaftsdüngeranfalls. Die Flächenanteile der einzelnen Kulturarten wurden jeweils so angepasst, dass weder ein Zukauf noch ein Verkauf von Silage erfolgte.

Alle Simulationen wurden für einen 10-jährigen Zeitraum (Wetterdaten der Jahre 1995–2005) durchgeführt, um den witterungsbedingten jährlichen Schwankungen in der Pflanzenproduktion Rechnung zu tragen. Die dargestellten Ergebnisse sind demnach jeweils zehnjährige Mittelwerte.

Tab. A12 Mit IFSM simulierte Szenarien für die konventionell wirtschaftenden Milchvieh-Futterbaubetriebe

Szenario Nr.	Maßnahmen
10	Status quo des Betriebes
11	Optimierung der Tierproduktion 1
12	Optimierung der Tierproduktion 2
13	Optimierung der Tierproduktion 3
15	Optimierung der Pflanzenproduktion 1
16	Optimierung der Pflanzenproduktion 2
	Senken der Remontierungsrate auf 25%, entsprechende Reduzierung des Jungviehbestandes
	Optimierung der Ration durch Hinzunahme einer UDP-Ergänzung (Sojaschrot mit 55% UDP) sowie Getreide als rohproteinarmes Energieausgleichsfutter
	Erhöhung der Grundfutteraufnahme
	Untersaat im Silomaisanbau
	Reduktion der Düngung auf:
	※ Silomais: 12 kg N ha ⁻¹ + 52 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ über Mineraldünger sowie Gülle für 7,0% Rohprotein in der Maissilage
	※ Grünland: Düngung auf N-Sollwert von 160 kg N ha ⁻¹ (Geest) bzw. 230 kg N ha ⁻¹ (Hügelland) über Mineraldünger und Gülle (Anrechnung des Güllestickstoffs entspr. DüngVO), keine mineralische P- u. K-Düngung
	※ Marktfrüchte: Düngung auf mittleren N-Sollwert von 180 kg N ha ⁻¹ (Geest) bzw. 220 kg N ha ⁻¹ (Hügelland), keine mineralische P- u. K-Düngung
17	Optimierung der Pflanzenproduktion 3
	Erhöhung des Anteils an Ackergras (in der Fruchtfolge zwischen Getreide und Silomais) auf Kosten des Anteils Dauergrünland an der gesamten LF:
	nur der für den Weidegang im Sommer/Spätsommer notwendige Anteil Dauergrünland bleibt erhalten, 1. Schnitt auf einem Teil der Fläche
18	Optimierung der Pflanzenproduktion 4
	Ganzjährige Stallhaltung der Milchkühe, dadurch Reduzierung der Weidefläche
30	30% Maissilage-Anteil in der Grundfutter-Ration
50	50% Maissilage-Anteil in der Grundfutter-Ration
70	70% Maissilage-Anteil in der Grundfutter-Ration
Kombinierte Maßnahmen:	
20	Optimierung der Tierproduktion
	Kombination der Maßnahmen 11, 12 und 13 (geringere Remontierungsrate, optimierte Ration, höhere Grundfutteraufnahme)
301	Optimierung der Pflanzen- und Tierproduktion optimiert (Szenario 20), reduzierte Düngung (Szenario 16), 30% Maissilage (Szenario 30)
501	wie 301, 50% Maissilage (50)
701	wie 301/501, 70% Maissilage (70)
302	Tierproduktion optimiert (20), reduzierte Düngung (16), 30% Maissilage (30), Futterbau-Fruchtfolge (17)
502	wie 302, 50% Maissilage (50)
702	wie 302/502, 70% Maissilage (70)
303	Tierproduktion optimiert (20), reduzierte Düngung (16), 30% Maissilage (30), ganzjähr. Stallhaltung d. Kühe (18)
503	wie 303, 50% Maissilage (50)
703	wie 303/503, 70% Maissilage (70)
304	Tierproduktion optimiert (20), reduzierte Düngung (16), 30% Maissilage (30), Futterbau-Fruchtfolge (17), ganzjährige Stallhaltung der Kühe (18)
504	wie 304, 50% Maissilage (50)
704	wie 304/504, 70% Maissilage (70)
301 U bis 704 U	Szenarien 301–704 jeweils mit Untersaat im Silomais

4.5.2. Ergebnisse

Die Simulation einzelner Handlungsoptionen (Tab. A13) zeigt deren Effekte auf den N-Bilanzsaldo (brutto, ohne Abzug der NH_3 -Verluste) auf Betriebsebene, die NO_3 -Auswaschung und gasförmige N-Verluste über NH_3 -Ausgasung. Der Status quo der beiden Betriebe ergab in der zehnjährigen Simulation N-Bilanzsalden, die über den realen Salden der Jahre 2003/2004 und 2004/2005 (vgl. Tab. A3–A4) liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Erntejahre 2004 und 2005, die zur Modellkalibration genutzt wurden, aufgrund über dem langjährigen Mittel liegender Temperaturen bei ausreichenden Niederschlägen ein deutlich überdurchschnittliches Ertragsniveau aller Kulturarten aufwiesen, was den N-Saldo im Vergleich zum langjährigen Witterungsmittel (unter konstantem Management) geringer ausfallen ließ. Das simulierte zehnjährige Mittel der Nitratauswaschung lag ebenfalls über der mit Saugkerzen in den Wintern 2004/2005 und 2005/2006 gemessenen N-Auswaschung als Mittelwert von Dauergrünland und Silomais-Monokultur (vgl. Abb. A8). Insbesondere die Nitratauswaschung unter Dauergrünland wurde vom Modell überschätzt, was auch – allerdings nicht so deutlich – bei der Kalibration auftrat (Daten nicht gezeigt). Dies kann zum einen am Modellalgorithmus bzw. an der festgelegten Grundkalibration des Modells liegen, an der Überschätzung der NO_3 -Auswaschung unter Exkrementstellen, oder auch an anderen Faktoren, welche im Modell nicht ohne einen sehr großen Aufwand nachvollzogen werden können. Daher kann nur angemerkt werden, dass die simulierte Nitratauswaschung vermutlich stets etwas überschätzt, in keinem Fall jedoch unterschätzt wird. –

Von den einzelnen Maßnahmen war auf Betrieb 19 (Hügelland) eine optimierte Fütterung (Szenario 12) die wirkungsvollste Möglichkeit, um den N-Saldo, die Nitratauswaschung und gasförmige N-Verluste zu reduzieren. Die Verwendung eines an UDP (undegradable protein, im Pansen nicht abgebautes Protein) reichen Futtermittels (hier: Sojaschrot mit 55% UDP) sowie von Getreide (hoher Nettoenergie- aber geringer Proteingehalt) erlaubt zum einen eine gezieltere Anpassung der Ration an die leistungsspezifischen Bedürfnisse der Milchkuh. Des Weiteren steigert ein erhöhter UDP-Anteil im Futterprotein die N-Verwertung der Milchkuh, wobei jedoch eine Überversorgung mit UDP ebenso zu vermeiden ist wie die Verwendung von zu stark thermisch oder chemisch behandelten UDP-Quellen, da diese die Proteinverdauung im Dünndarm herabsetzen können (vgl. Brade und Flachowsky, 2005). Das im IFSM-Modell integrierte Programm zur Berechnung der optimalen Ration entspricht jedoch dem aktuellen Stand der Forschung, daher kann von einer plausiblen Rationsberechnung ausgegangen werden. Auf Praxisbetrieben, so auch auf den hier untersuchten Projektbetrieben, besteht die Kraftfutter-Komponente der Ration i.d.R. zum größten Teil aus Standard-Milchleistungsfutter mit lediglich 18% oder 20% Rohprotein (24%–30% UDP) und $6,7 \text{ MJ NEL kg}^{-1} \text{ TS}$. Sofern keine weiteren (idealerweise UDP-reiche) Komponenten zum Einsatz kommen, ist eine gezielte Steuerung der N-Verwertung der Milchkuh nur schwer möglich.

Des Weiteren reduziert ein Absenken der Remontierungsrate auf 25% den N-Saldo, die NO_3 -Auswaschung und gasförmige N-Verluste auf beiden Betrieben erheblich, da nur eine geringere Anzahl an Färsen gehalten werden muss. In Kombination aller untersuchten Optionen in der Tierhaltung kann der N-Saldo um 47,5 bzw. 33,8 kg N ha^{-1} (Betrieb 19 bzw. Betrieb 21) reduziert werden, die N-Auswaschung jeweils um knapp 20 $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$.

Tab. A13 Auswirkung einzelner Handlungsoptionen auf N-Bilanzsalden, N-Auswaschungsverluste und gasförmige N-Verluste (NH₃) zweier konventionell wirtschaftender Milchvieh-Futterbaubetriebe (Simulationen mit IFSM).

Szenario	Betrieb 19 (Hügelland)			Betrieb 21 (Geest)		
	N-Saldo kg N ha ⁻¹	N-Ausw. kg NO ₃ -N ha ⁻¹	NH ₃ -Verl. kg NH ₃ -N ha ⁻¹	N-Saldo kg N ha ⁻¹	N-Ausw. kg NO ₃ -N ha ⁻¹	NH ₃ -Verl. kg NH ₃ -N ha ⁻¹
10 Status quo	147,5	47,6	48,0	162,1	80,6	38,0
11 25% Remontierung, weniger JV	131,0 (- 16,5)	39,7 (- 7,9)	43,9 (- 4,1)	151,1 (- 11,0)	73,7 (- 6,9)	35,6 (- 2,4)
12 Optimierung der Ration	111,8 (- 35,7)	32,6 (- 15,0)	37,4 (- 10,6)	134,3 (- 27,8)	64,2 (- 16,4)	31,8 (- 6,2)
13 Höhere Grundfutteraufnahme	142,6 (- 4,9)	45,2 (- 2,4)	45,9 (- 2,1)	158,3 (- 3,8)	78,2 (- 2,4)	36,6 (- 1,4)
20 Opt. Tierproduktion (11, 12, 13)	100,0 (- 47,5)	28,1 (- 19,5)	34,2 (- 13,8)	128,3 (- 33,8)	60,8 (- 19,8)	30,7 (- 7,3)
15 Untersaat im Silomais	148,0 (+ 0,5)	45,0 (- 2,6)	47,5 (- 0,5)	162,5 (+ 0,4)	75,7 (- 4,9)	37,4 (- 0,6)
16 Reduzierte Düngung	117,0 (- 30,5)	44,0 (- 3,6)	47,0 (- 1,0)	99,2 (- 62,9)	41,6 (- 39,0)	35,2 (- 2,8)
17 Futterbau-Fruchtfolge	139,8 (- 7,7)	30,7 (- 16,9)	51,9 (+ 3,9)	157,3 (- 4,8)	43,4 (- 37,2)	39,3 (+ 1,3)
18 Ganzjährige Stallhaltung der Kühe	156,2 (+ 8,7)	34,2 (- 13,4)	65,3 (+ 17,3)	156,5 (- 5,6)	52,5 (- 28,1)	55,9 (+ 17,9)
30 30% Maissilage	184,4 (+ 36,9)	53,4 (+ 5,8)	65,9 (+ 17,9)	197,2 (+ 35,1)	110,1 (+ 29,5)	47,5 (+ 9,5)
50 50% Maissilage	154,5 (+ 7,0)	46,1 (- 1,5)	55,1 (+ 7,1)	166,0 (+ 3,9)	83,2 (+ 2,6)	40,0 (+ 2,0)
70 70% Maissilage	127,3 (- 20,2)	46,7 (- 0,9)	43,4 (- 4,6)	136,4 (- 25,7)	61,9 (- 18,7)	33,0 (- 5,0)

Das Absenken des Düngungsniveaus hat auf Betrieb 21 von allen Einzelmaßnahmen den stärksten Effekt auf die Reduzierung des N-Saldos und der N-Auswaschung. Auf Betrieb 19 ist dieser Effekt ebenfalls deutlich ausgeprägt. Dies ist insofern besonders beachtlich, da die in den Simulationen vorgegebenen N-Sollwerte denen der Officialberatung entsprechen und somit nahe dem ökonomischen Optimum liegen. Von einem N-extensiven Düngungsniveau als Zielvorgabe kann keine Rede sein. Die simulierte Ertragsreduktion bei auf reduzierter Düngung auf N-Sollwerte bewegte sich lediglich zwischen 2% und maximal 5% im Vergleich zum Status quo der beiden Betriebe (Daten nicht gezeigt). Auf beiden untersuchten Betrieben liegt die tatsächliche N-Düngung deutlich über den empfohlenen Werten. In der Praxis ist somit ein ganz erhebliches Optimierungspotenzial im Bereich der Düngung gegeben, womit N-Salden, N-Auswaschung und gasförmige Emissionen deutlich reduziert werden können. Untersaaten im Silomais bewirkten auf Betriebsebene nur eine geringe Reduktion der N-Frachten, jedoch leicht erhöhte N-Salden. Die Verringerung der Nitratauswaschung durch die Untersaat wird durch die höhere notwendige Maisfläche (aufgrund geringeren Maisertrages durch die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz der Untersaat) weitgehend kompensiert (vgl. Wachendorf et al., 2006a, b).

Eine Erhöhung des Ackergrasanteils auf Betriebsebene („Futterbau-Fruchtfolge“, Szenario 17) kann insbesondere auf Betrieb 21 erheblich zur Reduzierung der Nitratauswaschung beitragen (-37,2 kg NO₃-N ha⁻¹). Auf Betrieb 19 ist dieser Effekt weniger ausgeprägt, da Grünlandfläche knapp ist und nur wenig Ackergras in die Fruchtfolge aufgenommen werden

kann. Der N-Saldo ist auf beiden Betrieben durch eine Futterbau-Fruchtfolge kaum reduziert. Wachendorf et al. (2004) konnten für ein Modellsystem einer reinen Futterbau-Fruchtfolge (Klee gras – Silomais – Triticale) am Standort Karkendamm eine signifikante Reduktion des N-Saldos im Vergleich zum System Dauergrünland und Silomais-Monokultur nachweisen, was in erster Linie durch den Vorfruchtwert des vor der Maisbestellung umgebrochenen Klee grasbestandes begründet war. Obwohl im IFSM-Modell anhand der Arbeiten von Wachendorf et al. (2004) eine N-Menge von 77 kg N ha^{-1} in den Residuen einer Gras-Vorfrucht zugrunde liegt und in den Simulationen die Gülledüngung zu Mais entsprechend reduziert werden konnte, ist der hier simulierte Effekt auf Betriebsebene nicht so deutlich ausgeprägt. Dies liegt an der Tatsache, dass auf den simulierten Praxisbetrieben ein Teil des Dauergrünlandes aufgrund der Standortverhältnisse (z.T. nasse Flächen in Ellingstedt) und aufgrund der Notwendigkeit hofnaher Weiden für die Milchkühe nicht in die Fruchtfolge genommen werden kann, und somit nur ein Teil der gesamten Silomaisfläche nach Ackergras stehen kann. Des Weiteren geht die geringere notwendige Fläche für Grassilage (aufgrund des höheren Ertragsniveaus von Ackergras im Vergleich zum Dauergrünland) mit einer entsprechend höheren Fläche für Marktfrüchte (mit deutlich positivem N-Saldo) einher, da die gesamte Betriebsfläche konstant ist. Auch ist im Versuch von Wachendorf et al. (2004) mit Weißklee gras anstelle von Ackergras gearbeitet worden, welches ohne mineralische N-Düngung auskommt. Der Anbau von Klee gras auch auf konventionellen Praxisbetrieben stellt eine weitere Option zur Reduzierung des N-Düngungsniveaus dar, ist in der vorliegenden Studie jedoch nicht untersucht worden, da das IFSM-Modell keine Bestandesmodellierung von Leguminosen-Gras-Gemengen vornehmen kann.

Ein Verzicht auf Weidegang der Milchkühe reduziert auf beiden simulierten Betrieben in erster Linie die Nitratauswaschung, jedoch kaum den N-Saldo. Die geringere Auswaschung wird jedoch mit höheren Ammoniakemissionen „erkauft“, da bei ganzjähriger Stallhaltung höhere Mengen an Gülle anfallen (vgl. Rotz et al., 2002c).

Mit steigendem Anteil Maissilage in der Ration sinken sowohl die N-Salden als auch die Nitratauswaschung und gasförmige N-Emissionen beider Betriebe (vgl. Rotz et al., 2002c). Maissilage senkt die ruminale N-Bilanz (RNB) aufgrund ihres höheren UDP-Anteils, und somit den N-Gehalt von Urin im Vergleich zur Grassilagefütterung (Riemeyer, 2004) und weist ein für die Wiederkäuerernährung günstiges Verhältnis zwischen Energie- und Proteingehalt auf. Somit kann die N-Verwertung der Milchkühe durch den gesteigerten Einsatz von Maissilage effizienter gestaltet werden, jedoch ist der Anteil im Grundfutter durch den geringeren Strukturwert im Vergleich zu Grassilage auf ca. 70% begrenzt. Des Weiteren ist mit einer größeren Maisanbaufläche eine Reduktion des gesamtbetrieblichen Düngungsniveaus möglich, da die mineralische N-Düngung zu Mais in der Praxis deutlich unter der N-Düngung auf Grünland liegt. Der tatsächliche Anteil Maissilage am Grundfutter beträgt auf den beiden Praxisbetrieben 60% (Betrieb 19) bzw. 57% (Betrieb 21). Die Simulationen zeigten jedoch auch, dass oberhalb von 65% Maissilage die notwendige Proteinergänzung in der Ration überproportional ansteigt. Somit kann aus Sicht der N-Effizienz auf Milchvieh-Futterbaubetrieben ein Maissilageanteil von 60%–65% als optimal angesehen werden.

In der Kombination der einzelnen Maßnahmen (Tab. A14) konnte der N-Saldo bis auf $70\text{--}78 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Betrieb 19) bzw. $82\text{--}87 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Betrieb 21) reduziert werden. Sowohl die Tierproduktion als auch die Düngung waren in allen kombinierten Szenarien optimiert. Zwischen 50% oder 70% Maissilage konnten insgesamt nur geringe Unterschiede festgestellt

werden, da die Rationsgestaltung stets optimal angepasst wurde. Auf Betrieb 19 konnten die geringsten N-Salden und NO₃-Frachten in den Szenarien mit einer Futterbau-Fruchtfolge festgestellt werden. Auf Betrieb 21 bewirkte die Futterbau-Fruchtfolge die geringsten Auswaschungsverluste, jedoch höhere N-Salden als das betriebstypische System mit hohem Dauergrünlandanteil. Die Unterschiede zwischen den geprüften Kombinationen aus Futterbau-Fruchtfolge, üblichem Dauergrünlandanteil, Weidegang der Kühe und ganzjähriger Stallhaltung waren insgesamt vergleichsweise gering.

Tab. A14 Auswirkung kombinierter Handlungsoptionen auf N-Bilanzsalden, N-Auswaschungsverluste und gasförmige N-Verluste (NH₃) zweier konventionell wirtschaftender Milchvieh-Futterbaubetriebe (Simulationen mit IFSM; 30%/50%/70% MS: Maissilageanteil in der Grundfütterration).

Szenario			Betrieb 19 (Hügelland)			Betrieb 21 (Geest)		
			Tierproduktion optimiert, reduzierte Düngung					
			30% MS	50% MS	70% MS	30% MS	50% MS	70% MS
Betriebsübliche Weidehaltung (301, 501, 701)	N-	kg N ha ⁻¹	85,3	77,8	78,2	81,7	82,7	81,9
	Saldo		(- 62,2)	(- 69,7)	(- 69,3)	(- 80,4)	(- 79,4)	(- 80,2)
	N-	kg NO ₃ -N	18,4	21,1	28,2	25,4	31,3	33,2
	Ausw.	ha ⁻¹	(- 29,2)	(- 26,5)	(- 19,4)	(- 55,2)	(- 49,3)	(- 47,4)
	NH₃-	kg NH ₃ -N	45,0	38,7	32,8	33,0	30,5	27,5
	Verl.	ha ⁻¹	(- 3,0)	(- 9,3)	(- 15,2)	(- 5,0)	(- 7,5)	(- 10,5)
Betriebsübliche Weidehaltung, Futterbau-Fruchtfolge (302, 502, 702)	N-	kg N ha ⁻¹	79,4	76,7	70,4	92,5	86,6	85,4
	Saldo		(- 68,1)	(- 70,8)	(- 77,1)	(- 69,6)	(- 75,5)	(- 76,7)
	N-	kg NO ₃ -N	10,2	16,0	18,4	12,0	16,9	21,5
	Ausw.	ha ⁻¹	(- 37,4)	(- 31,6)	(- 29,2)	(- 68,6)	(- 63,7)	(- 59,1)
	NH₃-	kg NH ₃ -N	42,0	37,4	32,6	29,1	27,0	26,5
	Verl.	ha ⁻¹	(- 6,0)	(- 10,6)	(- 15,4)	(- 8,9)	(- 11,0)	(- 11,5)
Ganzjährige Stallhaltung der Kühe (303, 503, 703)	N-	kg N ha ⁻¹	87,4	76,5	73,0	88,6	82,2	82,8
	Saldo		(- 60,1)	(- 71,0)	(- 74,5)	(- 73,5)	(- 79,9)	(- 79,3)
	N-	kg NO ₃ -N	13,8	13,1	20,3	15,6	19,4	21,6
	Ausw.	ha ⁻¹	(- 33,8)	(- 34,5)	(- 27,3)	(- 65,0)	(- 61,2)	(- 59,0)
	NH₃-	kg NH ₃ -N	57,4	49,7	40,7	43,4	38,1	36,1
	Verl.	ha ⁻¹	(+ 9,4)	(+ 1,7)	(- 7,3)	(+ 5,4)	(+ 0,1)	(- 1,9)
Ganzjährige Stallhaltung der Kühe, Futterbau-Fruchtfolge (304, 504, 704)	N-	kg N ha ⁻¹	76,2	71,8	71,8	97,8	89,5	86,8
	Saldo		(- 71,3)	(- 75,7)	(- 75,7)	(- 64,3)	(- 72,6)	(- 75,3)
	N-	kg NO ₃ -N	12,2	12,7	17,7	10,2	14,5	16,4
	Ausw.	ha ⁻¹	(- 35,4)	(- 34,9)	(- 29,9)	(- 70,4)	(- 66,1)	(- 64,2)
	NH₃-	kg NH ₃ -N	49,3	42,9	40,0	37,1	33,7	33,4
	Verl.	ha ⁻¹	(+ 1,3)	(- 5,1)	(- 8,0)	(- 0,9)	(- 4,3)	(- 4,6)

Es bleibt festzuhalten, dass eine Reduktion der N-Düngung auf empfohlene N-Sollwerte unter entsprechender Anrechnung der Düngewirkung von Wirtschaftsdüngern, sowie im Bereich der Tierhaltung eine optimierte Fütterung und reduzierte Remontierungsrate (zu erreichen in erster Linie durch verbesserte Tiergesundheit) in den durchgeführten Simulationsstudien eine Reduktion des N-Saldos intensiver konventionell wirtschaftender Milchvieh-Futterbaubetriebe auf einen Bereich von 70–90 kg N ha⁻¹ ermöglichen. Die Nitrat-Auswaschungsverluste konnten in den Simulationen um 19–30 kg NO₃-N ha⁻¹ (Hügelland) bzw. 47–64 kg NO₃-N ha⁻¹ (Geest) reduziert werden. Ob diese in Modellsimulationen ermittelten Effekte in der Praxis in der gezeigten Stärke auftreten bzw. ob die Maßnahmen

vollständig angenommen werden, ist unsicher, jedoch zeigt die Modellstudie eindeutige Optimierungspotenziale für die Praxis auf.

4.6. Noch nicht abgeschlossene Arbeiten

Folgende Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen und werden bis Mitte 2007 durchgeführt:

- ※ Labormessung und Auswertung der Bodenproben (N_{min} und C/N-Gehalt der beprobten Bodenschichten).
- ※ Messung eines kleineren Teils der Sickerwasserproben aus der Sickerwasserperiode 2005/2006.
- ※ Detaillierte Auswertung und Berechnung der internen Nährstoffflüsse auf den Betrieben (z.B. Grundfutter- und Weideerträge aller Milchvieh-Futterbaubetriebe, Exkrementmengen auf der Weide für den Gesamtbetrieb, gasförmige N-Verluste unter Berücksichtigung von Ausbringungstechnik, Witterung, Weidegang etc., Abschätzung des Denitrifikationspotenzials), was eine Bestimmung der Effizienzen auf der Ebene der einzelnen Kompartimente des Betriebes ermöglicht (z.B. N-Effizienz des Grünlandes, der Milchkühe, etc.) und somit eine detailliertere Schwachstellenanalyse zulässt.
- ※ Energiebilanzierung der Projektbetriebe als weiteren zentralen Agrar-Umweltindikator.
- ※ Abschließende statistische Verrechnung der Ergebnisse.

5. Teilprojekt B

Institut für Phytopathologie

Die Erhebungen des Institutes für Phytopathologie konzentrieren sich auf die Erfassung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen (Herbizide, Insektizide, Fungizide) in Sicker- und oberflächennahem Grundwasser sowie im Erntegut, ferner auf die Analyse von Rückständen biotischen Ursprungs (Fusarien-Mykotoxine) im Erntegut. Die als Folgereaktion der Anbausysteme und Witterung entstehenden Dynamiken von Krankheitsepidemien und Schaddepressionen einschließlich ihrer Qualitätsminderungen sind ebenfalls für die Bewertung von Bedeutung. Darüber hinaus ist die Erfassung der Ackerbegleitflora vor allem aus pflanzenbaulicher Sicht relevant (Ertragseffekte, Beeinflussung des Mikroklimas im Bestand und damit der Befallsdynamiken pilzlicher Pathogene), und weniger aus Sicht der Artenvielfalt an Wildkräutern auf dem Feld, die aus der Sicht der Praxis nicht erwünscht und auch aus der Sicht des Naturschutzes von sehr geringer Relevanz ist.

Aufgrund der Verteilung der Betriebe in unterschiedlichen Naturräumen (Marsch, Geest, östliches Hügelland) mit den gegebenen Bodenverhältnissen und anderen Faktoren, welche die pflanzliche Produktion beeinflussen (regionaler Krankheitsdruck, klimatologische Parameter) ist das vorliegende Projekt auch für andere Regionen repräsentativ. Weiterhin ist die Analyse von Schwachstellen in der Produktionskette ein zentrales Anliegen des vorliegenden Projektes.

Konventionelle und ökologische Landbausysteme unterscheiden sich grundsätzlich durch die Art des Düngereinsatzes und des Pflanzenschutzes unabhängig von der Differenzierung anbautechnischer Faktoren wie z.B. der Fruchtfolge und Teilen der mechanischen Bearbeitung. Bodenbearbeitung, Saat- und Ernteverfahren sind in gewissen Teilbereichen unterschiedlich, jedoch von der technischen Ausstattung nahezu als gleichlaufend zu charakterisieren; darüber hinaus unterliegen Saatzeit, Saattiefe und Sortenwahl ähnlichen Auswahlkriterien. In der konventionellen Wirtschaftsweise finden synthetische Pflanzenschutzmittel (PSM) wie Herbizide, Insektizide und Fungizide Anwendung. Sowohl das Auftreten von Schadpathogenen einerseits als auch die eingesetzten Gegenmaßnahmen (PSM-Einsatz) andererseits können ökologische Belastungen (PSM-Eintrag ins Grund- und Oberflächenwasser) und Belastungen im Erntegut (Mykotoxine, PSM-Rückstände) verursachen. Damit ergeben sich die zwei zentralen Bereiche, denen im Hinblick auf eine Minimierung der potenziellen Belastungen aus Sicht des Pflanzenschutzes besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss:

- I. Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers durch PSM, insbes. Herbizide;
- II. Belastungen des Erntegutes (Korn) durch Fusarien-Mykotoxine sowie Fungizid- und Insektizid-Rückstände.

Im Rahmen des Teilprojektes B (Institut für Phytopathologie) wurden auf 12 Praxisbetrieben (Marktfruchtbau) konventioneller (K) und ökologischer (Ö) Wirtschaftsweise vergleichende Analysen zur Erfassung von Schadorganismen, der Unkrautflora sowie wertmindernder Lebensmittelinhaltsstoffe abiotischen (Pflanzenschutzmittel) und biotischen Ursprungs (Mykotoxine) als indikatorgestützte Bewertungsschlüssel auf Betriebsebene durchgeführt. Als Indikatoren werden in der Winterweizenkultur beider Wirtschaftsweisen neben den

Pflanzenschutzmittelrückständen im pflanzlichen Aufwuchs (vegetative Blattmasse, Korn) und im Sickerwasser, die Mykotoxinbelastung des Ernteguts, das qualitative und quantitative Auftreten der relevanten pilzlichen Schaderreger (*Septoria tritici*, *Drechslera tritici-repentis*, *Blumeria graminis*, *Puccinia spp.*, *Fusarium spp.*, *Pseudocercospora herpotrichoides*), die Unkrautflora, sowie Ertrags- wie Qualitätsmerkmale analysiert.

5.1. Stand der Forschung

5.1.1. Pflanzenkrankheiten im Weizen

Die unterschiedlichen Wirtschaftsweisen (ökologisch und konventionell) unterscheiden sich neben Verzicht bzw. Nutzung syntetischer Pflanzenschutzmittel (PSM) und Düngemittel auch in der Fruchtfolge und der Intensität des Düngemittleinsatzes. Daraus ergeben sich Effekte auf die Entwicklung der einzelnen Weizenkrankheiten. Hauptschadpathogen in Schleswig-Holstein ist der Erreger der Blattdürre *Septoria tritici* (Klink, 1997). Weiterhin treten die obligat biotrophen Erreger *Blumeria graminis* und *Puccinia spp.* auf. In Abhängigkeit von der jeweiligen Jahreswitterung, der Fruchtfolge und der Stickstoffdüngung ergeben sich bestimmte Erregerzusammensetzungen und Erregerprogressionen auf den Weizenpflanzen. So ist ein erhöhter Befall mit *Blumeria graminis* bei höherer Stickstoffdüngung zu verzeichnen, eine weiter gestellte Fruchtfolge vermindert den Befall mit *Pseudocercospora herpotrichoides* (Odörfer, 1995). *Septoria tritici* ist vornehmlich durch die Witterung beeinflusst. Durch Niederschlagsereignisse >3mm mit folgender Blattnässe >98% über mehr als 48 Stunden infiziert der Erreger höher liegende Blättagel (Klink, 1997). Mit dem Einsatz von Fungiziden in der konventionellen Wirtschaftsweise werden das Auftreten der Krankheitserreger minimiert und die Erträge erhöht (Klink, 1997; Odörfer, 1995; Verreet, 1995; Wittrock, 2001).

5.1.2. Qualität von ökologisch und konventionell erzeugtem Weizen

Die Qualität von konventionell erzeugtem Weizen ist häufig erheblich höher als bei ökologisch erzeugtem Weizen. Begründet wird dies maßgeblich durch das höhere Stickstoff-Düngungsniveau und der damit einhergehenden höheren Rohprotein- und Glutengehalten sowie einer veränderten Glutenzusammensetzung (u.a. Seibel, 1996). Neben der N-Versorgung spielt zur Ausbildung der Backqualität der Befall mit obligat biotrophen Krankheitserregern wie *Blumeria graminis* und *Puccinia spp.* sowie Fusariosen auf der Ähre eine herausragende Rolle. Die obligat biotrophen Pathogene reduzieren durch die Aufnahme von für das Korn bestimmten Nährstoffen aus den befallenen Blättern direkt den Proteingehalt, während bei Fusariumbefall die Glutenqualität erheblich beeinträchtigt wird (Pawelzik et al., 1998).

5.1.3. Fusariumbefall und Mykotoxine

Wertmindernde Inhaltsstoffe natürlichen Ursprungs (Pilzgifte, Mykotoxine, z.B. Desoxynivalenol, Zearalenon), induziert durch Schadpilze aus der Gruppe der Fusariosen,

stellen aufgrund ihrer hohen chronischen Toxizität negative Wirkungen auf die Ernährung von Mensch und Tier eine nicht zu vernachlässigende Größe dar (Dänicke und Oldenburg, 2000). Die Erkrankung, die bei Getreide Arten hauptsächlich durch *Fusarium graminearum* Schwabe und *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc. verursacht wird, stellt ein weltweites Problem dar (<http://wheat.pw.usda.gov/GG2/index.shtml>). Sowohl in ganz Europa als auch in Deutschland wird der Erkrankung eine steigende Bedeutung zugemessen. Durch einen vermehrten Anbau von Mais und Getreide sowie veränderter und reduzierter Bodenbearbeitung kann die Bedeutung bei Weizen (Zinkernagel et al., 2000) auch im Rahmen des ökologischen Landbaus zunehmen. Die bisher zur Verfügung stehenden Sorten bieten keine vollständigen Resistenzen und es kann daher nur auf Sorten mit geringerer Anfälligkeit zurückgegriffen werden.

5.1.4. Unkrautproblematik

Unkräuter beeinflussen seit Beginn des Ackerbaus das Wachstum der Kulturpflanze. Man unterteilt sie in *Apophyten*, *Archaeophyten* und *Neophyten*. Unter dem Begriff *Apophyten* werden alle Arten zusammengefasst, die bereits vor der Besiedlung des Menschen hier in Mitteleuropa heimisch waren und bis heute noch hier anzutreffen sind (z.B. *Chenopodium spp.*, *Polygonum spp.*) *Archaeophyten* sind solche Pflanzen, die im Altertum durch den Menschen nach Europa transportiert wurden (z.B. *Ranunculus arvensis*) und *Neophyten* sind schließlich Arten, die erst in den letzten 200 Jahren hier heimisch geworden sind. Dazu gehören beispielsweise *Galinsoga parviflora* und *Veronica persica* (Zwerger, 2002). Nach Einführung der chemischen Unkrautmittel ergab sich eine massive Verschiebung des Artenspektrums. Mehrjährige Arten und solche, die besonders empfindlich auf die Herbizide reagieren, verschwanden von den Äckern. Umgekehrt reicherten sich solche Arten an, welche die Wirkstoffe schnell abbauen können oder Resistenzen entwickeln. Auch Arten mit geringer Wuchshöhe, die vor 50 Jahren noch unterdrückt wurden, breiten sich jetzt durch geringere Bestandeshöhen stärker aus.

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, in welchem Maße die Wirtschaftsweise (konventionell vs. ökologisch) die Artenzahl sowie die Artenhäufigkeit (Abundanz) verändert. Betrachtet werden unter anderem die unterschiedlichen Erfolge der Bekämpfungsmaßnahmen; des ein- oder mehrmaligen Herbizideinsatzes im konventionellen Landbau, also eines chemischen Verfahrens, gegenüber dem mechanischen Verfahren des Striegels. Ermittelt wurden die Reduktion der Unkrautzahlen, des Unkrautdeckungsgrades sowie die Ertragsunterschiede. Außerdem sollen die unterschiedlichen Abundanzen der Unkrautarten in den beiden Wirtschaftssystemen aufgezeigt werden. Zusätzlich werden Unterschiede in der Unkrautunterdrückung zwischen den beiden Weizensorten Bussard und Dekan nachgewiesen.

5.1.5. Pflanzenschutzmittel im Sickerwasser als potenzielle Gefahr für das Grundwasser

Die Trinkwasserverordnung schreibt für PSM einschließlich ihrer toxischen Hauptabbauprodukte einen Grenzwert von 0,1 µg/l für den einzelnen Wirkstoff bzw. 0,5 µg/l für die Summe aller Wirkstoffe vor. Dieser Grenzwert ist als reiner Vorsorgewert aufzufassen

und nicht toxikologisch begründet. Er wird jedoch auch zur Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit herangezogen. Unter landwirtschaftlichen Nutzflächen erfolgt der Eintrag von PSM in deutlicher Abhängigkeit von physikalischen wie chemischen Eigenschaften von Wirkstoff und Boden mit dem Sickerwasser in das oberflächennahe Grundwasser. Demnach spielen neben Klima und Phänologie des Bestandes (Aufwuchs, Wurzelwachstum) die Eigenschaften des Wirkstoffes (Persistenz, Metabolisierung, physikalische und chemische Konstitution) wie auch des Bodens eine entscheidende Rolle im Rahmen der Verlagerung von PSM in das Grundwasser. Die Verlagerung von PSM erfolgt besonders rasch in den Untergrund, wenn die Deckschichten über dem Grundwasser geringmächtig und gut wasserdurchlässig sind. In Schleswig-Holstein wurden im Rahmen der Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit (LANU-Trendmessnetz) neben einem Fungizid überwiegend Herbizide nachgewiesen (LANU, 2002).

5.1.6. Pflanzenschutzmittelrückstände in Nahrungsmitteln

Rückstände/Metaboliten von PSM im Erntegut können ein Risiko für die Nahrungsmittelqualität darstellen. 0,01 mg/kg gilt als allgemeine Höchstmenge der Rückstands-Höchstmengen-Verordnung. In einer Zusammenstellung nationaler Monitoring-Programme durch die EU-Kommission (EU-Kommission, 2003a, 2003b) wurden für Deutschland bei Getreide in 33% aller Proben PSM-Rückstände oberhalb der technischen Nachweisgrenze vorgefunden, jedoch lagen die Werte lediglich bei 1,3% der Proben oberhalb der zulässigen Grenzwerte. Ähnliche Beobachtungen machten Stolz et al. (2002) bei einem Monitoring von Lebensmitteln ökologischer und nichtökologischer Herkunft. Unabhängig von national und EU-weit festgesetzten Grenzwerten, die in erster Linie als Vorsorgewerte anzusehen sind, zeigt dies, dass eine Rückstandsproblematik gegeben ist. Die an heutige moderne Pflanzenschutzmittel gestellte Forderung eines schnellen und vollständigen Abbaus der Wirksubstanzen in der Pflanze wird in der Praxis nicht immer erfüllt.

5.2. Material und Methoden

5.2.1. Versuchsdesign

Auf zwölf Ackerbaubetrieben (Betriebspaare ökologisch/konventionell, 6 Standorte) wurden im Winterweizen (WW) Parzellen unterschiedlicher Varianten mit je drei Boniturwiederholungen angelegt. Auf vier der zwölf Betriebe wurden vollständig randomisierte Versuche als Blockanlage angelegt, auf den restlichen Betrieben lagen die Wiederholungen in Großparzellen der einzelnen Varianten. Die Varianten setzten sich in den Jahren 2005 und 2006 wie folgt zusammen:

Ökologische Wirtschaftsweise:

- (1) Kontrolle 1: völlig unbehandelt (ohne Düngung, ohne mechanische Unkrautbekämpfung)
- (2) Praxisvariante: mit Düngung (betriebsspezifisch), mit mechanischer Unkrautbekämpfung

Konventionelle Wirtschaftsweise:

- (1) Kontrolle 1: ohne Düngung; ohne Herbizid-, Insektizid- und Fungizidapplikation (völlig unbehandelt)
- (2) Kontrolle 2: mit Düngung (betriebsspezifisch), ohne Insektizid- und Fungizidapplikation, mit Herbizidapplikation
- (3) Praxisvariante: mit Düngung (betriebsspezifisch) und mit betriebsspezifischen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen
- (4) Kontrolle 1b: ohne Düngung; ohne Insektizid- und ohne Fungizidapplikation, mit Herbizidapplikation (nicht alle Betriebe)
- (5) Kontrolle 2b: mit Düngung, ohne Insektizid- und ohne Fungizidapplikation, ohne Herbizidapplikation (nicht alle Betriebe sowie nur Versuchsjahr 2006)

In ersten Jahr (2004) konnte aufgrund des späten Projektbeginns nicht alle Varianten angelegt werden. PSM-Applikationen (insb. Herbizide) und auch Düngegaben sowie mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen waren zu diesem Termin schon durchgeführt. Somit setzte sich im Jahr 2004 das Versuchsprogramm mit folgenden Varianten zusammen:

Ökologische Wirtschaftsweise:

- (3) Praxisvariante: mit Düngung (betriebsspezifisch), mit mechanischer Unkrautbekämpfung

Konventionelle Wirtschaftsweise:

- (2) Kontrolle 2: mit Düngung (betriebsspezifisch), ohne Insektizid- und Fungizidapplikation, mit Herbizidapplikation,
- (3) Praxisvariante: mit Düngung (betriebsspezifisch) und mit betriebsspezifischen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen

Die Bonitur von Beikräutern wurde aufgrund fehlender Kontrollen 2004 nicht durchgeführt. Das Versuchsprogramm beschränkte sich auf die Bonitur der Krankheiten, sowie die Analyse von PSM-Rückständen im Aufwuchs und der Qualitäten und wertmindernden Lebensmittelinhaltsstoffe im Erntegut.

5.2.2. Sortenwahl

Im ersten Versuchsjahr wurde auf die in den Betrieben etablierten Winterweizenbestände zurückgegriffen. Auf allen konventionellen Betrieben war die Sorte Dekan vorhanden. Auf den Betrieben ökologischer Wirtschaftsweise wurde ein heterogenes Sortenspektrum vorgefunden. Dieses umfasste die Sorten Achat, Bussard, Capo und Ökostar. Erweiternd zum Projektantrag wurden in den Versuchsjahren 2005 und 2006 auf allen Betrieben zwei anstatt einer Sorte ausgesät. Sorten der Wahl stellten auf beiden Betriebsformen der B-Weizen ´Dekan´ (konventionelle Präferenz) und der E-Weizen ´Bussard´ (ökologische Präferenz) dar. Es wurde in jedem Fall auf zertifiziertes Saatgut zurückgegriffen, wobei das ökologisch erzeugte Saatgut grundsätzlich ungebeizt war. Das konventionelle Saatgut war mit einer Saatgutbeizung versehen.

Die Sorten wurden entsprechend ihrer Verbreitung im konventionellen und ökologischen Anbau ausgewählt (Tab. B1).

Die Sorte Dekan (B-Weizen), die schon 2004 überregional eine große Verbreitung im konventionellen Anbau aufwies, wurde 1999 zugelassen. Diese Sorte bietet eine hohe Ertragsstabilität und eine gute Standfestigkeit. Die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten ist mit Ausnahme gegenüber Braunrost gering bis mittel. Bussard ist eine E-Weizen Sorte mit hohen Proteingehalten, guten Teigeigenschaften und geringer Anfälligkeit für Ährenfusarien (BSA, 2004; Lochow-Petkus, 2006) (Tab.B1). Durch diese Eigenschaften ist diese Sorte eine bewährte und der am häufigsten verbreitete Sorte im ökologischen Landbau (Heyden, 2004; Jahrstorfer, 2001).

Tab. B1 Sorteneigenschaften der, in den Versuchsjahren 2005 und 2006 auf allen Betrieben etablierten Weizensorten „Dekan“ und „Bussard“ (verändert nach BSA, 2004; Lochow-Petkus, 2006)

		Dekan	Bussard
	Qualitätsgruppe	B	E
	Fallzahl	hoch	mittel bis hoch
	Rohproteingehalt	niedrig bis mittel	hoch bis sehr hoch
	Ährenschieben	mittel	mittel
	Reife	mittel	mittel
	Pflanzenlänge	kurz bis mittel	lang
	Auswinterung	gering bis mittel	mittel bis stark
	Lager	gering	stark bis sehr stark
Resistenz	Mehltau	fehlend oder sehr gering	gering bis mittel
	Gelbrost	gering bis mittel	gering
	Braunrost	stark bis sehr stark	stark
	Blattseptoria	gering bis mittel	mittel bis stark
	DTR	mittel	mittel bis stark
	Septoria nodorum (Spelz)	gering bis mittel	gering bis mittel
	Fusarien (Ähre)	gering bis mittel	gering
	Halmbruch	gering bis mittel	mittel
Ertrags-eigen-schaften	Kornzahl/Ähre	hoch bis sehr hoch	niedrig bis mittel
	Tausendkorngewicht	niedrig bis mittel	niedrig bis mittel
	Kornertrag	hoch	niedrig
	Bestandesdichte	mittel	mittel
	Besonderheiten	Einzelähren-Kompensationstyp	zügige Jugendentwicklung

5.2.3. Standortbeschreibung

Die Wahl der Standorte für das Projekt spiegeln zum einen die repräsentativen Naturräume Schleswig-Holsteins (Marsch, Geest, Östliches Hügelland) wieder, zum anderen berücksichtigen sie auch die Regionen mit den höchsten Weizenanbauintensitäten. Zur vergleichenden Analyse wurden jeweils zwei Betriebe unterschiedlicher Produktionsweise als Wertepaare an einem Standort gewählt, um annähernd vergleichbaren geografischen und meteorologischen Voraussetzungen zu entsprechen (Tab. B2).

Zur Vereinfachung werden im Folgenden die Standorte vereinfacht als Landkreis- bzw. Regionsname (Nordfriesland (NF), Heide (HE), Kiel (KI), Plön (PLÖ), Fehmarn (FE) u. Dänischer Wohld (DW)) mit dem Zusatz (Ö) für ökologisch und (K) für konventionell geführt.

Tab. B2: Standortcharakteristika der im Teilprojekt B beteiligten Betriebe

Standort	Wirtschaftsweise	Landkreis	Naturraum	Bodentypen	Bodenart/ Ackerzahl	jährl. Nieder- schlag
Hauke-Haien-Koog	konventionell	Nordfriesland (NF)	Nordfriesische Marsch	Marschen	tL / 80-88	853
Sönke-Nissen-Koog	ökologisch				tL / 84-92	
Reinsbüttel	konventionell	Heide, Dithmarschen (HE)	Dithmarscher Marsch	Marschen	sL / 65-70	864
Hedwigenkoog	ökologisch				sL / 70-75	
Hohenschulen	konventionell	Rendsburg-Eckernförde, Kiel (KI)	Naturraum Westensee, Dänischer Wohld	Parabraunerde	sL / 50-55	754
Schinkel	ökologisch				sL / 50-56	
Lehmkuhlen	konventionell	Plön (PLÖ)	Ostholsteinische Hügel- und Seenlandschaft	Pseudogley, Parabraunerde/ Podsologley	sL / 50-53	741
Tröndel	ökologisch				sL / 50-55	629
Ostermarkelsdorf	konventionell	Ostholstein, Fehmarn (FE)	Nordoldenburg und Fehmarn	Schwarzerde	sL / 78-84	590
Lütjenbrode	ökologisch				sL / 68-72	
Borghorst	konventionell	Rendsburg-Eckernförde, Dänischer Wohld (DW)	Dänischer Wohld	Braun- u. Parabraunerden	IS-sL / 40-45	753
Lindhöft	ökologisch				IS-sL / 40-45	

5.2.4. Versuchsdurchführung

5.2.4.1. Bodenbearbeitung

Die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung erfolgte unmittelbar zur Saat. Es wurde, mit Ausnahme der Betriebe Borghorst und Lehmkuhlen, gepflügt und praxisüblich das Saatbett vorbereitet (siehe Tab. B3).

Tab. B3 Bodenbearbeitung vor der Aussaat

Standort	konventionell		ökologisch	
	1. Arbeitsgang	2. Arbeitsgang	1. Arbeitsgang	2. Arbeitsgang
NF	Pflug	Kreiselegge	Pflug	Kreiselegge
HE	Pflug	Kreiselegge	Pflug	Kreiselegge
KI	Pflug	Kreiselegge	Pflug	Scheibenegge
PLÖ	pfluglos (Grubber)	Scheibenegge	Pflug	Grubber
FE	Pflug	Kreiselegge	Pflug	Kreiselegge
DW	pfluglos (Grubber)	Scheibenegge	Pflug	Kreiselegge

Die Aussaat erfolgte mit der Drilltechnik der jeweiligen Betriebe durch den beteiligten Landwirt. Durch unterschiedliche betriebsspezifische Arbeitsbreiten von 21m bis 24m und Drilltechniken (3m bis 4,5m) führte dies zu Schwankungen in der Größe der Versuchsfläche über die Betriebe. Das Saatgut wurde, bis auf die ökologisch erzeugte Sorte Bussard, von der Firma Lochow-Petkus zur Verfügung gestellt. Die Sorte Bussard wurde von ökologischen Saatguterzeugern gekauft und an die beteiligten Landwirte verteilt. Vor der Aussaat wurde ein der Versuchsfläche des jeweiligen Betriebes angepasster Versuchsplan mit dem Landwirten zusammen ausgearbeitet und der Landwirt bei der Aussaat unterstützt. Nach der Aussaat wurden die entsprechenden Flächen sofort markiert und die einzelnen Varianten mit einer je nach Fahrgassenbreite schwankenden Ausdehnung von 20 × 20 m bis 20 × 24 m in Großparzellen abgesteckt. In den Großparzellen wurden noch kleinere Parzellen A, B und C eingerichtet. Auf den Betrieben Hohenschulen, Lindhof und Borghorst wurde die Aussaat mit einer Parzellendrillmaschine durchgeführt, um eine randomisierte Blockanlage zu realisieren. In Zusammenarbeit mit dem Landwirt am Standort Fehmarn konnte ein zusätzlicher randomisierter Blockversuch durchgeführt werden. Die weitere Bestandesführung und Unkrautbekämpfungsmaßnahmen erfolgten praxisüblich durch die beteiligten Landwirte.

5.2.4.2. Aussaatstärken und Saattermine

Die Aussaattermine und Saatstärken wurden betriebsüblich und standortangepasst durchgeführt, ebenso wie die Stickstoffdüngung mineralisch oder organisch in der Praxisvariante. Die Aussaattermine schwankten so in der konventionellen Wirtschaftsweise von Anfang September bis Anfang Oktober, in der ökologischen Wirtschaftsweise von Ende September bis Ende Oktober, also im Mittel drei Wochen später (Tab. B4).

Tab. B4 Aussaatstärken und Saattermine der Betriebe mit der Sorte Dekan. Die Aussaatstärke der Sorte Bussard fiel um 10% geringer aus.

Standort	Wirtschafts- weise	Saatstärke (Körner / m ²)			Saattermin		
		2003	2004	2005	2003	2004	2005
NF	(K)	300	320	310	22.09.	11.10.	06.10.
	(Ö)	330	330	300	25.09.	09.10.	30.09.
HE	(K)	360	390	350	25.09.	04.10	21.09.
	(Ö)	250	350	350	17.09.	22.10.	20.10
KI	(K)	175	320	300	05.09.	06.10.	26.09.
	(Ö)	350	350	350	30.09.	08.10.	27.09.
PLÖ	(K)	200	300	200	08.09.	06.10	09.09.
	(Ö)	350	350	350	15.10.	24.10.	22.10
FE	(K)	230	260	260	16.09.	19.09.	13.09.
	(Ö)	360	360	360	21.10	26.10.	20.10
DW	(K)	210	220	200	11.09.	14.09.	06.09.
	(Ö)	350	350	350	12.10.	13.10.	11.10
Ø Betriebe	(K)	245,8	301,7	270	14.09.	30.09.	18.09.
	(Ö)	331,7	348,3	343,3	5.10.	17.10.	11.10.
Ø Jahre u. Betriebe	(K)	272,5			20.09.		
	(Ö)	341,1			11.10.		

5.2.4.3. N-Düngung

Die Stickstoffdüngung (N-Düngung) variierte in den konventionellen Betrieben kaum. Durchschnittlich fielen 224 kg N/ha als mineralische Düngung. Die organische Düngung wurde nur vereinzelt im ökologischen wie konventionellen Betrieb durchgeführt, da insbesondere die ökologischen Betriebe mit Klee grasbeständen ihre Fruchtfolge so ausrichteten, dass eine möglichst hohe Stickstoffnachlieferung für die Nachfolgekultur (hier: Weizen) resultierte (siehe Punkt Fruchtfolge) (Tab. B6).

Tab. B5 Mineralische und Organische Stickstoffdüngung der Praxisvariante (Gesamtstickstoffmenge)

Standort	Wirtschaftsweise	N-Düngung mineralisch (kg/ha)			N-Düngung organisch (kg/ha)		
		2003/04	2004/05	2005/06	2003/04	2004/05	2005/06
NF	(K)	213	167		30	23	0
	(Ö)	-	-	-	0	0	0
HE	(K)	230	257	247	0	0	0
	(Ö)	-	-	-	0	0	0
KI	(K)	(222)	240	210	(0)	0	0
	(Ö)	-	-	-	0	60	0
PLÖ	(K)	211	229	210	35	0	0
	(Ö)	-	-	-	0	0	60
FE	(K)	285	230	220	0	0	0
	(Ö)	-	-	-	30	30	50
DW	(K)	235	226	200	0	0	0
	(Ö)	-	-	-	0	0	0
Ø Betriebe	(K)	232,7	224,8	217,4	10,8	3,8	0
	(Ö)	-	-	-	5	15	18,3
Ø Jahre u. Betriebe	(K)	224			4,9		
	(Ö)	-			12,8		

Die eingesetzten mineralischen Düngemittel im konventionellen Bereich waren hauptsächlich Harnstoff (46% N) und SSA (21% N, 24% S). Die organischen Düngemittel setzten sich aus Sauengülle (NF-(K)), Schweinegülle (PLÖ-(K)), Haarmehlpellets (KI-(Ö)), Rindermist (FE-(Ö)) und Knochenmehl (PLÖ-(Ö), FE-(Ö)) zusammen. Die N-Mengen der organischen Düngung umfassten maximal 60 kg N/ha (Tab. B5).

5.2.4.4. Fruchtfolge

Die bevorzugte Vorfrucht konventioneller Betriebe für Weizen stellte die Kultur Winterraps dar. Auf dem Betrieb in Heide stand der Weizen in der Fruchtfolge nach Kartoffeln. In den ökologischen Betrieben stellte überregional Klee gras die bevorzugte Vorfrucht dar. Durchschnittlich besteht die Fruchtfolge im konventionellen Anbau aus drei, im ökologischen Anbau aus fünf Fruchtfolgegliedern. Der Weizenanteil beträgt dabei im Mittel 21% in der ökologischen Wirtschaftsweise und 52% in der konventionellen (Tab. B6).

Tab. B6 Fruchtfolgeglieder und Winterweizenanteile in der Fruchtfolge der beteiligten Betriebe

Standort	Wirtsch.-weise	Fruchtfolge	Anzahl FF-Glieder	WW-An-teil (%)
NF	K	(1) W-Raps - (2) W-Weizen - (3) W-Weizen	3	66
NF	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) Sommerung m. Untersaat - (4) Möhren	4	25
HE	K	(1) Kartoffeln - (2) W-Weizen - (3) Hafer - (4) W-Weizen	4	50
HE	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) Kohl - (4) S-Weizen - (5) Erbsen - (6) S-Weizen	6	17
KI	K	(1) W-Raps - (2) W-Weizen - (3) W-Gerste	3	33
KI	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) W-Dinkel - (4) Hafer - (5) Klee gras oder W-Dinkel	5	20
PLÖ	K	(1) W-Raps - (2) W-Weizen - (3) W-Weizen	3	66
PLÖ	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) W-Gerste - (4) Körnerle- guminose - (5) Hafer	5	20
FE	K	(1) W-Raps - (2) W-Weizen - (3) W-Weizen	3	66
FE	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) Hafer - (4) Triticale	4	25
DW	K	(1) W-Raps - (2) W-Weizen - (3) W-Gerste	3	33
DW	Ö	(1) Klee gras - (2) W-Weizen - (3) Kartoffeln - (4) Körnerle- guminose - (5) W-Dinkel	5	20
Mittel	K		3	52
	Ö		5	21

5.2.5. Datenerhebung und Datenanalyse

Während der Vegetationsperiode wurden Beikräuter, die Bestandesentwicklung und Krankheiten bonitiert. Die Bonitur von pilzlichen Schadpathogenen wurde vor Winter zu einem Boniturtermin und während der Vegetationsperiode zu sechs Boniturterminen durchgeführt. Hierbei wurden die Erreger qualitativ und quantitativ nach Häufigkeit und Stärke des Befalls anhand typischer Pilzstrukturen mittels Stereo- und Mikroskop in den Parzellen mit dreifacher Wiederholung je Probenahmetermin erfasst. Die detaillierten Analysen erlauben die epidemiologische Bewertung von Einzelerregern und Pathogenkomplexen im Rahmen der Kulturart. Die Erfassung des Wildpflanzenpotenzials zur Feststellung der aufgewachsenen Wildflora erfolgte je einmal im Herbst, im Frühjahr sowie während der Hauptwachstumszeit. Parallel zur Krankheitsbonitur erfolgte die Bestimmung des Entwicklungsstadiums nach dem BBCH-Code, der Skala zur einheitlichen Codierung des Entwicklungsstadiums von Kulturpflanzen von der Biologischen Bundesanstalt für Landwirtschaft (Meier, 2001). Gegen Vegetationsende wurde die Bestandesdichte in Form von Ähren / m² ermittelt.

5.2.6. Befallsanalyse der Schadpathogene

Der Befallsgrad der Pflanzen wurde im Abstand von zwei Wochen an je zehn Haupttrieben pro Variante und Wiederholung ermittelt.

Zuerst wurde die Halmbasis der Pflanzen vorsichtig unter fließendem Wasser gesäubert, um eine zweifelsfreie Diagnose von Halmbasiserkrankungen zu ermöglichen. Die Identifizierung und Quantifizierung erregerspezifischer Krankheiten erfolgte mit Hilfe eines Binokulars bei 25–40-facher Vergrößerung. Unspezifische Schadsymptome konnten mittels Quetschpräparaten unter dem Mikroskop zweifelsfrei zugeordnet werden. Hierbei konnte anhand der spezifischen Sporen der Fruchtkörper eine eindeutige Bestimmung erfolgen.

Der Anteil nekrotisierter Blattfläche wurde zu jedem Boniturtermin als prozentualer Anteil an der Gesamtblattfläche geschätzt. Die Untersuchungen wurden für alle Blattetagen getrennt durchgeführt, beginnend mit dem untersten boniturfähigen Blatt und endend mit der zum jeweiligen Boniturtermin obersten, vollständig entwickelten. War eine Blattetage durchschnittlich zu mehr als 95 % nekrotisiert, wurde sie beim nächsten Boniturtermin nicht mehr berücksichtigt.

a. *Pseudocercospora herpotrichoides*

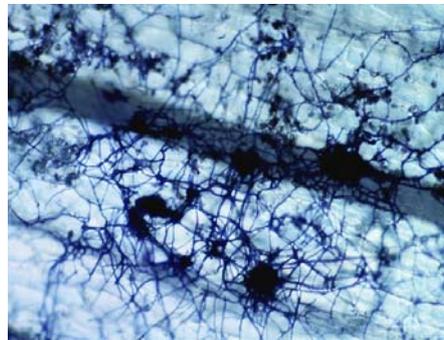
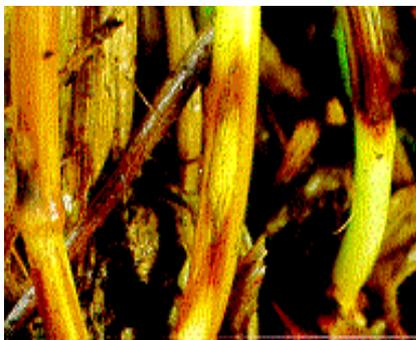


Abb. B1 Medaillonfleckensymptom ab EC 37 (links) und Myzelkissen (rechts) von *P. herpotrichoides* (Bilder: Klink, 1997)

P. herpotrichoides ist die wirtschaftlich bedeutendste Halmbasiserkrankung im Winterweizen. Hohe Ertragseinbußen bis zu 30 %, je nach Befallsschwere, sind auf Weißährigkeit und Lager als Folge der Vermorschung der Halmbasis zurückzuführen. Die Diagnose dieser Krankheit ist im bekämpfungsrelevanten Zeitraum (EC 30–37) anhand makroskopischer Symptome nur schwer möglich. Auf Grund dessen wurde in diesem Entwicklungsabschnitt die Anfärbemethode nach Mauler–Machnik und Naß (1990) angewendet. Hierzu wurde die zweite Blattscheide vor dem Halm für ca. 15 Minuten in eine 5-%ige Tinten–Essigessenz–Lösung eingelegt. Im Anschluss daran konnten mit Hilfe des Binokulars bei Durchlicht und 40facher Vergrößerung, die dunkelblau angefärbten erregerspezifischen Myzelkissen zweifelsfrei zugeordnet und Verwechslungen mit Erregern anderer Halmbasiserkrankungen wie *Fusarium ssp.* oder *Rhizoctonia cerealis* ausgeschlossen werden (Abb. B1).

Mit fortschreitender Vegetation weisen die Blattscheiden an der Halmbasis ovale bis lang gestreckte, augenförmige Flecken mit hellem Zentrum und rötlich–braunen Rand ohne scharfe Begrenzung auf. Im Bereich dieser Flecken bildet sich im Stängel ein watteartiges Myzel.

Durch die deutliche Unterscheidbarkeit der Symptome war es möglich, bei der visuellen Bonitur auch die Erreger von *Rhizoctonia cerealis* (Nekrosen am Halm durch scharfen Rand vom gesunden Gewebe abgegrenzt) und *Fusarium*–Arten (unspezifische Verbräunungen an

Blattscheide und Halm) zu erfassen. Die Ausprägung dieser Schadsymptome wurde in fünf Befallsklassen eingeteilt:

Tab. B7 Befallsklassen nach Sichtbonitur von *Pseudocercospora herpotrichoides*

Befallsklasse	Befallsgrad
gesund	Symptomfrei
Klasse 1 (25%)	Symptom ¼ stängelumfassend
Klasse 2 (50%)	Symptom ½ stängelumfassend
Klasse 3 (75%)	Symptom ¾ stängelumfassend
Klasse 4 (100%)	Symptom stängelumfassend

b. *Septoria tritici*

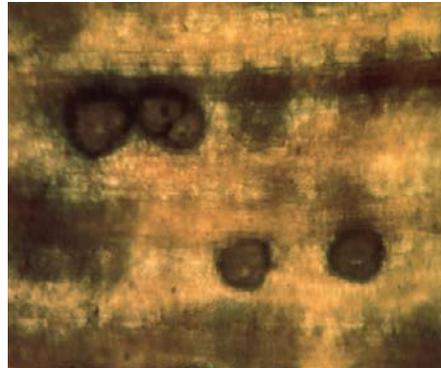


Abb. B2 Blattsymptome (links) und Fruchtkörper (rechts) von *S. tritici* (Bilder: Klink, 1997)

Der Erreger befällt photosynthetisch aktive Pflanzenteile und ist somit auf Blättern, Halmen und Blattscheiden zu finden. Auf den Blättern bilden sich zunächst hellgrüne, dann gelblich werdende, später braune, unregelmäßig runde bis oval geformte Läsionen. Die Blattflecken fließen zu unregelmäßig geformten Nekrosen zusammen, die Blätter sterben ab und vertrocknen. Es entsteht die typische Blattdürre. In den *Septoria*- Blattflecken sind bereits mit bloßem Auge die typischen, stets in Reihe angeordneten schwarzen Pyknidien erkennbar. Für die Bonitur wurden die einzelnen Blätter der Blattetagen in Schalen mit Wasser gelegt, was ein Quellen der Fruchtkörper herbeiführte und somit die erregerspezifische Diagnose erleichterte.

Tab. B8 Boniturparameter für *Septoria tritici*

Boniturparameter	Definition
BHB	Befallene Blätter je Blattetage in Prozent
BSB	Anzahl Pyknidien pro Blattetage
GES BSB	Summe der Befallsstärken aller bonitierten Blattetagen zu einem Boniturzeitpunkt
SUM BSB	Summe aus GES BSB und der BSB aller Blattetagen, die aufgrund starker Nekrotisierung (>95%) nicht mehr bonitierbar waren

Die typischen Fruchtkörper von *Septoria tritici*, die Pyknidien, sind unter dem Binokular an ihrer kugeligen bis elliptischen Form mit heller, ovaler Öffnung (Ostiolum) zu erkennen. Mit zunehmender Reife wechselt die Farbe der Pyknidien von grün über hellbraun bis zu schwarz. Die Bonitur erfolgte durch Auszählen der Pyknidien auf den Blättern einer jeweiligen Blatttage.

c. *Blumeria graminis*, syn.: *Erysiphe graminis*

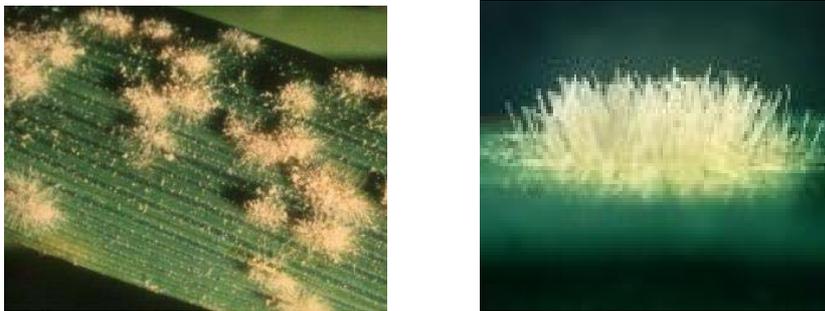


Abb.B3 Blattsymptome (links) und Konidienträger (rechts) von *B. graminis* (Bilder: Klink, 1997)

Bei dem Erreger des Echten Mehltaus handelt es sich um einen obligat biotrophen Pilz. Ertragseinbußen beruhen auf einer Verringerung der Kornzahl/Ähre sowie des Tausendkorngewichts (TKG), vor allem bei Befall der oberen drei Blatttagen. Makroskopisch äußert sich der Befall durch weiße, watteähnliche, an der Oberfläche von Blättern und Blattscheiden sitzenden Pusteln, die leicht abstreifbar sind. Ältere Pusteln werden zu weiß- bis graubraunen Belägen, in denen gegen Vegetationsende dunkelbraune bis schwarze Fruchtkörper (Cleistothezien) erkennbar werden.

Der Befallsgrad wurde an allen Blatttagen der Haupttriebe prozentual nach dem Boniturschema von Verreet (1995) geschätzt.

Tab. B9 Boniturparameter für *B. graminis f. sp. tritici*

Parameter	Definition
BHB	Befallene Blätter je Blatttage in Prozent
BSB	Mit Pusteln bedeckte Blattfläche je Blatttage in Prozent
GES BHB	Befallene Pflanzen im Bestand in Prozent
GES BSB	Summe der BSB über die Blatttagen zu einem Boniturzeitpunkt, deren Nekrotisierungsgrad unter 50% liegt

d. *Puccinia recondita*, *Puccinia striiformis*

Die zweifelsfreie Diagnose und Differenzierung der beiden Rostarten *Puccinia recondita* (Braunrost) und *Puccinia striiformis* (Gelbrost) kann zu Beginn ihres Auftretens zu Schwierigkeiten führen, da Verteilung und Färbung der Uredosporenlager kurz nach dem Durchbrechen der Epidermis noch nicht charakteristisch ausgeprägt sind. Mit zunehmendem Populationsaufbau wird eine exakte Differenzierung durch typische, erregerspezifische

Anordnung der Sporenlager auf der Blattspreite möglich. Die Pusteln des Braunrosterregers sind bräunlich und unregelmäßig über das Weizenblatt verteilt, während die gelben Uredosporenlager des Gelbrosterregers immer parallel zu den Blattnerven in Streifen verlaufen.

Bei der Bonitur der beiden Erreger wurde die Anzahl der Uredosporenlager für jedes Blatt auf ihren prozentualen Anteil an der Gesamtblattfläche geschätzt.

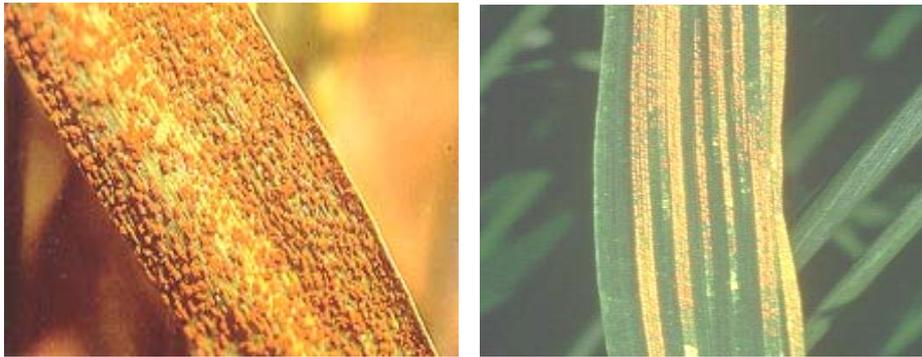


Abb. B4 Uredosporenlager von *P. recondita* (links) und *P. striiformis* (rechts) (Bilder: Klink, 1997)

Tab. B10 Boniturparameter für *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis*

Boniturparameter	Definition
BHB	Befallene Blätter je Blattetage in Prozent
BSB	Prozent der mit Rostpusteln bedeckten Blattfläche pro Blattetage
GES BHB	Befallene Pflanzen im Bestand in Prozent
GES BSB	Summe der BSB über die Blattetagen zu einem Boniturzeitpunkt

e. *Drechslera tritici-repentis*

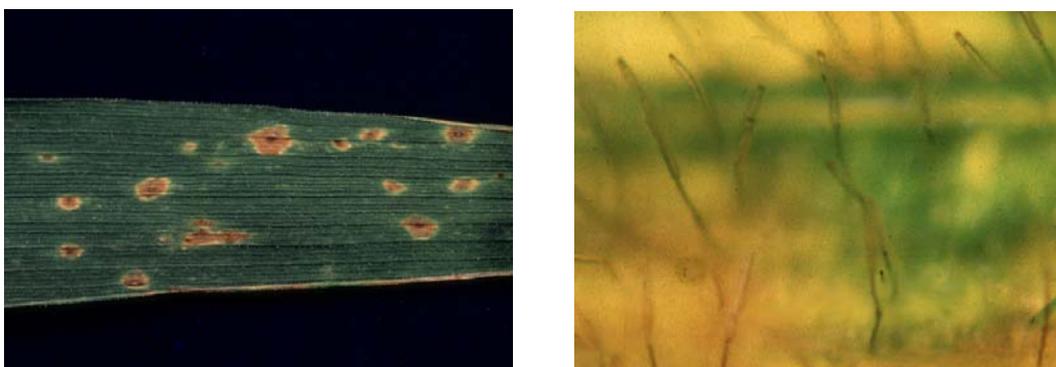


Abb. B5 Blattsymptome (links) und Konidienträger (rechts) von *Drechslera tritici-repentis* (Bilder: Klink, 1997)

Erstinfektionen ab April/Mai durch den Erreger *Drechslera tritici-repentis*, ausgehend von Stroh- und Stoppelresten, verursachen auf bodennahen Blättern junger Saaten rundliche,

hellbraune Flecken. Erst die Sekundärinfektionen bilden die typischen, dunkelbraunen Infektionspunkte, die von einem chlorotischen Hof umgeben sind. Auswirkung des Befalls ist vor allem der Verlust von photosynthetisch aktivem Blattgewebe. Folge hiervon sind Ertragverluste beruhend auf einer Verringerung der Kornzahl/Ähre sowie des TKGs. Zweifelsfrei identifizieren lässt sich der Erreger durch den Nachweis erregerspezifischer Pilzstrukturen. Dies sind einzeln stehende, dunkelbraune bis schwarze, aus den Epidermiszellen herauswachsende Sporenträger mit Konidien, die unter dem Binokular bei 40-facher Vergrößerung deutlich zu erkennen sind.

Tab. B11 Boniturparameter für *Drechslera tritici-repentis*

Boniturparameter	Definition
SHB	befallene Blätter je Blatttage in Prozent
BSB	Befallene Blattfläche pro Blatttage in Prozent
GES BSB	Summe der BSB über die Blatttagen zu einem Boniturzeitpunkt
GES BHB	Befallen Pflanzen im Bestand in Prozent

f. *Fusarium*-Arten



Abb. B6 Partielle Taubährigkeit verursacht durch *F. culmorum* (Bilder: Klink, 1997)

Tab. B12: Boniturparameter für *Fusarium*

Parameter	Definition
GES BSB	Anzahl befallener Körner/ Ähre in %
GES BHB	Anzahl befallener Ähren im Bestand

Wichtigstes Schadsymptom ist der Ährenbefall. Ein frühzeitiges Erreichen der Ährchenanlage durch die Schadpilze *F.culmorum* und *F.graminearum* führt zum Absterben der Kornanlage oder des ganzen Ährchens. Das Eindringen des Pilzes in die zentrale Ährenspindel bewirkt eine Unterbrechung der Nährstoffversorgung aller darüber liegenden Kornanlagen und bildet so das typische Schadbild der partiellen Weiß- oder Taubährigkeit aus. Die Befallsstellen bleichen zunächst aus, bei feuchter Witterung bilden sie an den Spelzen oftmals rosa gefärbte Sporenlager.

Die Bonitur erfolgte visuell, im Zweifelsfall anhand einer Sporenanalyse unter dem Mikroskop, als Ährchenbonitur im Entwicklungsstadium EC 83/85. Erfasst wurde, neben der Anzahl der befallenen Ährchen im Bestand, die Anzahl der tauben Körner je Ähre.

5.2.7. Erfasste Unkrautarten

An vier Terminen (November, April, Mai, Juni) wurden die Pflanzenzahlen/m² und Deckungsgrade der Unkräuter erfasst. Die Schätzung der Deckungsgrade sowohl der Kultur als auch der Unkräuter entspricht den Richtlinien der EPPO: PP 1/93: „Unkräuter in Getreide“. Bei den Unkräutern wurden im Herbst und im Mai die absoluten Zahlen pro Quadratmeter sowie die Deckungsgrade ermittelt. An den Terminen im Juni und Juli wurden von jeder Unkrautart die Deckungsgrade bonitiert, da die Verschachtelung der Pflanzen (insbesondere *Galium aparine*, *Stellaria media*, *Veronica spp.* und *Vicia cracca*) eine Zählung unmöglich machte. Der Deckungsgrad ist definiert als die Fläche, die bedeckt würde, wenn man alle oberirdischen Pflanzenteile der zu bestimmenden Arten auf den Boden projizierte (Hofmeister und Garve, 1986). Das Auszählen der Unkräuter erfolgte vor Ort. Die Deckungsgrade aller bonitierten Quadratmeter wurden anschließend zu einem Termin am PC an Hand der Fotografien ermittelt, um das Schätzen mittels Betrachtung der Flächen so exakt wie möglich zu gestalten. Zusätzlich wurde bei den Unkräutern noch die Stetigkeit ermittelt. Bei einzelner Betrachtung der Wirtschaftsweisen ergäbe ein Vorkommen auf allen sechs Standorten eine Stetigkeit von 100 %, während die Bonitur an einem Standort einer Stetigkeit von etwa 17 % gleichkäme.

Am ersten Boniturtermin Ende November befanden sich viele Pflanzen noch im Keimblattstadium. Deswegen wurde teilweise nur der Gattungsname notiert. Noch schwieriger wurde es bei den Ungräsern, da viele Keimblätter erst zur Hälfte die Oberfläche durchbrochen hatten und weder Blatthäutchen noch Blattöhrchen erschienen waren. Daher wurden diese Pflanzen vereinfacht als Ungras eingeordnet. Trotz der teilweise niedrigen Entwicklungsstadien kam eine beachtliche Zahl von Unkräutern zustande. Auch die eigentlichen Kulturarten Raps und Wintergerste sind hier als Unkraut aufgeführt. Zusammen mit den Kulturarten (Luzerne, Raps, Rotklee, Weißklee, Gerste und Roggen) wurden über alle Boniturtermine insgesamt 51 dicotyle sowie 9 monocotyle Unkrautarten bonitiert. Bestimmt wurden die Arten nach Behrendt und Hanf (1979), Eggebrecht (1964), Hanf (1982), sowie Klaußen und Freitag (2002). In Klammern steht die offizielle Abkürzung nach der European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO):

Tab. B13 Bonitierte Unkräuter und Ungräser

<i>Lateinischer Name</i>	EPPO	Deutscher Name	<i>Lateinischer Name</i>	EPPO	Deutscher Name
Unkräuter:			<i>Ranunculus repens</i>	RANRE	Kriechender Hahnenfuß
<i>Aethusa cynapium</i>	AETCY	Hundspetersilie	<i>Raphanus raphanistrum</i>	RAPRA	Hederich
<i>Anthriscus sylvestris</i>	ANRSY	Wiesenkerbel	<i>Rumex crispus</i>	RUMCR	Krauser Ampfer
<i>Aphanes arvensis</i>	APHAR	Acker-Frauenmantel	<i>Rumex obtusifolius</i>	RUMOB	stumpfbblätteriger Ampfer
<i>Bidens tripartita</i>	BIDTR	Dreiteiliger Zweizahn	<i>Senecio vulgaris</i>	SENVU	Gemeines Kreuzkraut
<i>Brassica napus</i>	BRSNA	Winterraps	<i>Sisymbrium loeselli</i>	SYSLO	Löselsrauke
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	Hirtentäschel	<i>Sisymbrium officinale</i>	SSYOF	Wegrauke
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	Kornblume	<i>Sonchus arvensis</i>	SONAR	Acker-Gänsedistel
<i>Cerastium arvense</i>	CERAR	Ackerhornkraut	<i>Spergula arvensis</i>	SPRAR	Acker-Spörgel
<i>Chenopodium album</i>	CHEAL	Weißer Gänsefuß	<i>Stachys arvensis</i>	STAAR	Acker-Ziest
<i>Cirsium arvense</i>	CIRAR	Acker-Kratzdistel	<i>Stellaria media</i>	STEMA	Vogelmiere
<i>Consolida regalis</i>	CNSRE	Acker-Rittersporn	<i>Taraxacum officinale</i>	TAROF	Löwenzahn
<i>Daucus carota</i>	DAUCA	Wilde Möhre	<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	Acker-Hellerkraut
<i>Equisetum arvense</i>	EQUAR	Acker-Schachtelhalm	<i>Trifolium pratense</i>	TRFPR	Rotklee
<i>Erodium cicutarium</i>	EROCI	Schierlings-Reiherschnabel	<i>Trifolium repens</i>	TFFRE	Weißklee
<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	Gemeiner Erdrauch	<i>Tussilago farfara</i>	TUSFA	Huflattich
<i>Galeopsis tetrahit</i>	GAETE	Gemeiner Hohlzahn	<i>Veronica arvensis</i>	VERAR	Feldehrenpreis
<i>Galium aparine</i>	GALAP	Klettenlabkraut	<i>Veronica hederaefolia</i>	VERHE	Efeublättriger Ehrenpreis
<i>Geranium dissectum</i>	GERDIS	Schlitzblättriger Storchschnabel	<i>Veronica persica</i>	VERPE	Persischer Ehrenpreis
<i>Geranium rotundifolium</i>	GERROT	Rundblättriger Storchschnabel	<i>Vicia cracca</i>	VICCR	Vogelwicke
<i>Lactuca serriola</i>	LACSE	Kompasslattich	<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	Acker-Stiefmütterchen
<i>Lamium amplexicaule</i>	LAMAM	Stängelumfassende Taubnessel			
<i>Lamium purpureum</i>	LAMPU	Rote Taubnessel	Ungräser:		
<i>Matricaria recutita</i>	MATCH	Echte Kamille	<i>Agropyron repens</i>	AGGRE	Quecke
<i>Matricaria discoidea</i>	MATMT	Strahllose Kamille	<i>Alopecurus myosuroides</i>	ALOMY	Ackerfuchsschwanz
<i>Medicago sativa</i>	MEDSA	Luzerne)	<i>Apera spica-venti</i>	APESV	Windhalm
<i>Myosotis arvensis</i>	MYOAR	Acker-Vergissmeinnicht	<i>Digitaria ischaemum</i>	DIGIS	Fingerhirse
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	Klatschmohn	<i>Hordeum vulgare</i>	HORVU	Wintergerste
<i>Polygonum aviculare</i>	POLAV	Vogelknöterich	<i>Lolium perenne</i>	LOLPE	Deutsches Weidelgras
<i>Polygonum convolvulus</i>	POLCO	Windknöterich	<i>Poa annua</i>	POAAN	Einjährige Rispe
<i>Polygonum lapathifolium</i>	POLLA	Ampfer-Knöterich	<i>Poa trivialis</i>	POATR	Gemeine Rispe
<i>Polygonum persicaria</i>	POLPE	Flohnöterich	<i>Secale cereale</i>	SECCE	Winterroggen

5.2.8. Mykotoxine und Pflanzenschutzmittelrückstände

Die Analyse auf Pflanzenschutzmittelrückstände (PSM-Rückstände) in vegetativen und generativen Pflanzenorganen des Winterweizens wurde auf den 6 konventionellen Ackerbaubetrieben, und zwar nach der letzten PSM-Behandlung (EC 69) in einem viermaligen, wöchentlichen Intervall (4 Probenahmeterminen) durchgeführt. Abschließend wurden die Kornproben der behandelten Variante auf Rückstände der applizierten Wirkstoffe untersucht. Die ökologisch erzeugten Kornproben wurden zur Kontrolle als Mischprobe derselben Analyse unterzogen. Die analysierten Wirkstoffe umfassten alle relevanten, im konventionellen Anbau einsetzbaren Produkte zur Bekämpfung von pilzlichen Schaderregern und Schadtieren (Tabelle B15). Die Analytik wurde von der Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Kiel durchgeführt.

Die Untersuchung auf Mykotoxine von Fusarienpilzen (vor allem Desoxynivalenol und Zearalenon) wurden mittels der High Performance Liquid Chromatography (HPLC-MS/MS) Methode ebenfalls bei der LUFA an den ökologisch und konventionell erzeugten Kornproben beider Sorten der Praxisvariante zur Ernte analysiert. Mit diesem Verfahren ist es möglich, Mykotoxingehalte auch noch unter den entsprechenden Grenzwerten (Tab. B14) sicher zu bestimmen. Erst unter einer Nachweisgrenze von 0,05 mg für DON und 5 µg für ZEA je Kilogramm Probenmaterial lassen sich keine gesicherten Ergebnisse mehr erzielen.

Tab. B14 Grenzwerte für Mykotoxine in Lebensmitteln

Mykotoxin	Lebensmittelgruppe	Höchstmengen Mykotoxinverordnung	Höchstmengen nach Diätverordnung
Desoxynivalenol	Speisegetreide, Getreide- erzeugnisse, Teigwaren	0,5 mg / kg	0,1 mg / kg
	Brot- und Backwaren mit Getreideanteil über 33%	0,35 mg / kg	0,1 mg / kg
Zearalenon	Speisegetreide, Getreide- erzeugnisse, Teigwaren	50 µg / kg	20 µg / kg
	Brot- und Backwaren mit Getreideanteil über 33%	50 µg / kg	20 µg / kg

5.2.9. Ertrag und Qualitätsuntersuchungen

Der Drusch der Versuchspartellen erfolgte in den Versuchsjahren 2005 und 2006 mit einem Partellenmähdrescher mit einer Schnittbreite von 1,50m. Zusätzlich erfolgte im Versuchsjahr 2005 eine Handernte von jeweils 1m² pro Wiederholung, um die Handerntedaten des Versuchsjahres 2004 abzusichern und einen Bezug zu den Druschergebnissen herzustellen. Die Länge der geernteten Partellen ergab sich aus den Arbeitsbreiten der eingesetzten Geräte auf den Betrieben. So variierten die geernteten Flächen von 9 bis 15 m². Das Erntegut wurde in einen Trockenschrank bei 45°C nachgetrocknet, um die Lagerfähigkeit zu gewährleisten. Anschließend wurden die Proben gewogen und gereinigt. Bei den gereinigten Proben wurde durch eine Nahinfrarot-Spektralanalyse (NIRS) der Rohprotein- sowie Feuchtegehalt bestimmt. Die Ertragsdaten wurden mit dem Wassergehalt der Körner verrechnet und auf 14% Wassergehalt standardisiert. Weiterhin wurde die Tausendkornmasse

nach Auszählung von 900–1000 Körnern mit einem Körnerzählgerät ausgewogen. Vor der Reinigung wurde eine ungereinigte Rückstellprobe aller Wiederholungen der Praxisvariante erstellt, die bei der LUFA als Mischprobe der Wiederholungen des jeweiligen Betriebes auf relevante Qualitätsparameter, Mykotoxine und PSM-Rückstände untersucht wurden (Tabelle B15).

Tab. B15 Bei der LUFA-Kiel analysierte Qualitätsparameter und PSM-Wirkstoffe im Korn

Qualitätsparameter:	Einheit	Analysiertes Material	Nachweisgrenze	Methode
Rohprotein	%	Korn	–	in Anlehnung ICC Standard
TKG	g	Korn	–	Brautech.I /2.3.2
Sedimentation	ccm	Korn	–	in Anlehnung ICC Standard
Fallzahl	sec	Korn	–	in Anlehnung ICC Standard
Feuchtkleber	%	Korn	–	in Anlehnung ICC 137
Besatz	%	Korn	–	Handauslese
Sortierung <2,2mm	%	Korn	–	Handauslese
DON	mg/kg	Korn	0,05	HPLC-MS/MS
ZEA	µg/kg	Korn	5,0	HPLC-MS/MS
PSM-Wirkstoffe:				
Insektizide:				
Cyhalothrin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,01	analog §35 LMBG L00.00–34
Cypermethrin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,01	analog §35 LMBG L00.00–34
Dimethoat	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,01	analog §35 LMBG L00.00–34
Oxydemetonmethyl	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,1	analog §35 LMBG L00.00–34
Fungizide:				
Azoxystrobin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Chlorothalonil	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Chlormequat	mg/kg	Korn	0,005	§35 LMBG L00.00–76 (LC/MS)
Cyproconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Cyprodinil	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Difenoconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Epoxyconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Fenpropidin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Fenpropimorph	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Flufenacet	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Fluquiconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Flusiazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Kresoximmethyl	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Mepiquat	mg/kg	Korn	0,005	§35 LMBG L00.00–76 (LC/MS)
Metconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Picoxystrobin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Prochloraz	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Propiconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Prothioconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,01	analog §64-Entwurf HPLC-MS/MS
Pyraclostrobin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Quinoxifen	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Spiroxamin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Tebuconazol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Triademefon	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Triademenol	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34
Trifloxystrobin	mg/kg	Ganzpflanzen & Korn	0,02	analog §35 LMBG L00.00–34

5.2.10. Sickerwasseranalytik

Die Rückstandsanalytik auf PSM im Sickerwasser von 8 Betrieben unter verschiedenen Kulturen (2 konventionelle Ackerbau- [Raps & Weizen], 2 konventionelle Futterbau- [Mais], 2 ökologische Ackerbau- [Klee gras & Weizen] und 2 ökologische Futterbaubetriebe [Mais]) wurde bei der LUFA Kiel mittels GC-Multirückstandsanalytik sowie HPLC (sauer) durchgeführt (Tabelle B15). Die Beprobungen erfolgten durch die im Teilprojekt A in 80 cm Bodentiefe installierte Saugkerzen über die Sickerwasserperiode November bis März. Verwendung fanden Glassaugkerzen, da nur diese keine Absorption von PSM-Rückständen an der Saugkerze garantieren können. Aufgrund der vorherrschenden trockenen Witterung im Herbst 2004 und 2005, sowie der unterdurchschnittlich kalten Witterung der jeweils folgenden Winter im Februar und auch noch im März, waren die geförderten Wassermengen sehr gering. Um für die Analyse eine ausreichende Probenmenge (mindestens 1 Liter) zu erhalten, mussten daher die Wassermengen mehrerer Wochen (5 Wochen) zusammengeführt werden. Zudem konnten dadurch nur zwei Termine realisiert werden. Der erste Termin umfasste den Zeitraum Mitte November bis Mitte Dezember, der zweite den Zeitraum Ende Dezember bis Ende Januar. Es wurden Proben unter den verschiedenen Kulturen genommen, die als Hauptfrucht (Weizen) und Vorfrucht (Raps [konv.] und Klee gras [ökol.]) galten sowie unter abgeernteten Maisflächen der Futterbaubetriebe ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise. Die Proben der ökologischen Wirtschaftswesen wurden als Mischprobe des Betriebstyps Ackerbau und Futterbau gehandhabt. Die Proben der konventionellen Wirtschaftsweise wurden jeweils getrennt analysiert.

Tab. B16 Durch die LUFA-ITL analysierte PSM-Wirkstoffe im Sickerwasser

Wirkstoff	Einheit	Analysiertes Material	Nachweisgrenze	Methode
Insektizide:				
Cyhalothrin	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Fungizide:				
Metconazol	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,1	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Tebuconazol	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Herbizide:				
Atrazin	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,01	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Bromoxynil	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,03	DIN 38407-F12 (HPLC, acid)
Clomazone	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Diflufenican	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Flufenacet	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Fluoxypyr	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	DIN 38407-F12 (HPLC, acid)
Flurtamone	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Isoproturon	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,07	EN 12918 F24 (GC-Multi)
MCPA	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,03	DIN 38407-F12 (HPLC, acid)
Mecoprop	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,03	DIN 38407-F12 (HPLC, acid)
Metazachlor	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,01	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Metolacor	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Metribuzin	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Pendimethalin	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Prosulfocarb	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)
Terbutylazin	µg/l = ppb	Sickerwasser	0,05	EN 12918 F24 (GC-Multi)

5.2.11. Witterung

Mittels agrarmeteorologischer Messstationen werden ganzjährig die meteorologischen Konfigurationsparameter (Temperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte, Blattnässefühler nach Weihofen) im Betrieb bestimmt. Die Stationen waren möglichst nahe bei oder in den Versuchsfläche aufgestellt, um neben dem Makro- auch das Mikroklima im Bestand aufzuzeichnen.

5.2.12. Statistische Auswertung

Das Datenmaterial wurde zunächst lokal auf einem PC mit Unterstützung von Tabellenkalkulationen gespeichert und in eine auswertbare Form überführt. Zudem wurden verschiedene Regressionen mit Hilfe der Tabellenkalkulation „Excel, Version 2003“ von Microsoft erstellt, die in SAS durch die Prozedur „REG“ auf ihre Signifikanz ($p \leq 0,05$) untersucht wurde.

5.3. Ergebnisse

5.3.1. Witterung und Versuchsverlauf

Witterungsverhältnisse 2004

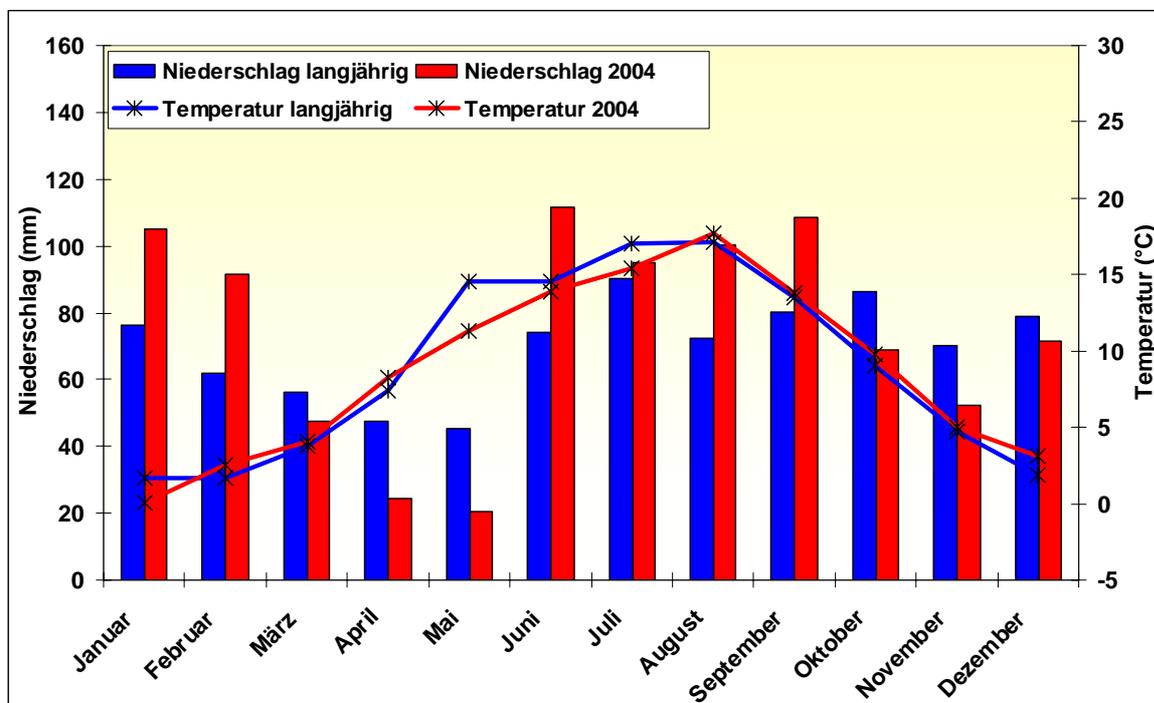


Abb. B7: Niederschlag und Lufttemperatur (Monatssummen bzw. -mittel) 2004 im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Schleswig 1991–2004)

Die Witterung 2004 begann im Vergleich zum langjährigen Mittel niederschlagsreich und kühl. Ende Januar folgte eine Phase sehr milder regnerischer Witterung. Der März brachte neben winterlich geprägten Abschnitten insgesamt durchschnittliche Temperaturen und eine unter dem Durchschnitt liegende Niederschlagsmenge. Ebenso waren der April und der Mai durch eine trockene Witterung geprägt, wobei der Mai sehr kühl ausfiel. Ab Juni setzte eine nasse Witterung ein, die mit Unterbrechungen Anfang August bis zum September anhielt. Die unterdurchschnittlichen Temperaturen des Juni und Juli glichen sich erst im August wieder dem langjährigen Mittel an. Die folgenden Monate ab September waren durch einen Wechsel von warmer und kühler Witterung geprägt, wobei die Temperatur leicht über dem Mittelwert lag. Ab Oktober konnte ein Niederschlagsdefizit festgestellt werden, welches sich bis zum Dezember fortsetzte.

Witterungsverhältnisse 2005

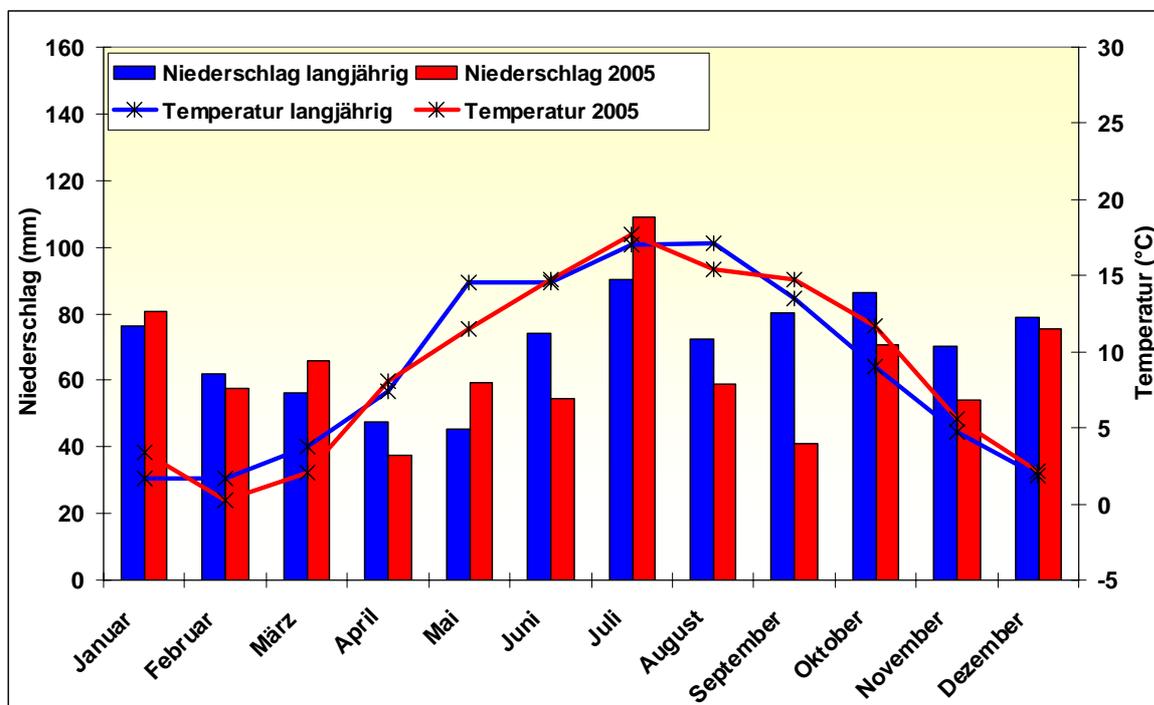


Abb. B8 Niederschlag und Lufttemperatur (Monatssummen bzw. -mittel) 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Schleswig 1991–2005)

Die überdurchschnittlich warme Winterwitterung des Jahres 2004 setzte sich auch im Januar des Folgejahres 2005 fort, die Niederschlagsmenge in diesem Monat lag knapp über dem Durchschnitt. Ab Februar setzte eine Kälteperiode ein, die sich bis in den März mit unterdurchschnittlichen Temperaturen hinzog. Der April fiel, bedingt durch eine stabile Hochdrucklage zu warm und zu trocken aus, der Mai hingegen bot ein gegenteiliges Bild, überdurchschnittlich feucht und kalt. Der Juni begann mit einer relativ kühlen Witterung, in der zweiten Monatshälfte dominierten jedoch hochsommerliche Temperaturen. Die Niederschlagsmenge in dieser Zeit war unterdurchschnittlich. Der Juli hatte bei durchschnittlichen Temperaturen ein Niederschlagsplus zu verzeichnen. Diese Witterung hat sich im August nicht fortgesetzt, Temperatur und Niederschlag sanken unter das langjährige

Mittel. Ab September setzte jedoch wieder vergleichend zum Durchschnitt wärmere und trockenere Periode ein, die sich bis in den Dezember hinzog. Ab Dezember sank die Temperatur wieder unter das langjährige Mittel ab.

Witterungsverhältnisse 2006

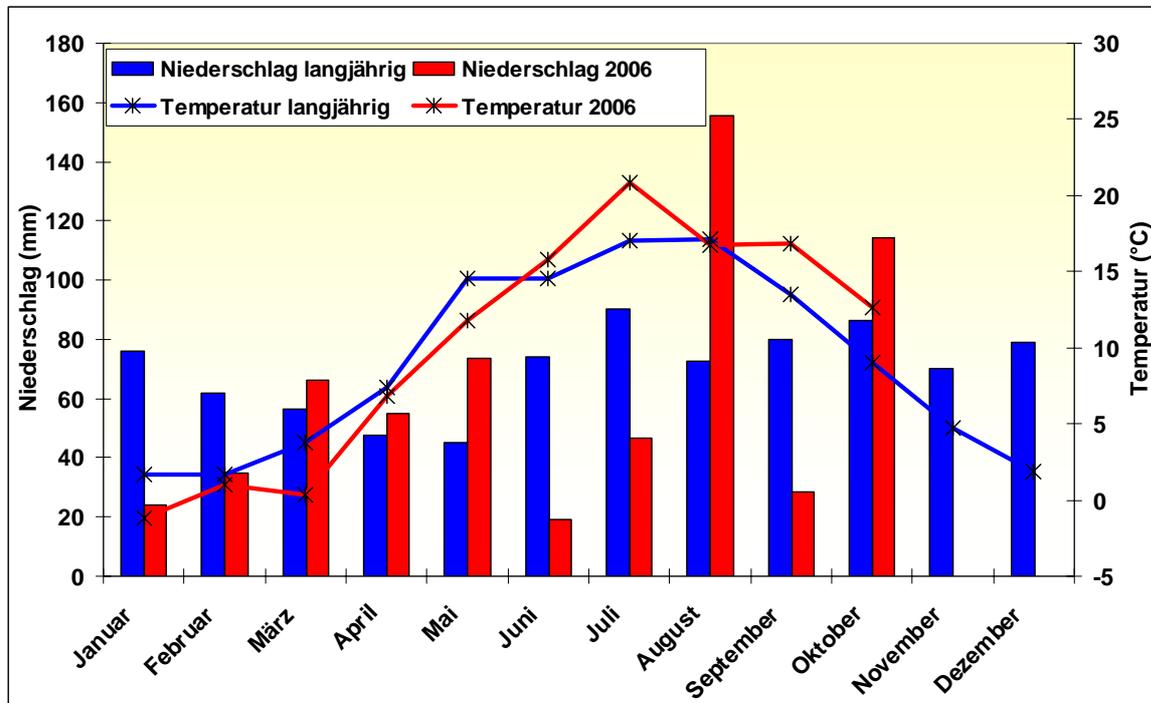


Abb. B9 Niederschlag und Lufttemperatur (Monatssummen bzw. -mittel) 2006 im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Schleswig 1991–2005)

Die Abkühlung des Dezembers des Vorjahres 2005 setzte sich im Januar 2006, ebenso wie die niedrigen Niederschlagsmengen, fort. Die kalte trockene Witterung hielt bis März an. Ende Februar gab es zudem noch einige Schneefälle, die erst gegen den 20. März abtauten. April und Mai waren weiterhin durch unterdurchschnittliche Temperaturen gekennzeichnet verbunden mit leicht überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. Ab Juni setzte eine sehr heiße und trockene Witterung ein, die erhebliche Niederschlagsdefizite zur Folge hatte. Erst ab Ende Juli, zum Beginn der Weizenernte, setzte eine kühlere Witterung mit diversen Niederschlägen ein, die um ca. doppelt so hoch lagen, wie das langjährige Mittel. September und Oktober hingegen waren wiederum durch sehr warmes, trockenes Wetter gekennzeichnet.

5.3.2. Krankheiten im Weizen

5.3.2.1. Versuchsjahr 2004

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 2004 werden getrennt von den Versuchsjahren 2005 und 2006 betrachtet, da ein Vergleich mit den folgenden Jahren aufgrund der heterogenen

Sortenstruktur einhergehend mit fehlenden Varianten als Folge des späten Projektbeginns nur eingeschränkt möglich ist.

a. *Pseudocercospora herpotrichoides*

Der Befall mit dem Erreger des Halmbruchs war schon zur ersten Bonitur am 10.5.04 zu EC 32 recht heterogen (Abb. B10). Die Pflanzen der ökologischen Variante wiesen bis auf einen Standort (Heide) sehr geringe Befallshäufigkeiten (BHB) zu diesem frühen Termin auf. Dies hängt mit den langjährig aufgelockerten Fruchtfolgen dieser Wirtschaftsweise zusammen. Durch den erhöhten Anteil von Nichtwirtspflanzen für die Weizenpathogene (Kleegrass – Körnerleguminosen – Hafer) in der Fruchtfolge ist aus phytomedizinischer Sicht ein geringes Ausgangspotential für die Folgefrucht vorhanden (Verreet, 1995). Neben der Fruchtfolge mit erhöhtem Getreideanteil (Tab. B6) in der konventionellen Wirtschaftsweise begünstigt auch die frühe Aussaat (Tab. B4) die Befallssituation (Hedke, 1999; Verreet, 1995).

Die Situation beim Ausgangsbefall spiegelt sich auch im Endbefall wieder (Abb. B10). Vergleichend erreichen die konventionell bewirtschafteten Praxisvarianten mit 65–90% BHB einen fast doppelt so hohen Endbefall wie die ökologischen (Ausnahme Standort NF, BHB=10%). Der Halm weist dabei eine Symptomausprägung (BSB) von 27–55% des Halmumfangs auf (Ausnahme Standort NF, BSB=5%). Der Einfluss auf die Lagerbildung und die dadurch entstehenden indirekten Ertragseinbußen konnte nicht bestätigt werden.

b. *Septoria tritici*

Die *Septoria*-Blattdürre, ausgelöst durch den Erreger *Septoria tritici*, war im Vegetationsjahr 2004 die bedeutendste Krankheit in beiden Wirtschaftsformen. Dabei lagen aber tendenziell die Befallsstärken der ökologischen Praxisvarianten unter denen der konventionellen Vergleichsvarianten (Abb. B11). Hierbei waren zum einen die Sortenwahl der Landwirte und insbesondere der Aussattermin entscheidend (Klink, 1997), zum anderen spielen auch die spezifische Ausbildung des Blattapparates der einzelnen Sorten sowie der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln eine Rolle. Grundsätzlich werden hocheertragreiche Kurzstrohsorten anfälliger als langstrohige Sorten späterer Reife eingeschätzt. Die Anordnung der einzelnen Organe und die Abstände zueinander haben einen großen Einfluss auf den Befall, aufgrund der geringeren bzw. höheren Überbrückungsdistanzen für den Erreger *Septoria tritici* (Verreet, 1995). Durch den Einsatz von Wachstumsregulatoren werden diese Distanzen bei der schon ohnehin mittel- bis kurzstrohigen Sorte „Dekan“ im konventionellen Anbau weiter verringert und üben damit einen befallsfördernden Einfluss auf den Krankheitserreger aus (Klink, 1997). Neben den biotischen Faktoren hat die Witterung als abiotischer Faktor einen erheblichen Einfluss auf die Krankheitsausbreitung von *Septoria tritici*. Für eine erfolgreiche Infektion sind günstige Temperaturen sowie eine Blattnässedauer von min. 35h mit anschließender Blattnässe von 98% für weitere 48h notwendig. Dies ist eine Erklärung für die Befallssituation für die Küstenstandorte. Durch höhere Windstärken entstand eine schnellere Abtrocknung der Bestände und damit ein ungünstigeres Mikroklima für die Ausbreitung des Erregers. Als Folge daraus war der Befall an den küstennahen Standorten Fehmarn und Nordfriesland im überregionalen Vergleich geringer.

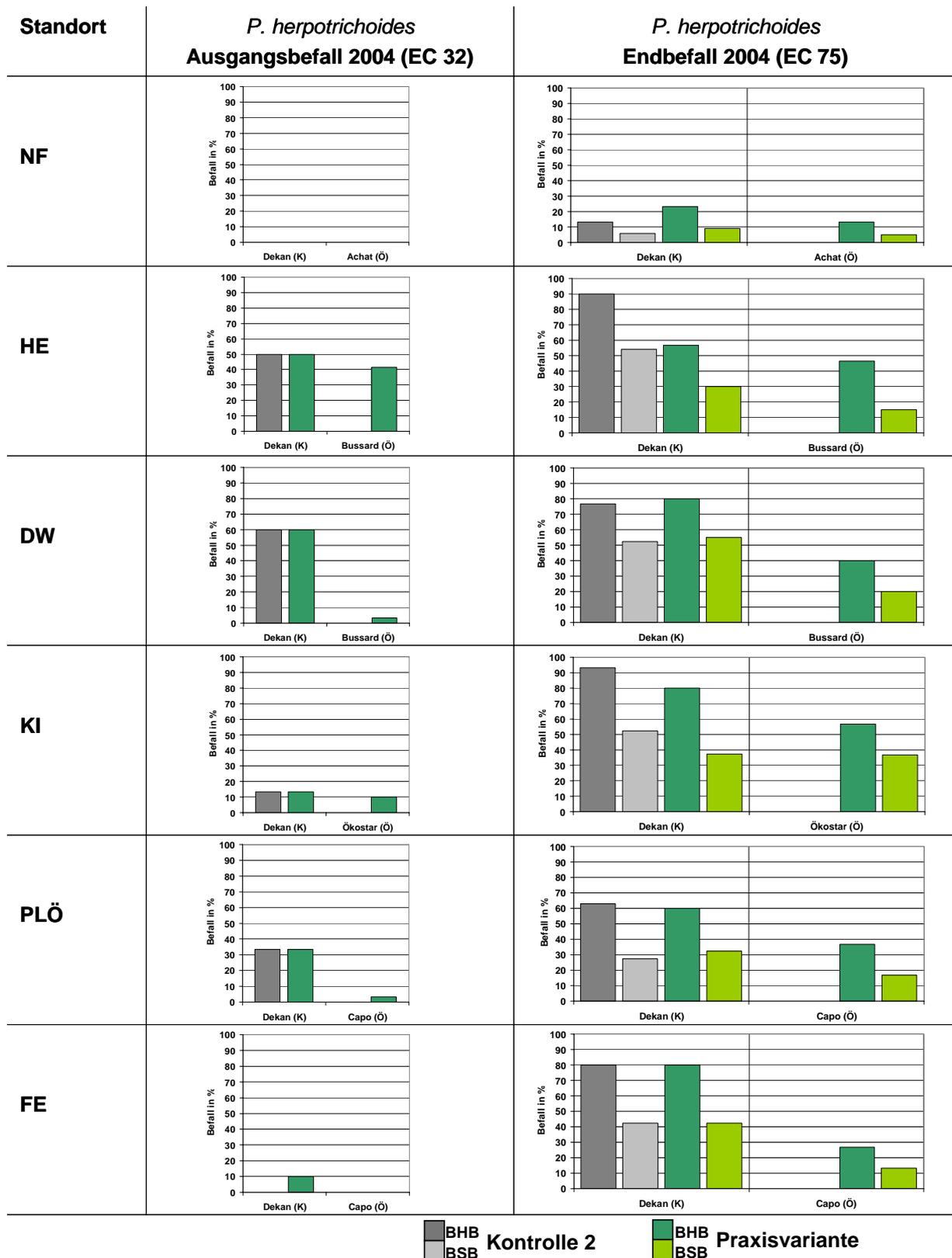


Abb. B10 Ausgangs- und Endbefall mit dem Halmbrucherreger *Pseudocercospora herpotrichoides* im Jahr 2004

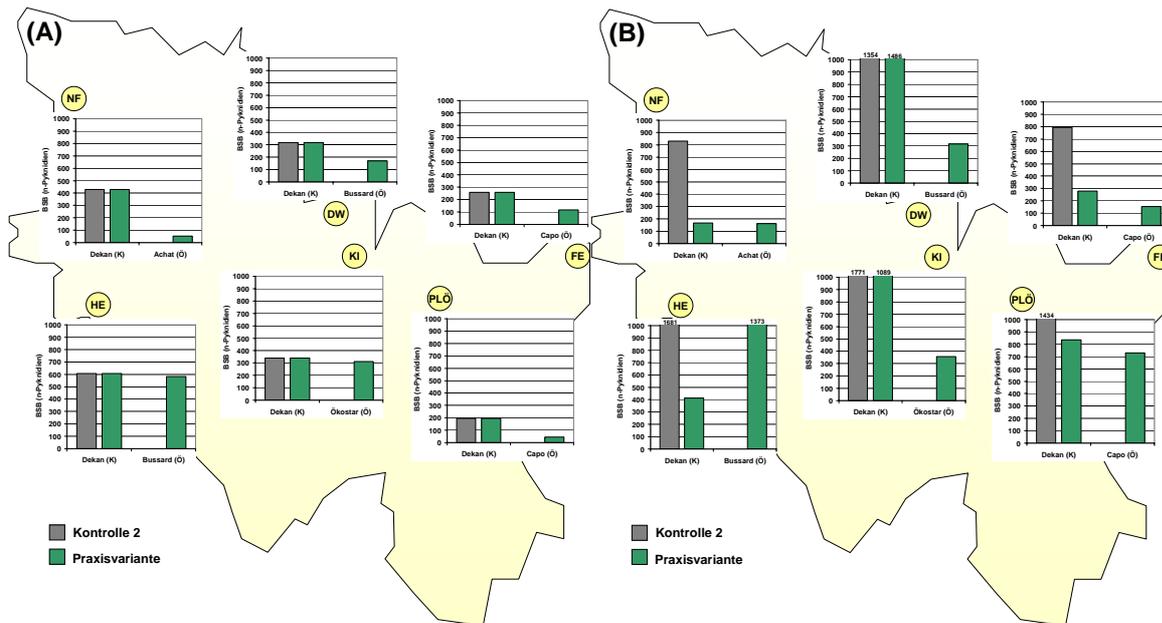


Abb. B11 Ausgangsbefall (A) zu EC 31 (Blatttagen F-6 bis F-4) und Endbefall (B) zu EC 75 (Blatttagen F-2 bis F) mit dem Erreger *Septoria tritici* im Jahr 2004

Neben den genannten Einflussfaktoren beeinflusst auch der Saattermin die Befallsituation. Die Ergebnisse von Verreet (1995) konnten hier bestätigt werden. Insbesondere bei den Betrieben ökologischer Wirtschaftsweise, die einen sehr späten Saattermin (Mitte-Ende Oktober) anstreben, ist der Befall deutlich geringer.

In der konventionellen Wirtschaftsweise führte letztendlich auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu einer im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sichtbar reduzierten Befallsstärke der Praxisvarianten (Abb.B11(B)).

c. *Blumeria graminis*

Bei *Blumeria graminis* konnte im Versuchsjahr 2004 ein niedriges Befallsniveau beobachtet werden. Der Ausgangsbefall im Frühjahr war sehr gering und nur auf die Standorte im Landesinneren begrenzt (Abb. B12(A)). Die Westküstenstandorte blieben einschließlich der anfälligen Öko-Sorten Achat und Bussard während der gesamten Boniturperiode befallsfrei. Gründe hierfür sind wahrscheinlich die häufig starken Westwinde, die keine Sporen des Pilzes mit sich führen und eine Ausbreitung und Etablierung des Erregers vom Landesinneren her verhindern (Busse, 2001). Im Inland erreichte der Erreger eine deutlich höhere Befallsprogression (Abb. B12(B)). Die Sortenwahl ist hierbei einer der wichtigsten pflanzenbaulichen Parameter. Mit der Winterweizensorte Dekan wurde überregional auf allen konventionell wirtschaftenden Betrieben eine gegen Echten Mehltau resistente Sorte angebaut, während die ökologisch angebauten Sorten Achat, Bussard, Capo und Ökostar vom Bundessortenamt als anfälliger eingestuft wurden. Trotzdem variieren Ausbreitungsmuster des Erregers aufgrund der Sorteneigenschaften und Anbauparameter.

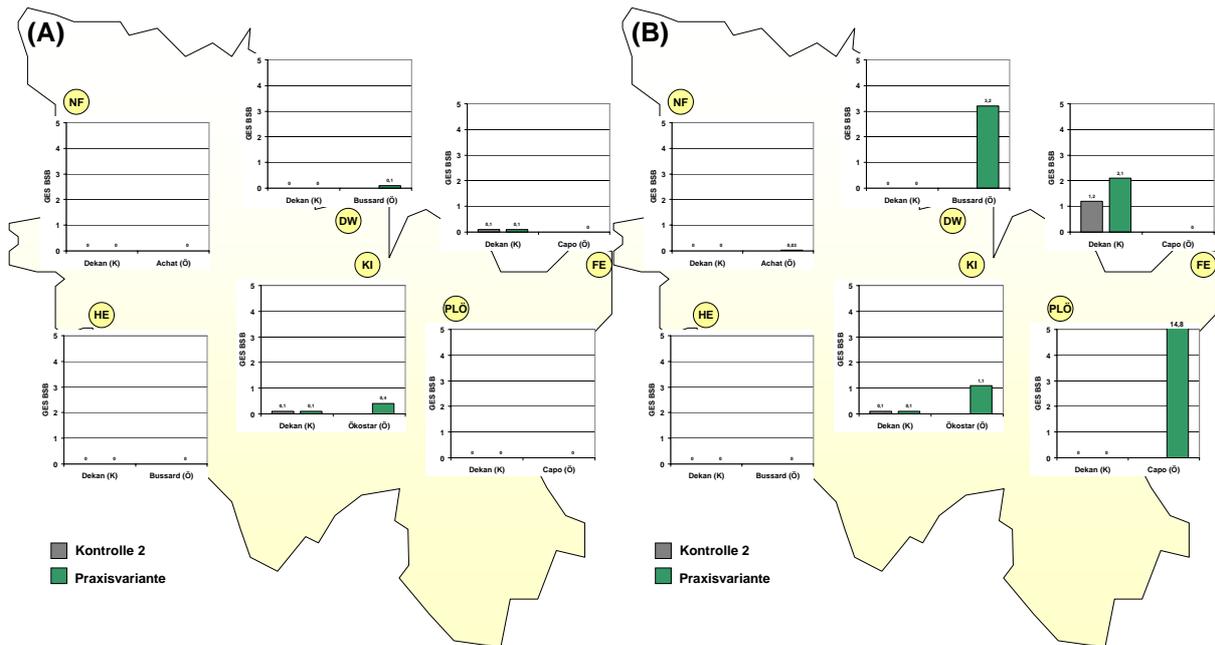


Abb. B12 Ausgangsbefall (A) zu EC 31 auf dem unteren Blattapparat (Blatttagen F-6 bis F-4) und Endbefall (B) zu EC 75 auf dem oberen Blattapparat (Blatttagen F-2 bis F) mit dem Erreger *Blumeria graminis* im Jahr 2004

d. *Puccinia recondita*

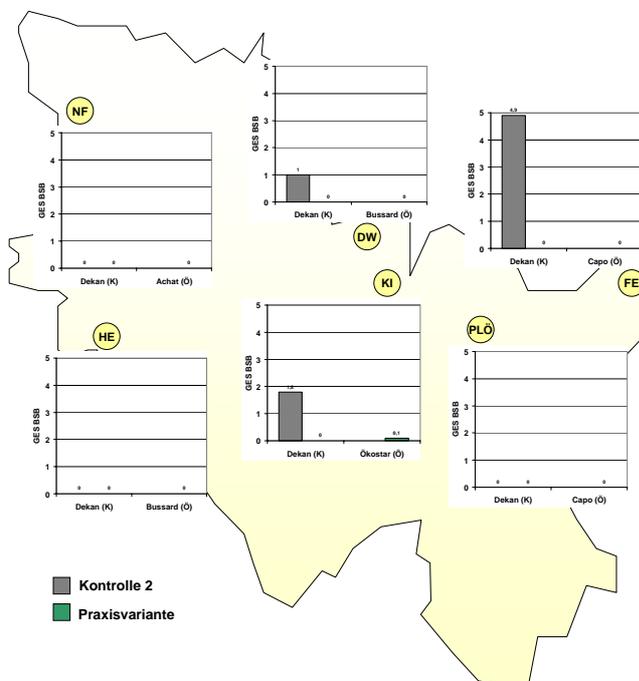


Abb. B13 Endbefall 2004 zu EC 75 mit *Puccinia recondita* auf dem oberen Blattapparat (Blatttagen F-2 bis F)

Der Erreger des Braunrostes war von untergeordneter Bedeutung. So wiesen im Jahr 2004 nur die unbehandelten Kontrollvarianten zum letzten Boniturtermin zu EC 75 der

konventionellen Wirtschaftsweise im Osten Schleswig-Holsteins geringe Befallswerte auf (Abb. B13), was auf die Anfälligkeit der Sorte „Dekan“ gegenüber dem Erreger zurückgeführt werden kann. In den Praxisvarianten konnte der potentielle Befall durch den Fungizideinsatz vollständig unterbunden werden. Ebenso waren die Bestände der ökologischen nicht befallen (Abb. B13).

5.3.2.2. Versuchsjahr 2004/2005

a. *Pseudocercospora herpotrichoides*

Der Befall mit dem Erreger des Halmbrochs war zur ersten Bonitur zu EC 32 sehr heterogen (Abb. B14) und es ist kein eindeutiges Befallsmuster erkennbar. Selbst sehr spät eingesäte Bestände z.B. FE (Ö) oder HE (Ö) wiesen einen mindestens gleich hohen Befall auf wie die deutlich früher etablierten Bestände der konventionellen Vergleichsbetriebe. Hingegen ist am Standort Kiel in der ökologischen Variante kein Befall zu diesem Termin festzustellen, obwohl der Bestand zum fast gleichen Termin (2 Tage Unterschied) (Tab. B4) gedrillt wurde wie der konventionelle Vergleichsbestand. Beim Endbefall waren die Kontrollen stärker befallen als die Praxisvarianten der konventionellen Wirtschaftsweise. Die ökologischen Varianten weisen keine Unterschiede auf. Im Mittel weisen diese aber einen geringeren Endbefall als die konventionellen Vergleichsvarianten. Eine Abhängigkeit von Saatzeit und Fruchtfolgegestaltung ist hier wieder gegeben.

b. *Septoria tritici*

Im Versuchsjahr 2004/2005 konnte der Erreger *S. tritici* schon im Herbst 2004 an fast allen Versuchsstandorten nachgewiesen werden (Abb. B15). Insbesondere die früh gesäten konventionellen Bestände wiesen schon vor dem Winter einen bedeutenden Befall mit dem Erreger auf. Die ökologischen Bestände, die in ihrer Entwicklung weniger fortgeschritten waren, waren nicht so stark bis gar nicht befallen. Alle im Herbst befallenen Bestände wiesen dann zur ersten Bonitur zu EC 32 im Frühjahr 2005 einen erheblichen Befall auf (Abb. B16). Damit hatte *S. tritici* in Hinblick auf die Epidemiestärke und Schadwirkung einen bedeutenden Einfluss, erkennbar an den hohen Befallswerten von bis zu 2050 Pyknidien auf dem oberen Blattapparat zu EC 75 (Abb. B17). Der höhere Befall der Sorte Bussard begründet auf den Sortenunterschieden zwischen Dekan und Bussard (Tab. B1) wird an allen Standorten und Varianten deutlich. Schon beim Ausgangsbefall auf den unteren Blattetagen weist die Sorte Bussard einen erheblich höheren Befall auf (Abb. B16), welcher sich bis zum Vegetationsende auf einen bis zu dreimal stärkeren Befall gegenüber Dekan ausweitet. Deutlich erkennbar sind die Auswirkungen der Saatzeiten (vgl. Tab. B4). Nahezu alle ökologischen Varianten, welche im Mittel 21 Tage später ausgesät wurden, weisen einen deutlich geringeren Ausgangsbefall (Ausnahme Standort NF, Sorte Dekan) auf, welcher am Ende in einen geringeren Endbefall gegenüber der konventionellen Vergleichskontrolle (Kontrolle 1) resultiert (Ausnahme Standort Kiel, Sorte Bussard). Die mit Fungiziden behandelten konventionellen Praxisvarianten weisen mit Abstand den geringsten Endbefall auf (Abb. B17).

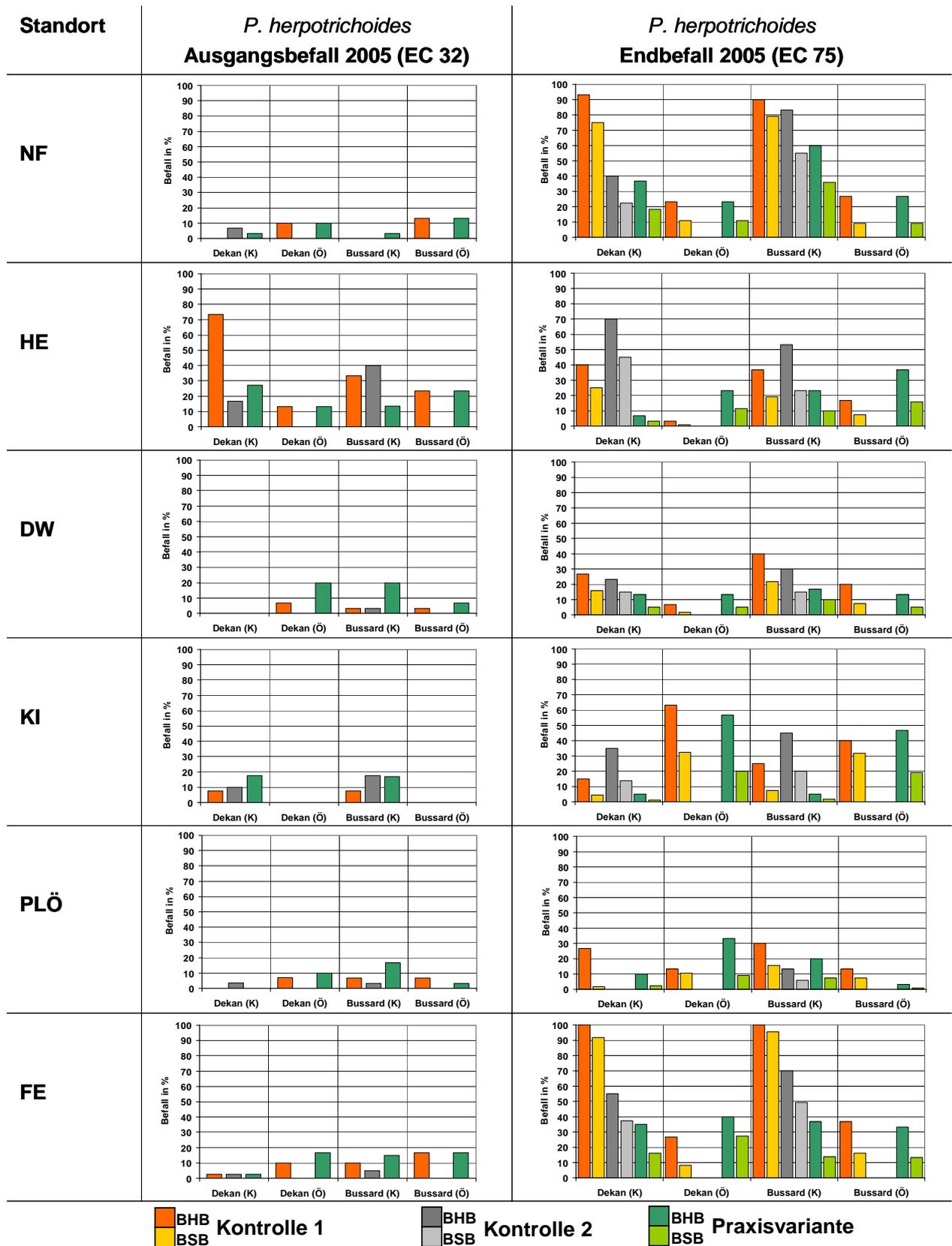


Abb. B14 Ausgangs- (EC 32) und Endbefall (EC 75) mit dem Halmbrucherreger *Pseudocercospora herpotrichoides* im Jahr 2005

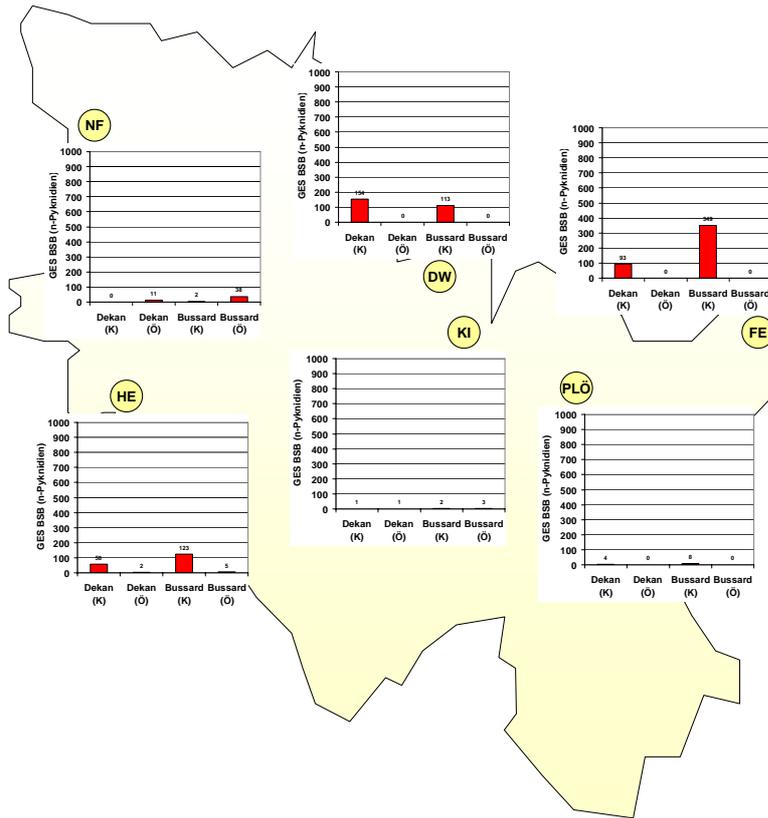


Abb. B15 Herbstbefall mit *Septoria tritici* auf dem gesamten Blattapparat der Pflanze im November 2004

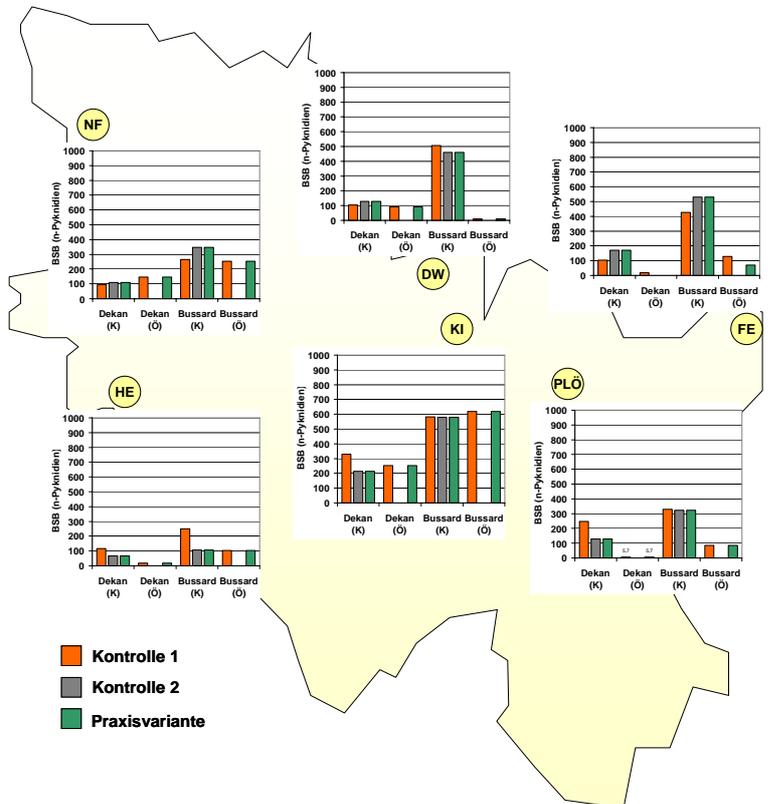


Abb. B16 Ausgangsbefall mit *Septoria tritici* auf dem unteren Blattapparat (Blattetagen F-4 bis F-6) zu EC 31 im April 2005

c. *Blumeria graminis*

Der Befall mit *Blumeria graminis* stellte sich im Herbst 2004 regional sehr unterschiedlich dar. Die Westküstenstandorte wiesen keinen Befall auf hingegen nahm der Befall in Richtung Osten zu. Am Standort Fehmarn war der höchste Befall zu verzeichnen. Ein früher Saattermin (Mitte September) und die anhaltende warme Witterung förderten den Befall. Der zweithöchste Befall wurde am Standort Dänischer Wohld, ebenfalls in der konventionellen Variante beider Sorten bonitiert. Die Standorte Plön und Kiel wiesen nur einen geringen Meltaubefall auf (Abb. B18).

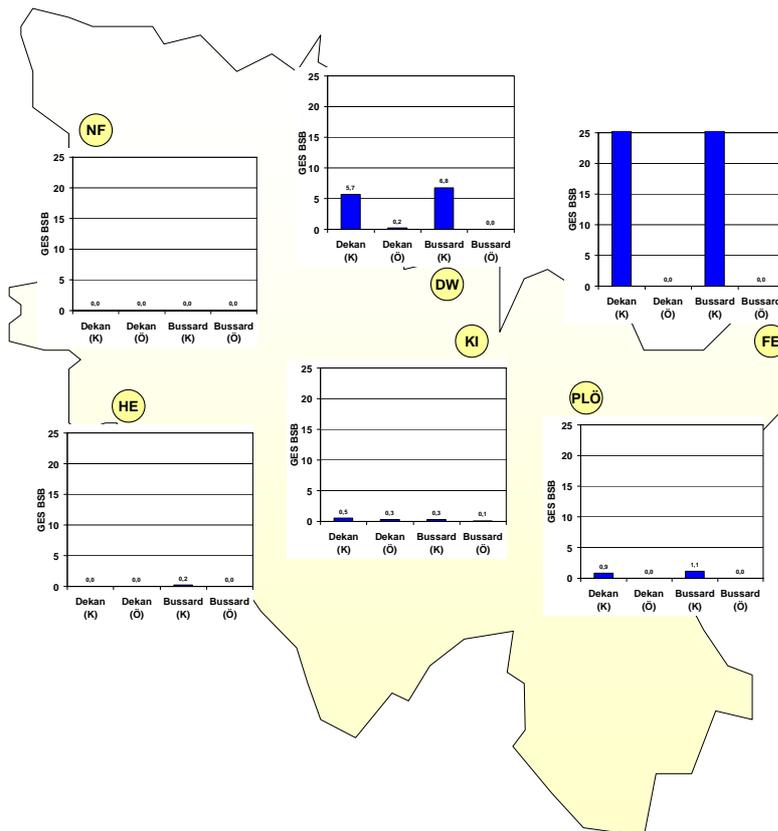


Abb. B18 Herbstbefall mit *Blumeria graminis* auf dem gesamten Blattapparat der Pflanze im November 2004

Über die Wintermonate mit unterdurchschnittlichen Temperaturen ab Februar (Abb. B8) reduzierte sich der Mehltaubefall an den im Herbst stark befallenen Standorten. Bei der ersten Bonitur zu EC 31 im Frühjahr 2005 wurde trotzdem an fast allen Standorten ein Befall mit *B. graminis* festgestellt (Ausnahme Standort HE). Neben dem Befall aller Varianten Standort FE wurde der höchste Befall in den konventionellen Varianten am Standort KI bonitiert (Abb. B19). Aber auch die ökologische Variante in NF, eine „Gesundlage“ hatte einen Befall von 1,1–1,7 % zu verzeichnen. Dieser reduzierte sich bis zum Ende der Bonituren zu EC 75 im Juli 2005. Nur am Standort FE war ein bedeutender Befall von 4,4% in der konventionellen Kontrolle 2 der Sorte Bussard feststellbar. Durch den Fungizideinsatz konnten an allen Standorten der Befall erheblich reduziert werden (Abb. B20). Die Sorte Bussard hatte aufgrund der Sorteneigenschaften wieder einen stärkeren Befall zu verzeichnen.

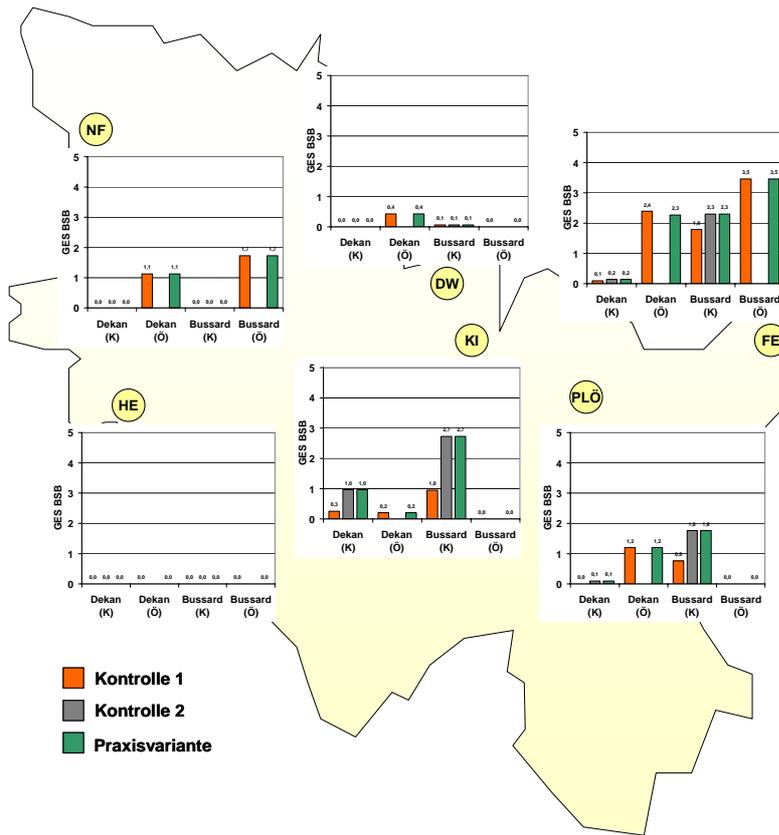


Abb. B19: Ausgangsbefall mit *Blumeria graminis* auf dem unteren Blattapparat (Blattetagen F-4 bis F-6) zu EC 31 im April 2005

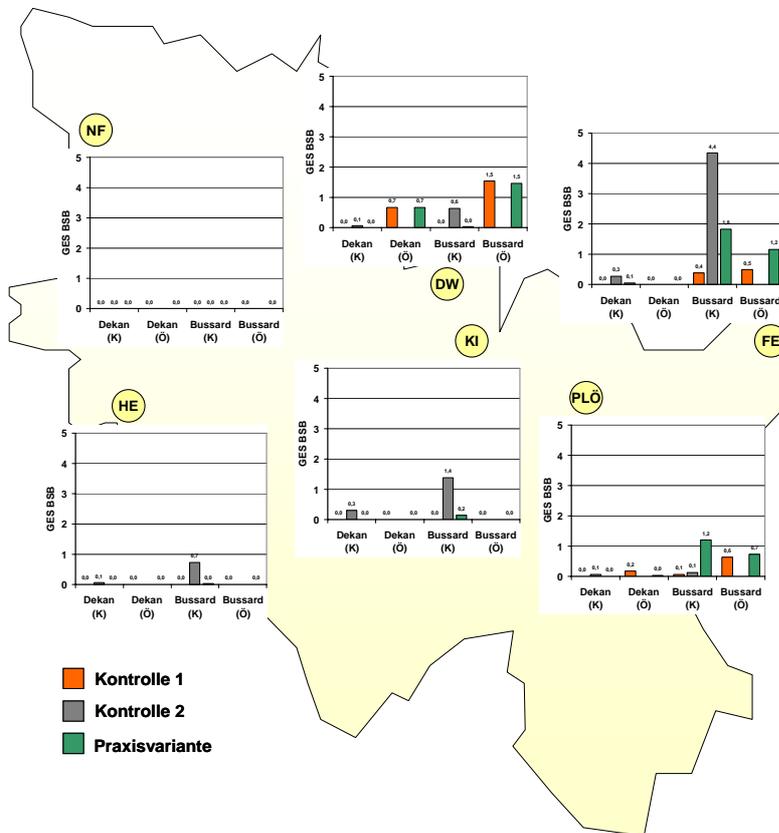


Abb. B20: Endbefall mit *Blumeria graminis* auf dem oberen Blattapparat (Blattetagen F-2 bis F) zu EC 75 im Juli 2005

d. *Puccinia recondita*

Der Erreger des Braunrostes konnte weder im Herbst 2004 noch zur ersten Bonitur im darauf folgenden Frühjahr zu EC 31/32 an einem Standort festgestellt werden. Erst über die Vegetationszeit konnte sich zum Ende der Bonituren ein geringer Befall mit dem obligat biotrophen Erreger entwickeln. Insbesondere die ökologischen Varianten der Standorte Kiel, Plön und Fehmarn waren befallen. Die konventionellen Kontrollvarianten waren hingegen nicht oder nur sehr gering befallen (Abb. B21). Die Praxisvarianten im konventionellen Anbau waren aufgrund des Fungizideinsatzes gesund.

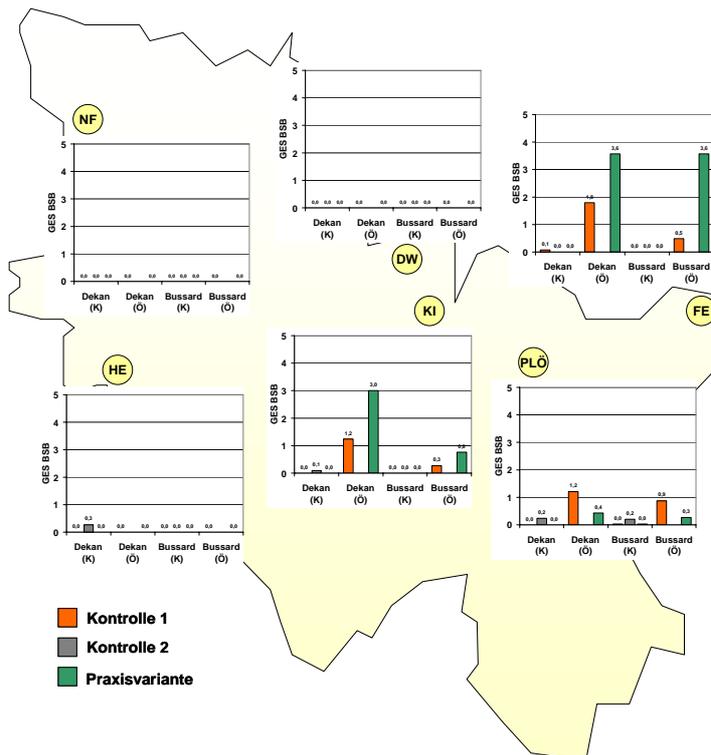


Abb. B21 Endbefall mit *Puccinia recondita* auf dem oberen Blattapparat (Blattetagen F–2 bis F) zu EC 75 im Juli 2005

5.3.2.3. Versuchsjahr 2005/2006

a. *Pseudocercospora herpotrichoides*

Im Versuchsjahr 2005/2006 konnte der Halmbrucherreger an allen Standorten festgestellt werden. Die früh gedrillten konventionellen Varianten waren zur ersten Bonitur erheblich stärker befallen als die ökologischen Varianten. Der Färbetest nach Mauler und Machnik wies Befallshäufigkeiten von bis zu 80 % Ausgangsbefall auf. Insbesondere an den Blattscheiden Pflanzen des Standorts HE konnte der Erreger in hohem Maß festgestellt werden. Der Endbefall spiegelte den Ausgangsbefall vom Frühjahr wieder: Die konventionellen Varianten waren auf fast allen Standorten 2–3mal häufiger befallen als die ökologischen. Durch den Einsatz von Halmstabilisatoren konnte jedoch kein Lager gegen Vegetationsende festgestellt

werden, obwohl auch die Befallsstärke im Konventionellen um ein vielfaches höher lag (Abb. B22).

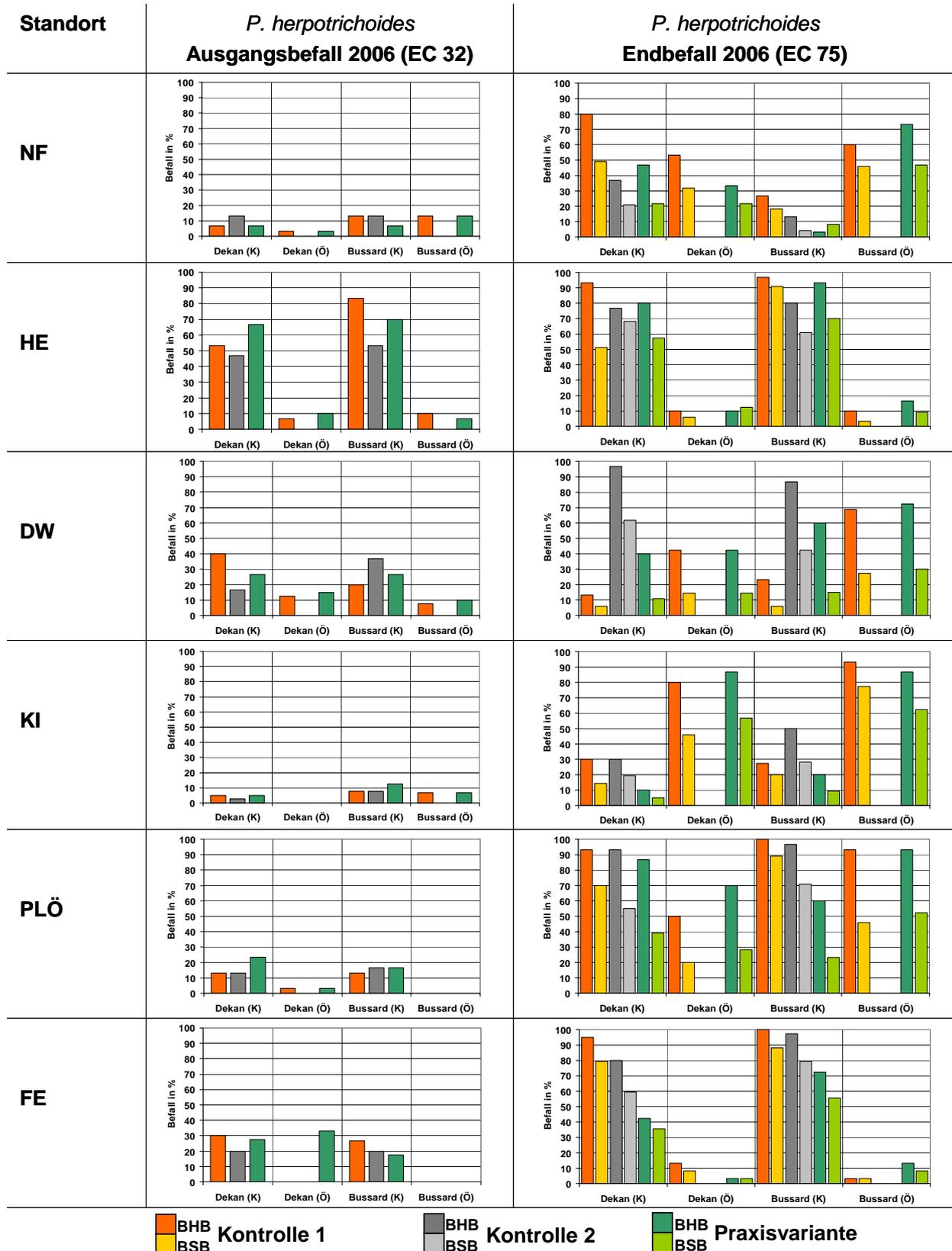


Abb. B22 Ausgangs- (EC 32) und Endbefall (EC 75) mit dem Halmbrucherreger *Pseudocercospora herpotrichoides* im Jahr 2006

b. Septoria tritici

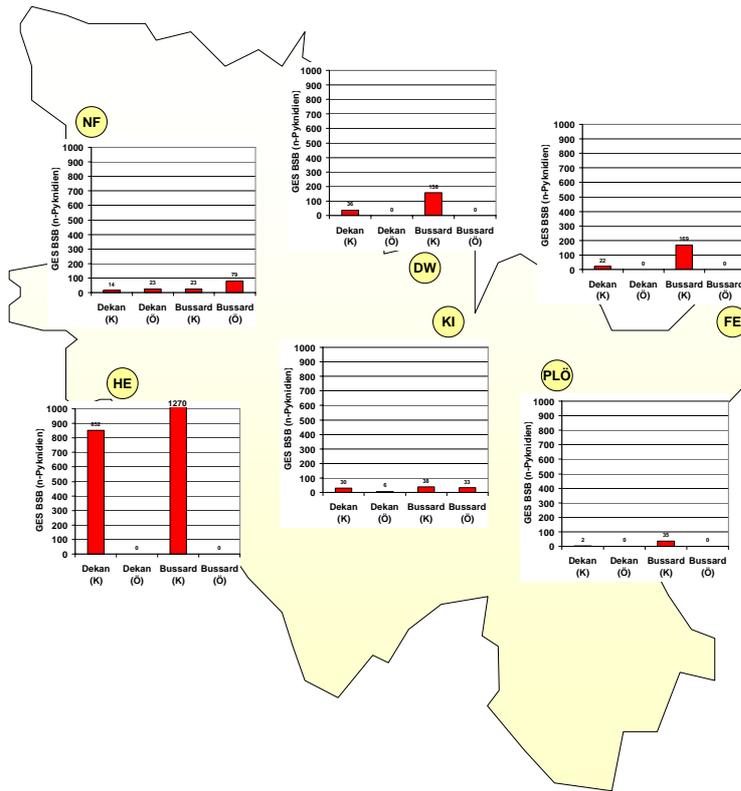


Abb. B23 Herbstbefall mit *Septoria tritici* auf dem gesamten Blattapparat der Pflanzen im November 2005

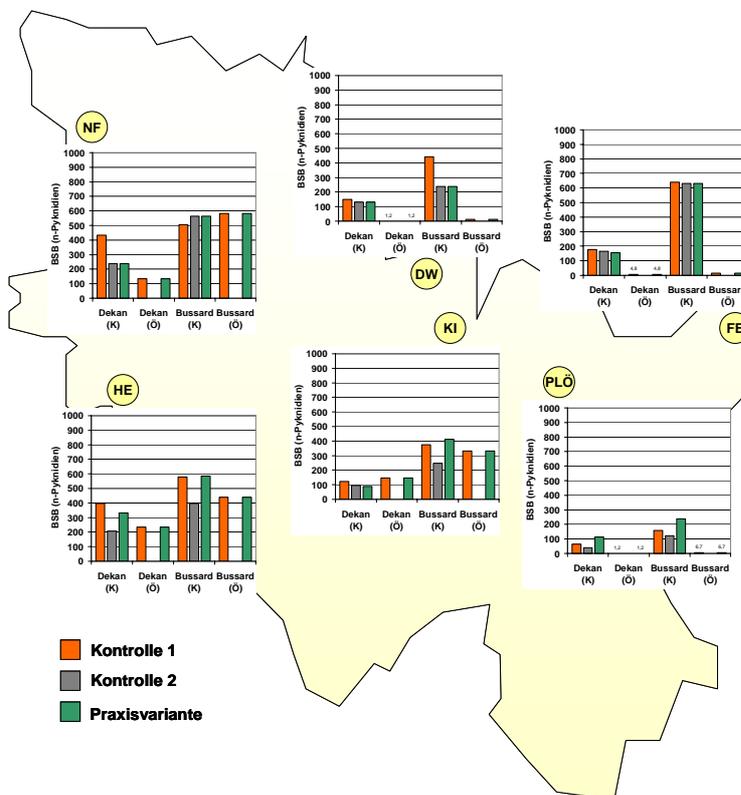


Abb. B24 Ausgangsbefall mit *Septoria tritici* auf dem unteren Blattapparat (Blattetagen F-4 bis F-6) zu EC 31 2006

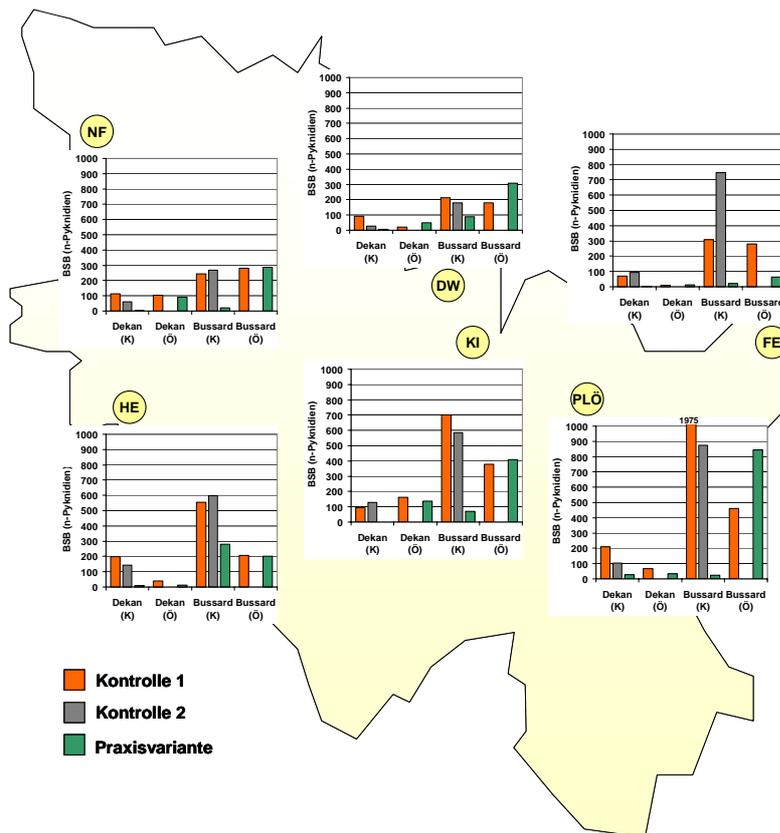


Abb. B25 Endbefall mit *Septoria tritici* auf dem oberen Blattapparat (Blattetagen F–2 bis F) zu EC 75 2006

Im Rahmen des nachzuweisenden Erregerspektrums stellte *Septoria tritici* wiederum das Hauptschadpathogen dar, erreichte aber im Gegensatz zum Versuchsjahr 2004/2005 ein geringeres Epidemieniveau. Bei der Bonitur im November 2005 war schon ein Befall auf den Pflanzen der konventionellen Wirtschaftsweise feststellbar. Diese Pflanzen waren durch die frühere Aussaat, wie in den vorangegangenen Jahren auch, stärker entwickelt und hatten einen kräftigeren Blattapparat. Die höchste Befallsstärke (BSB) im Herbst hatte der Standort HE (K) in beiden Sorten zu verzeichnen (Abb. B23). Der Ausgangsbefall für die Vegetation im Frühjahr 2006 war insbesondere in der Sorte Bussard auf allen konventionell wirtschaftenden Betrieben höher als im vorherigen Jahr (Abb. B24). Hingegen fiel der Endbefall auf den Blattetagen F–2 bis F an den Standorten NF, HE und DW geringer aus. Wiederum weisen die ökologischen Varianten einen geringeren Ausgangsbefall zu EC 31 (Ausnahme Standort Kiel) und einen, gegenüber der unbehandelten Kontrolle, geringeren Endbefall auf. Die Sortenunterschiede zwischen Bussard und Dekan sind ebenfalls im Jahr 2006 ersichtlich und die Fungizidmaßnahmen in der konventionellen Praxisvariante reduzierten die Pyknidienzahlen erheblich (Abb. B25).

d. *Blumeria graminis*

Aufgrund der milden Witterung im Herbst 2005 entwickelte sich auf den jungen Pflanzen aller Standorte und Varianten ein erheblicher Befall mit *B. graminis*. Die Westküstenstandorte NF und HE wiesen dabei den geringsten Befall auf. Im Binnenland, insbesondere am Standort Kiel war eine hohe Befallsstärke bonitierbar. Die Blätter, vor allem die älteren, der Pflanzen

waren bis zu 40% mit dem Myzel des Erregers bedeckt. Nur die jüngsten Blätter waren befallsfrei.

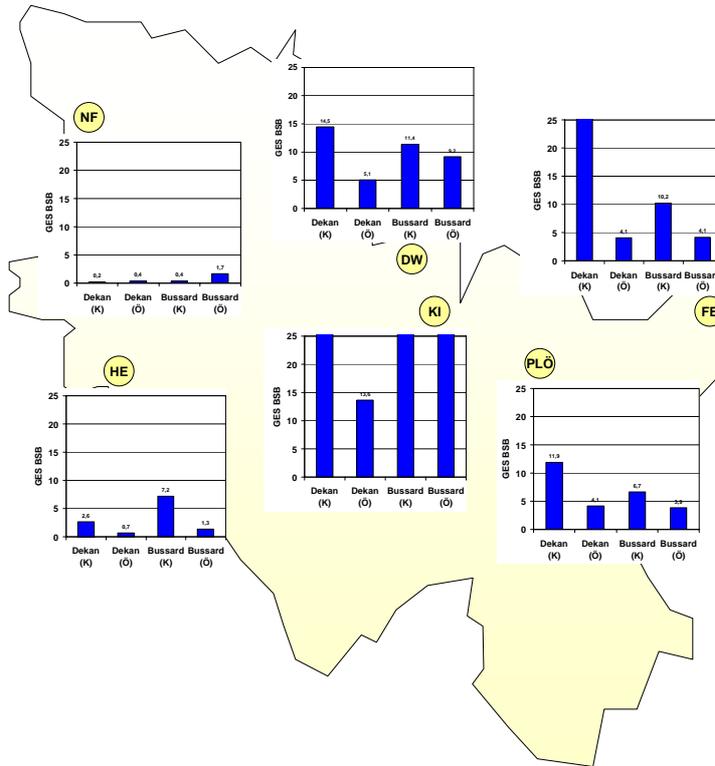


Abb. B26 Herbstbefall mit *Blumeria graminis* auf dem Blattapparat der Pflanze im November 2005

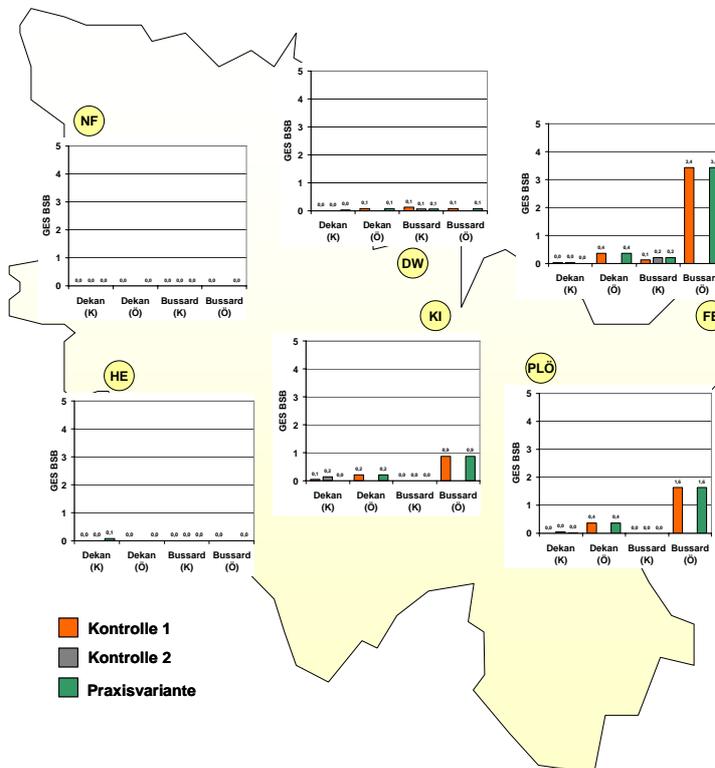


Abb. B27: Ausgangsbefall mit *Blumeria graminis* auf dem unteren Blattapparat (Blattetagen F-4 bis F-6) zu EC 32 an allen Standorten 2006

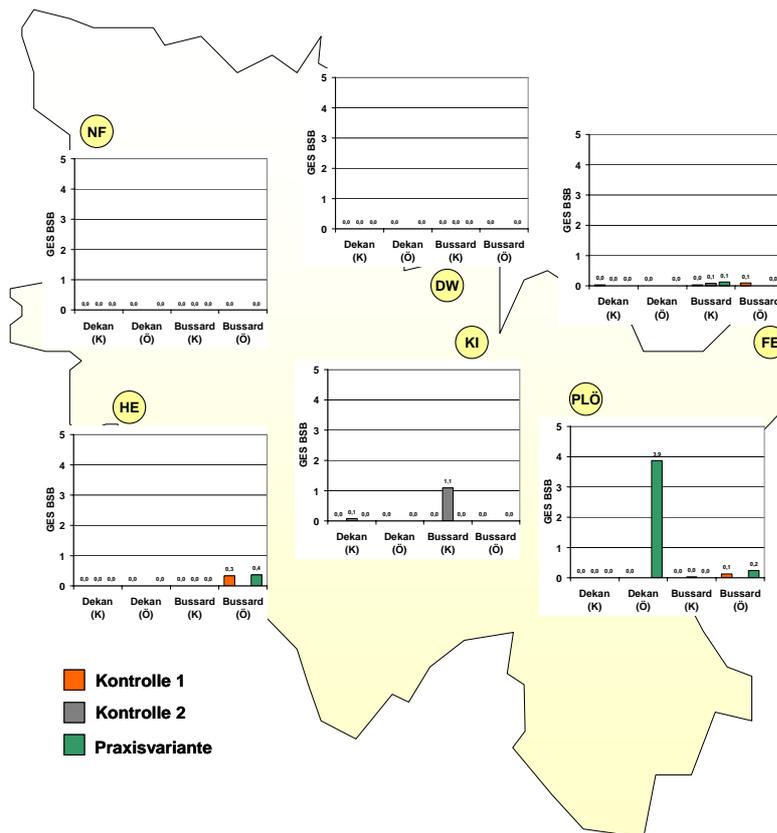


Abb. B28 Endbefall mit *Blumeria graminis* auf dem oberen Blattapparat (Blattetagen F–2 bis F) zu EC 75 im Juli 2006

Die ab Dezember 2005 einsetzende kalte und trockene Witterung mit unterdurchschnittlichen Temperaturen reduzierte den Mehltaubefall an allen Standorten. Zur ersten Bonitur im Frühjahr waren die Pflanzen fast aller Standorte wieder visuell befallsfrei. Nur am Standort FE war ein höherer Befall feststellbar. Über den Sommer, der überdurchschnittliche warme Temperaturen und unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen aufwies, reduzierte sich der Mehltaubefall weiter. Nur vereinzelt trat zu EC 75 noch ein Befall auf (Abb. B28)

d. *Puccinia recondita*

Im Versuchsjahr 2006 entwickelte sich bis zur letzten Bonitur ein, gegenüber den vorangegangenen Versuchsjahren 2004 und 2005, stärkerer Befall mit *Puccinia recondita*. War im Frühjahr 2006 noch kein Befall mit dem Erreger festzustellen, so stieg innerhalb kurzer Zeit (ab Anfang Juni) dieser schnell an und war zum Ende der Bonituren zu EC 75 an jedem Standort und in fast jeder Variante vorhanden. Die Sorte Dekan hatte dabei höhere Befallsstärken zu verzeichnen als die Sorte Bussard. Dies liegt in den unterschiedlich stark ausgeprägten Resistenzen gegenüber dem Braunrosterreger begründet (Tab. B1). Ein Einfluss des Bewirtschaftungssystems kann unter Betrachtung der Kontrollen nicht direkt abgeleitet werden. Die konventionellen Praxisvarianten haben aufgrund des Fungizideinsatzes eine geringere Befallsstärke.

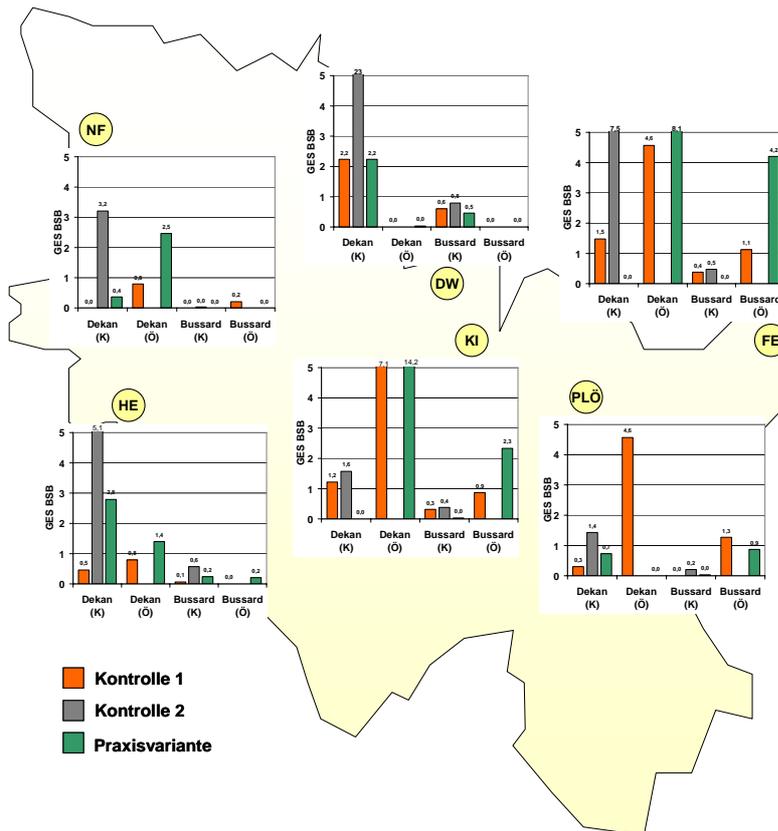


Abb. B29 Endbefall mit *Puccinia recondita* auf dem oberen Blattapparat (Blatttagen F-2 bis F) zu EC 75 im Juli 2006

5.3.3. Unkrautvorkommen und Entwicklung

5.3.3.1. Einordnung der Unkräuter in die Systematik

Die vorgefundenen Unkräuter lassen sich untergliedern in die Klasse der einjährigen Ruderal- und Ackerunkrautgesellschaften (*Stellarietea mediae*), in die Ordnung der Windhalm-Gesellschaften (*Aperetalia spicae-ventii*), in den Verband der Ackerfrauenmantel-Gesellschaften (*Aphanion arvensis*) und schließlich in die Echte Kamillen-Assoziation (*Aphano-Matricarietum chamomillae*). Diese Assoziation ist die häufigste Pflanzengesellschaft des Wintergetreides und durch das Auftreten der Echten Kamille gut gekennzeichnet. Generell findet man diese Unkrautgesellschaft auf kalkarmen, mindestens mäßig mit Nährstoffen versorgten Lehm-, Ton-, und Sandböden. Auch auf feuchten und verdichteten Böden ist diese Assoziation vertreten. Alle Standorte des östlichen Hügellands sind durch diese Assoziation gekennzeichnet. Die Standorte der Marsch, also die vier Betriebe in Nordfriesland und Heide, gekennzeichnet durch gute Nährstoffversorgung und neutrale bis schwach basische Böden (Hofmeister und Garve, 1986), können noch weiter in die Subassoziation Ackerfuchsschwanz-Kamillen-Assoziation (*Alopecuro-Matricarietum*) untergliedert werden.

5.3.3.2. Erste Bonitur: Monocotyle Unkräuter

Bei den Bonituren im Vorwinter wurden folgende einkeimblättrige Arten festgestellt: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Poa annua* und *Lolium perenne*. Das Problemungras *Alopecurus myosuroides* wuchs allerdings lediglich auf vier Versuchsflächen: Auf den konventionell bewirtschafteten Betrieben der Paare Nordfriesland, Heide und Fehmarn sowie auf dem ökologisch wirtschaftenden Betrieb Fehmarns. Die höchste mittlere Ackerfuchsschwanzdichte mit 80,4 Pflanzen/m² wies die konventionelle Fläche in Nordfriesland auf. Auf den anderen Betrieben waren geringere Ackerfuchsschwanzdichten von 21,7 Pflanzen/m² bei Heide (konventionell), 9,1 Pflanzen/m² auf Fehmarn (konventionell) und lediglich 3,9 Pflanzen/m² auf dem ökologisch wirtschaftenden Betrieb in Nordfriesland festgestellt worden. Die Verunkrautung durch *Apera spica-venti* spielte auf den untersuchten Flächen keine Rolle. Lediglich auf beiden Flächen im Dänischen Wohld wurden in der unbehandelten Kontrolle 1 im Mittel 0,5 Pflanzen/m² (ökologisch) und 0,22 Pflanzen/m² (konventionell) gezählt. Außerdem wurden auf vier weiteren Betrieben in verschwindend geringer Dichte *Apera spica-venti* gezählt. Die Jährige Rispe *Poa annua* trat im Herbst nur sehr vereinzelt auf den konventionellen Betrieben bei Eckernförde und Kiel auf. Auf den ökologisch wirtschaftenden Betrieben trat fruchtfolgebedingt noch teilweise Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) auf.

5.3.3.3. Erste Bonitur: Dicotyle Unkräuter und Gesamtartenzahl

Bei den zweikeimblättrigen Unkräutern konnten ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben festgestellt werden. So wurden auf allen ökologischen Betrieben im Herbst 27 verschiedene Arten gezählt, während auf den konventionellen Betrieben lediglich 19 Arten festgestellt wurden. Insgesamt wurden im Herbst 32 verschiedene Arten bonitiert. Bei allen Betriebspaaren war die dicotyle Artenvielfalt ebenso wie die Gesamtartenvielfalt bei den ökologisch wirtschaftenden Betrieben höher.

Tab. B17: Artenzahlen (Gesamtartenzahl und Anzahl dicotyler Arten) auf den ökologischen und konventionellen Flächen im Herbst

Standort	Wirtschaftsweise	Gesamtartenzahl	dicotyle Arten
NF	(K)	9	8
	(Ö)	13	12
HE	(K)	7	6
	(Ö)	9	8
DW	(K)	9	7
	(Ö)	10	9
KI	(K)	13	12
	(Ö)	16	15
PLÖ	(K)	7	7
	(Ö)	12	11
FE	(K)	6	5
	(Ö)	14	13

Im Durchschnitt wurden auf den konventionell bewirtschafteten Flächen 7,67 Arten gezählt, auf den ökologischen Flächen 11,33 Arten. Die höchste Artenvielfalt wurde auf dem ökologischen Betrieb bei Kiel (KI [Ö]) beobachtet. Dort wuchsen 16 Arten, davon 15 dicotyle Unkrautarten (Tab. B17). Die geringste Artenzahl mit 5 verschiedenen dicotylen Unkrautarten (Gesamtartenzahl=6) wurde auf dem konventionellen Betrieb bei Fehmarn (FE [K]) gezählt (Tab. B17). Die Unkrautdichte ist im Mittel auf den Schlägen der ökologischen Betriebe am höchsten. Mit Ausnahme des konventionellen Betriebspaars in Nordfriesland keimen im Durchschnitt auf den unbehandelten Parzellen hochsignifikant ($p < 0,01$) mehr Unkräuter auf den ökologischen Flächen. Die geringste Unkrautdichte mit durchschnittlich 5,4 Pflanzen/m² wies der konventionelle Betrieb im Dänischen Wohld (DW [K]), die höchste der konventionelle Betrieb in Nordfriesland (NF [K]) mit 419 Pflanzen/m² auf. Im Gegensatz dazu hatte bei den ökologisch bewirtschafteten Flächen die niedrigste Unkrautdichte bei den ökologischen Flächen hatte der Betrieb in Nordfriesland (NF [Ö]). Dort wurden 38 Pflanzen/m² gezählt. Die höchste Unkrautdichte bei den ökologisch wirtschaftenden Betrieben wurde mit 398 Pflanzen/m² auf der Fläche bei Plön (PLÖ [Ö]) festgestellt. Die hohe Unkrautdichte auf dem konventionellen Betrieb in NF wurde durch sehr hohen Besatz von *Alopecurus myosuroides*, und von *Stellaria media* verursacht

Im Durchschnitt keimten auf allen konventionell bewirtschafteten Flächen 114,9 Unkräuter/m². Auf den ökologisch geführten Flächen keimten hingegen 194,7 Unkräuter/m². Auch bei den Sorten zeichnete sich ein, wenn auch geringerer, Unterschied ab. Während im Mittel auf den 12 Betrieben in der Kontrolle 1 der Sorte Bussard 114,3 Pflanzen/m² keimten, waren es in der Sorte Dekan 126,7 Pflanzen/m² (+ 10,9 %). Dieser Unterschied konnte jedoch nicht statistisch abgesichert werden.

In der Abbildung B30 sind die absoluten Zahlen/m² der am häufigsten vorkommenden Unkräuter aufgeführt (Unkrautdichten).

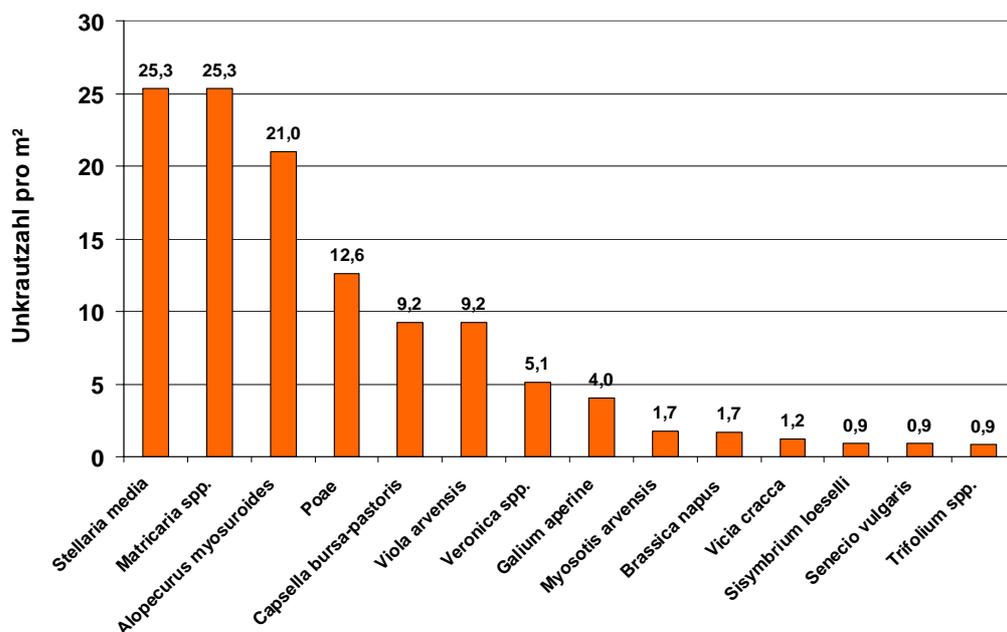


Abb.B30 Mittlere Unkrautzahlen pro Quadratmeter über alle konventionellen und ökologischen Flächen im Herbst in der Kontrolle 1 („Nullparzelle“)

Betrachtet man die häufigsten Unkräuter differenziert bei den ökologischen und den konventionell bewirtschafteten Flächen, so ergeben sich Unterschiede. Die Unkräuter, die einen Anteil von mehr als einem Prozent an der Gesamtzahl ausmachen, sind in Tabelle B18 hervorgehoben.

Tab. B18 Unkrautzahlen im Herbst unterteilt nach Bewirtschaftungsform

Unkrautart	Summe ökolog.	Anteil in %	Unkrautart	Summe konv.	Anteil in %
<i>Matricaria spp.</i>	5881	18,41	<i>Stellaria media</i>	5952	18,63
<i>Poa</i>	4300	13,46	<i>Ackerfuchsschwanz</i>	4349	13,62
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1983	6,21	<i>Viola arvensis</i>	1608	5,03
<i>Stellaria media</i>	1945	6,09	<i>Galium aparine</i>	858	2,69
<i>Veronica spp.</i>	1355	4,24	<i>Brassica napus</i>	462	1,45
<i>Viola arvensis</i>	385	1,21	<i>Matricaria</i>	438	1,37
<i>Vicia cracca</i>	270	0,85	<i>Myosotis arvensis</i>	282	0,88
<i>Trifolium spp.</i>	192	0,60	<i>Senecio vulgaris</i>	204	0,64
<i>Galium aparine</i>	113	0,35	<i>Sisymbrium loeselli</i>	202	0,63
<i>Myosotis arvensis</i>	102	0,32	<i>Veronica spp.</i>	200	0,63
<i>Polygonum persicaria</i>	99	0,31	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	7	0,02

Während im konventionellen Ackerbau besonders *Alopecurus myosuroides* einen großen Anteil an der Gesamtzahl der Unkräuter ausmacht, spielt er im ökologischen Landbau kaum eine Rolle. Die Position *Poa* (Gräser) bei den ökologischen Flächen setzt sich zusammen aus Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*), Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*), Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) und anderen Wiesengräsern, die fruchtfolgebedingt im Getreide auftauchen. Demgegenüber tritt *Brassica napus* ausschließlich auf den konventionellen Flächen auf, da Winterraps im ökologischen Anbau bisher kaum eine Rolle spielt. *Matricaria spp.*, im ökologischen Landbau an erster Stelle stehend, erreicht im konventionellen Landbau nur den siebten Rang, da sie relativ einfach zu bekämpfen ist. *Capsella bursa-pastoris*, bei ökologischer Wirtschaftsweise an dritter Stelle mit einem Anteil von 6,21 %, steht im konventionellen Landbau nur an zwölfter Position mit einem verschwindend geringen Anteil von 0,02 %, hier in der Tabelle nicht mehr mit aufgeführt. Das *Galium aparine*, welches auf den konventionellen Flächen relativ stark vertreten ist (2,69 %), taucht im ökologischen Landbau sehr viel seltener auf (0,35 %).

5.3.3.4. Unkrautregulierung im Herbst

a. chemisch

Der Wirkungsgrad des Herbizids wurde in den Versuchen folgendermaßen gemessen: Berechnet wurde der Mittelwert der Unkrautzahlen in sämtlichen Kontrollen beider Weizensorten an einem Standort. Dieser Zahl wurde der Mittelwert der Unkrautzahlen aller Praxisvarianten des Standorts gegenübergestellt. Enthielt die Praxisvariante beispielsweise 10% der Unkrautzahlen der Kontrolle, war der berechnete Wirkungsgrad der Herbizidmaßnahme 90%. Diese Methode entspricht nicht der gängigen Messung der Wirkungsgrade eines Herbizids und ist daher nicht vergleichbar mit Ergebnissen der Pflanzenschutzindustrie, die auf einer Fläche einen Vorher-Nachher-Vergleich durchführen.

Die Ermittlung der Wirkungsgrade ist jedoch nicht Teil dieser Untersuchung, sie dient hier lediglich dem Vergleich der Behandlungen innerhalb der untersuchten Flächen.

Ermittelt man nun die Reduktion der Unkrautdichte mit der beschriebenen Methode, so ergeben sich folgende Wirkungsgrade bei den sechs konventionellen Betrieben:

Tab. B19 Wirkungsgrade der eingesetzten Herbizide auf den konventionellen Flächen im Herbst

Standort (konventionell)	Wirkungsgrad in %
KI	99,97
PLÖ	97,56
HE	89,92
FE	80,47
NF	69,37
DW	68,04

Die Reduktion der Unkrautdichte schwankt hier relativ stark von nahezu 100 % am Standort bei Kiel bis lediglich 68 % im Dänischen Wohld. Betrachtet man die Wirkungsgrade, wären nur die Flächen in Kiel und Plön ausreichend in der Unkrautbekämpfung, da die Reduktion der Unkrautdichte eines Herbizids bei 90% liegen sollte (Baeumer, 1992). Allerdings kommt es beim Einsatz des Herbizids in erster Linie darauf an, die Unkrautdichte unter die jeweiligen Schadensschwellen zu reduzieren, was in den meisten Fällen jedoch einem Wirkungsgrad von 90–98% gleichkommt.

b. mechanisch

Der ökologisch wirtschaftende Betrieb bei Kiel war der einzige, der bereits im Herbst eine Regulierung der Unkräuter durch den Einsatz eines Striegels durchführte. Der Erfolg hielt sich bei dieser Maßnahme in Grenzen, da die Unkrautdichte, berechnet nach oben beschriebener Methode, um lediglich 7,38 % reduziert wurde. Auch optisch war zwischen unbehandelter Kontrolle 1 und Praxisvariante kein Unterschied zu erkennen, außer dass sich in der Kontrolle 1 auch größere Unkrautpflanzen befanden, während die Unkräuter in der Praxisvariante gerade aus dem Keimblattstadium herausgewachsen waren. Die Unkrautdeckungsgrade unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Kontrolle 1: 4,50 %; Variante 3: 4,44 %).

5.3.3.5. Zweite Bonitur: Unkrautvorkommen

Wurden im Herbst noch 32 verschiedene Arten bonitiert, waren es nach Vegetationsbeginn Ende April bis Anfang Mai bereits 45 verschiedene Unkräuter, die es zu bestimmen galt. Die Arten *Ranunculus repens* und *Raphanus sativa*, Zwischenfrucht auf zwei ökologisch wirtschaftenden Betrieben, wurden im Mai nicht mehr beobachtet. Dafür wurden folgende Arten neu aufgenommen:

<i>Bidens tripartita</i>	–	Dreiteiliger Zweizahn
<i>Cerastium arvense</i>	–	Ackerhornkraut
<i>Chenopodium album</i>	–	Weißer Gänsefuß

<i>Equisetum arvense</i>	–	Acker-Schachtelhalm
<i>Erodium cicutarium</i>	–	Schierlings-Reiherschnabel
<i>Fumaria officinalis</i>	–	Gemeiner Erdrauch
<i>Galeopsis tetrahit</i>	–	Gemeiner Hohlzahn
<i>(Medicago sativa</i>	–	Luzerne)
<i>Papaver rhoeas</i>	–	Klatschmohn
<i>Polygonum aviculare</i>	–	Vogelknöterich
<i>Raphanus raphanistrum</i>	–	Hederich
<i>Spergula arvensis</i>	–	Acker-Spörgel
<i>Tussilago farfara</i>	–	Huflattich

Zusätzlich wurden noch die beiden Ungrasarten *Digitaria ischaemum* und *Agropyron repens* gefunden. Bei allen Arten handelt es sich um hauptsächliche Frühjahrskeimer, *Polygonum aviculare* keimt bis in den Sommer hinein, *Fumaria officinalis*, *Papaver rhoeas* und *Agropyron repens* bis spät in den Herbst.

5.3.3.6. Zweite Bonitur: Das Artenspektrum

Durch die zahlreichen Frühjahrskeimer stieg die Artenzahl pro Betrieb im Mai noch deutlich an. Bis auf beide Standorte in Nordfriesland und den konventionellen Betrieb bei Eckernförde erhöhte sich die Artenzahl im Frühjahr. Auf den ökologischen Flächen in Heide (9→18) und Plön (12→24) verdoppelte sich die Zahl sogar. Im Durchschnitt betrug die Artenanzahl auf den konventionellen Flächen 8,2 Arten, während auf den ökologischen Flächen mehr als doppelt so viele Arten (18,2) bonitiert werden konnten. Die Unkrautzahlen pro Quadratmeter sind im Vergleich zum Herbst nicht verändert bzw. sind abgesunken. Besonders wenn sich die Unkräuter zum Vegetationsende noch im Keimblattstadium befanden, reduzierte sich die Zahl deutlich, wie zum Beispiel auf der ökologischen Fläche bei Plön, wo mehrere Hundert Kamillenkeimlinge/m² auswinteren und somit die Anzahl der Unkräuter drastisch von 398 auf ca. 77 Pflanzen/m² sank. Ein leichter Anstieg in der Unkrautzahl/m² konnte lediglich auf der konventionellen Fläche bei Kiel (48→69 Pflanzen/m²) und nahezu eine Verdopplung auf der ökologischen Fläche in Nordfriesland (38→71 Pflanzen/m²) festgestellt werden. Im Durchschnitt über alle Betriebe sank die Unkrautzahl/m² bei den konventionellen Flächen von 114,9 auf 81,1 Pflanzen/m² und bei den ökologischen Flächen von 194,7 deutlich auf 109,3 Pflanzen/m², verursacht, wie bereits erwähnt, durch Auswinterung von hauptsächlich Kamillenkeimlingen insbesondere auf der Fläche bei Plön.

Tab. B20 Veränderung der totalen Unkrautzahlen auf den ökologischen und konventionellen Flächen von November bis Mai

Unkrautzahlen/m ² Vor- und Nachwinter	Konventionell		Ökologisch	
	Herbst	Mai	Herbst	Mai
NF	419	249	38	71
HE	71	43	190	133
DW	5,4	2,8	55	29
KI	48	69	206	189
PLÖ	130	105	398	77
FE	16	18	281	289

Die einzige auf allen zwölf Versuchsflächen vorkommende Unkrautart war *Matricaria spp.*, auch wenn sie auf einigen Flächen im Durchschnitt mit weniger als 0,5 Pflanzen/m² wuchs. Mit deutlichem Abstand folgen *Stellaria media* und *Galium aparine* mit 9 Betrieben. *Veronica spp.*, *Viola arvensis* und *Poa annua* wuchsen auf 8 verschiedenen Betriebsflächen. Damit ist *Poa annua* in dieser Arbeit das meistverbreitete Ungras. Erwähnenswert ist weiterhin, dass die *Polygonum spp.* nahezu ausschließlich auf den ökologischen Flächen vorkamen. Die einzige Ausnahme bildete die konventionelle Fläche bei Kiel, auf der sowohl *Polygonum aviculare* als auch *Polygonum convolvulus* bonitiert wurden.

5.3.3.7. Zweite Bonitur: Feststellung der Auswinterung von Unkräutern

Wie die Kulturpflanze, so sind auch die Unkräuter der vorherrschenden Witterung ausgesetzt. Der Winter 2005/2006 war geprägt von längeren Frostphasen, die allerdings meistens durch eine mehrere Zentimeter dicke Schneedecke entschärft wurden. Trotzdem dezimierte der Winter einige Unkrautarten zum Teil deutlich. Wie oben erwähnt, ist die Empfindlichkeit gegenüber Frost besonders im Keimblattstadium sehr groß, da weder eine tiefe Durchwurzelung noch Reservestoffe vorhanden sind bzw. gebildet wurden. Andererseits ist eine zu weit fortgeschrittene Entwicklung ebenfalls ungünstig, da sich in der generativen Phase der jeweilige Vegetationskegel vom Boden absetzt und somit schutzlos den Temperaturen ausgesetzt ist. An den Standorten stiegen die Zahlen einiger Unkräuter im Mai im Vergleich zum November noch an, wie zum Beispiel bei *Agropyron repens*, das im Herbst noch gar nicht vertreten war und im Mai mit insgesamt 440 Pflanzen auf der ökologischen Fläche bei Fehmarn vorkam. Ähnliches gilt für den Windhalm (*Apera spica-venti*). Von dieser Art wurden im Herbst 16 Pflanzen und im Mai hingegen 1236 Pflanzen auf zwei Flächen gezählt (KI-(Ö); DW-(K)). Bei Kllaßen und Freitag (2004) sind diese Keimzeitpunkte ebenfalls aufgeführt. Ein deutlicher Rückgang der Unkrautzahl wurde bei *Alopecurus myosuroides* beobachtet. So sank die Zahl der Gesamtpflanzen von 4520 im Herbst auf 2910 im Frühjahr, hauptsächlich verursacht durch den konventionellen Betrieb in Nordfriesland, wo der Besatz mit *Alopecurus myosuroides* in der Kontrolle 1 drastisch von 214 Pflanzen/m² im Herbst hochsignifikant ($\alpha < 1\%$) auf 113 Pflanzen/m² im Mai zurückging. Erklärt werden kann dies lediglich durch Auswinterung der Pflanzen, da im Frühjahr exakt die gleichen Quadrate bonitiert wurden. Ebenfalls stark dezimiert wurde *Capsella bursa-pastoris* (1986→1108), *Galium aparine* (870→584) und *Stellaria media* (5450→4049). Am deutlichsten wurde der Raps (*Brassica napus*) jedoch reduziert, da er sich trotz des für Winterraps zu späten Saatzeitpunkts (Ende September) sehr gut entwickeln konnte, da er in Konkurrenz zum Weizen und nicht zu anderen Rapspflanzen stand. Darum wurden im Frühjahr auf allen Versuchsquadraten nur noch 51 Rapspflanzen gezählt, während es im November noch 376 Pflanzen waren.

5.3.3.8. Zweite Bonitur: Einfluss der mineralischen Düngung

Nachdem im Herbst noch keine Düngung auf den konventionellen Flächen vorgenommen wurde, kam im Mai durch die betriebsübliche Stickstoffdüngung auf den konventionellen Flächen die Kontrolle 2b hinzu.

Das Artenspektrum blieb nahezu unverändert. Sowohl in der ungedüngten als auch in der gedüngten Kontrolle wurden 20 verschiedene Unkräuter bonitiert. Ausschließlich in der

Kontrolle 2b wuchsen jedoch *Cirsium arvense* und *Sonchus arvensis*. Dafür wurden nur in der Kontrolle 1 *Galeopsis tetrahit* sowie *Apera spica-venti* gezählt.

Unterschiedlich sind allerdings die Mittelwerte der einzelnen Unkrautartenpflanzen pro Quadratmeter. Bei den *Matricaria spp.* keimten mit 12,0 Pflanzen/m² in der gedüngten Variante mehr als doppelt so viele im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle 1 (5,1 Pflanzen/m²). Weniger deutlich verhält es sich mit *Stellaria media*, *Viola arvensis* und *Alopecurus myosuroides*, wobei die Differenz bei *Alopecurus myosuroides* wesentlich höher wäre, wenn nicht auf der Fläche in Nordfriesland umgekehrte Verhältnisse herrschten (Kontrolle 2b: 71,1→Kontrolle 1: 113,1 Pflanzen/m²). Verursacht wurde dies durch einen wesentlich höheren natürlichen Ackerfuchsschwanzdruck in der Kontrolle 1. Sowohl auf Fehmarn (49,8→15,3 Pflanzen/m²) als auch bei Heide (47,2→32,1 Pflanzen/m²) wuchsen in der Kontrolle 2b mehr Pflanzen/m² als in der Kontrolle 1. Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist bei allen Standorten kleiner als 1 %. Die anderen Unkräuter weisen keine oder nur geringe Unterschiede in den Mittelwerten der Pflanzen/m² auf. Keine Unkrautart kam im Mittel über alle Standorte auf der gedüngten Variante in signifikant geringerer Zahl im Vergleich zur Kontrolle 1 vor.

Der Unkrautdeckungsgrad beträgt im Mittel über alle Flächen der Kontrolle 1 12,2 %, während die Kontrolle 2b eine Verunkrautung von 21,0 % aufwies. In gleichem Maße stieg der Kulturdeckungsgrad von 28,9 % in der Kontrolle 1 auf 40,3 % in der gedüngten Kontrolle 2b, jeweils mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit geringer als 1 %.

5.3.3.9. Zweite Bonitur: Kulturdeckungsgrade

Während sich bei den Unkrautdeckungsgraden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen in der Entwicklung vom Herbst bis zum Frühjahr erkennen lassen, bestehen deutliche Unterschiede in den Kulturdeckungsgraden. Während der Weizen auf den meisten ökologischen Flächen im Herbst erst in BBCH 12–21 war, so hatte sich der Weizen auf den konventionellen Flächen bereits mehrfach bestockt (BBCH 23–24). Dadurch erreichte der Weizen im konventionellen Anbau Deckungsgrade von bis zu 75 % im Herbst. Durch die Spätfrostereignisse im März und April litten diese weit entwickelten Weizenpflanzen jedoch und reduzierten ihre Nebentriebe. Dadurch holten die Weizenflächen auf den ökologischen Betrieben auf und erreichten im Mittel fast den Deckungsgrad der konventionellen Flächen. Da die Deckungsgrade noch das gleiche Niveau wie die ökologischen Flächen erreichten, konnte allerdings nicht festgestellt werden, dass in diesen wieder offeneren, lichtdurchlässigen Beständen vermehrt Frühjahrskeimer auflaufen.

5.3.3.10. Dritte und vierte Bonitur: Das Artenspektrum

a. im Juni

Begründet durch die Tatsache, dass ab diesem Termin nicht mehr gezählt werden konnte, sondern die Deckungsgrade der Unkrautarten aufgezeichnet wurden, verringerte sich die Artenzahl unwesentlich, da einige einzelne Pflanzen noch unter dem eigentlichen Bestand existierten, jedoch keinen definierten Deckungsgrad mehr aufwiesen. Insgesamt wurden 39 verschiedene Unkrautarten im Juni erfasst. Während auf den ökologischen Flächen 33

verschiedene Unkrautarten bonitiert wurden, fand man auf den konventionellen Flächen 23 unterschiedliche Arten. Erstmals an diesem Termin bonitierte Arten waren:

<i>Anthriscus sylvestris</i>	-	Wiesenkerbel
<i>Daucus carota</i>	-	Wilde Möhre
<i>Sisymbrium officinale</i>	-	Wegrauke

b. im Juli

Genau wie im Juni wurden auch im Juli 39 unterschiedliche Unkrautarten erfasst. Allerdings kamen nochmals sechs neue Arten (davon ein Ungras) hinzu, da aufgrund der Bestandesdichte nicht mehr exakt dieselben Quadratmeter bonitiert werden konnten. Auf den konventionellen Flächen sank die Unkrautartenzahl auf 17, auf den ökologischen Flächen stieg sie noch weiter auf 36 verschiedene Arten. Sowohl um Juni als auch im Juli unterscheiden sich die Artenzahlen zwischen den beiden Bewirtschaftungsweisen hochsignifikant ($p < 0,01$).

<i>Consolida regalis</i>	-	Acker-Rittersporn
<i>Polygonum lapathifolium</i>	-	Ampfer-Knöterich
<i>Stachys arvensis</i>	-	Acker-Ziest
<i>Sisymbrium officinale</i>	-	Wegrauke
<i>Centaurea cyanus</i>	-	Kornblume
<i>Poa trivialis</i>	-	Gemeine Rispe

5.3.3.11. Einfluss von Standort, Bewirtschaftungsform, Sorte und Variante auf den Unkrautdeckungsgrad

Da in den Großparzellen drei und in den randomisierten Versuchen vier Wiederholungen angelegt worden waren, wurde der Typ III des Statistik-Programms SAS bei der Betrachtung der Signifikanzen herangezogen, da dieser Typ unterschiedliche Anzahlen von Wiederholungen berücksichtigt, während dies bei Typ I nicht berücksichtigt wird. Laut dem Statistik-Programm SAS haben sowohl Standort, Variante, Sorte und Bewirtschaftungsweise einen hochsignifikanten Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad. Betrachtet man die Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade unterteilt nach der Bewirtschaftungsweise, ergeben sich in der unbehandelten Kontrolle 1 auf den konventionell bewirtschafteten Flächen 11,3 %, während auf den ökologischen Flächen im Mittel 17,3 % der Flächen durch Unkräuter bedeckt ist. Durch die ökologische Bewirtschaftungsform ergibt sich also ein erhöhter Unkrautdeckungsgrad. Der hochsignifikante Einfluss der Sorte ist jedoch bei Betrachtung der Standorte nur auf der konventionellen Fläche bei Plön vorhanden und dort lediglich durch einen natürlich vorkommenden deutlich höheren Unkrautdruck. An allen anderen Standorten ist der Einfluss der Sorte auf den Unkrautdeckungsgrad nicht nachweisbar. Der höhere Unkrautdeckungsgrad in der Sorte Dekan gegenüber der Sorte Bussard ist ausschließlich signifikant in der Kontrolle 2b, da Bussard bei hoher Intensität durch seinen längeren Wuchs die nitrophilen Unkräuter besser unterdrücken kann.

Die einzige nicht signifikante Wechselbeziehung besteht zwischen Sorte und Bewirtschaftungsform, was bedeutet, dass der Vorteil der Sorte Bussard gegenüber der Sorte Dekan absolut ist und nicht über die Bewirtschaftungsformen hinweg wechselt.

5.3.3.12. Unkrautregulierung im Juni und Juli

a. chemisch

Um nach der praxisüblichen Düngung die Wirkung der Herbizide darzustellen, wurden die Unkrautdeckungsgrade der Praxisvariante mit der Kontrolle 2b verglichen, die lediglich gedüngt worden war. Während im Juni lediglich die Fläche im Dänischen Wohld vollständig unkrautfrei war und auf den restlichen konventionellen Flächen noch geringe Unkrautdeckungsgrade von 0,12 % (Kiel) bis 0,67 % (Heide und Nordfriesland) bonitiert wurden, so waren zum Boniturtermin im Juli außer der Fläche im Dänischen Wohld noch die Praxisvarianten der Versuchsflächen bei Heide, Kiel und Plön unkrautfrei. Die Praxisvariante in Nordfriesland und Fehmarn waren auch noch zum Abschlusstermin nicht vollständig unkrautfrei. In der Kontrolle 2b ist die jeweilige Unkrautreduktion an den Standorten im Juni und Juli aufgeführt.

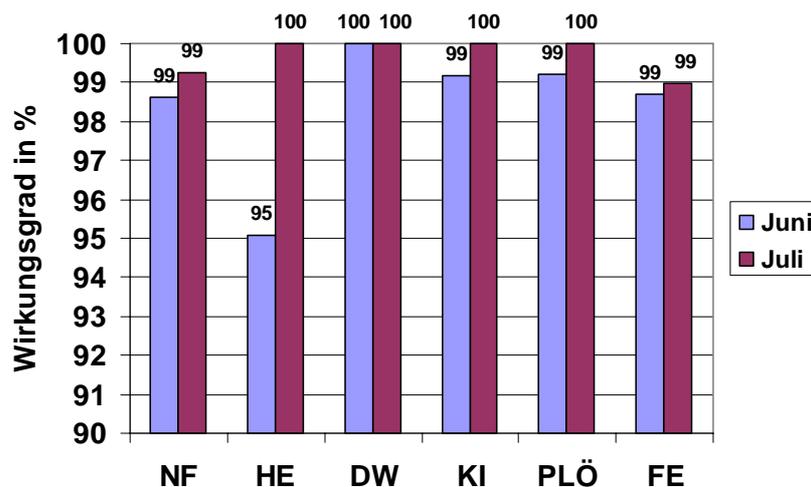


Abb. B31 Wirkungsgrade der eingesetzten Herbizide auf den konventionellen Flächen im Frühjahr

Der schlechteste Wirkungsgrad wurde im Juni am Standort Heide mit 95,08 % berechnet, der allerdings im Juli auf 100 % ansteigt. Dieser Wert liegt dennoch um ein Vielfaches über dem besten Wert der Unkrautreduktion im ökologischen Landbau. Im Mittel über alle konventionellen Standorte betrug die Unkrautreduktion im Juni 98,65 % und im Juli sogar 99,50 %. Betrachtet man übrig gebliebenen Unkrautarten der Praxisvarianten, findet man im Juni an drei Standorten *Galium aparine* (Fehmarn, Nordfriesland und Plön), an zwei Standorten *Alopecurus myosuroides* und *Matricaria* spp. (Heide und Nordfriesland) und ebenfalls zweifach *Polygonum convolvulus* (Heide und Kiel). Die folgenden Unkrautarten wurden nur an einem Standort bonitiert:

<i>Cirsium arvense</i>	–	Acker-Kratzdistel
<i>Fumaria officinalis</i>	–	Gemeiner Erdrauch
<i>Stellaria media</i>	–	Vogelmiere
<i>Viola arvensis</i>	–	Acker-Stiefmütterchen
<i>Senecio vulgaris</i>	–	Gemeines Kreuzkraut

b. mechanisch

Während die Herbizide über alle Flächen nahezu 100 % aller Unkräuter bekämpft haben, so sind die Erfolge der mechanischen Unkrautregulierung in diesen Versuchen deutlich geringer.

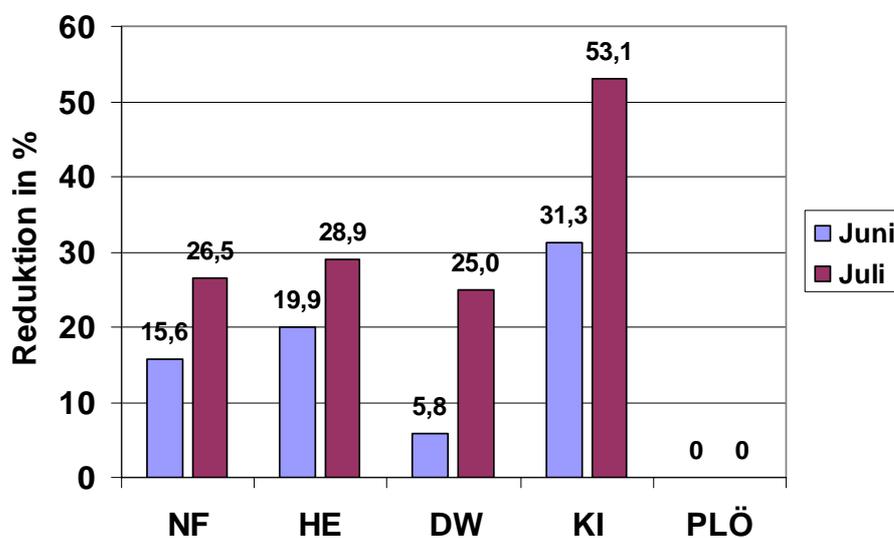


Abb. B32 Unkrautreduktion durch den Einsatz von Hacke bzw. Striegel auf den ökologischen Flächen im Juni und Juli

Vergleicht man die Kontrolle 1 mit der Praxisvariante, so ergibt sich zum Boniturtermin im Juni im Mittel eine Reduktion des Unkrautdeckungsgrades von 18,6 %, die im Juli dann auf 35,1 % ansteigt. An beiden Terminen war die Reduktion am Standort Kiel mit 31,3 % bzw. 53,1 % am höchsten, während die Reduktion auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche bei Eckernförde jeweils mit 5,8 % und 25,0 % am geringsten war.

5.3.3.13. Einfluss der mineralischen Düngung

Bei Betrachtung der mittleren Unkrautdeckungsgrade sowohl im Juni als auch im Juli steigen die Werte hochsignifikant in der Kontrolle 2b gegenüber der Kontrolle 1 an. Genauso verhält es sich mit den Kulturdeckungsgraden. Dabei ist der Unterschied tendenziell im Juni größer als im Juli, da beginnende Seneszenzen sowohl in der Kulturpflanze als auch bei fast allen Unkrautarten sichtbar sind. Der Rückgang in den Deckungsgraden im Juli ist allerdings in der Kontrolle 2b weniger ausgeprägt als in der Kontrolle 1.

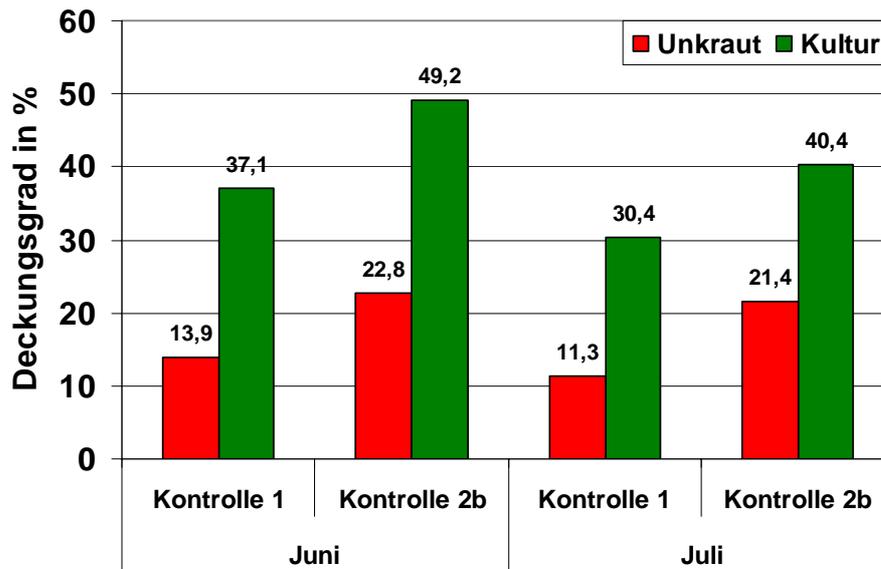


Abb. B33 Kultur- und Unkrautdeckungsgrade der Kontrolle 1 („Nullparzelle“) und 2b (+ Düngung) auf den konventionellen Flächen im Juni und Juli

Tab. B21 Vergleich der Unkrautdeckungsgrade ausgewählter Unkräuter der Kontrolle 1 + 2b auf den konventionellen Flächen

Unkrautart	Juni			Juli		
	Kontrolle 1	Kontrolle 2b	Unterschied in %	Kontrolle 1	Kontrolle 2b	Unterschied in %
<i>Alopecurus myosuroides</i>	4,31	5,44	+26,2	3,7	6,83	+84,6
<i>Galium aparine</i>	2,33	2,92	+25,3	2,5	5,55	+122,0
<i>Matricaria spp.</i>	1,14	2,38	+108,8	1,17	2,57	+119,7
<i>Myosotis arvensis</i>	1,16	0,74	-36,2	1,95	0,87	-55,4
<i>Stellaria media</i>	3,97	9,01	+127,0	1,5	5,1	+240,0

Beim Vergleich der fünf Unkräuter mit den höchsten Deckungsgraden aller konventionellen Betriebe ergibt sich das gleiche Bild mit einer Ausnahme. Die Unkrautart *Myosotis arvensis* bildet sowohl im Juni als auch im Juli über alle drei Betriebe, auf denen die Art bonitiert wurde, in der Kontrolle 1 höhere Deckungsgrade im Vergleich zur Kontrolle 2b. Die anderen vier Arten bilden in der Kontrolle 2b hochsignifikant ($p < 0,01$) höhere Deckungsgrade als in der Kontrolle 1, wobei *Stellaria media* an beiden Boniturterminen die größte Differenz zwischen beiden Varianten aufweist. Im Juli ist der Unterschied der Unkrautdeckungsgrade somit noch stärker ausgeprägt als im Juni und während die Deckungsgrade der Unkräuter in der Kontrolle 1 im Juli bereits tendenziell sinken, steigen sie in der Kontrolle 2b im Juli noch weiter an, bis auf die Art *Stellaria media*, die sich im Juli bereits in der Seneszenzphase befindet. Ausschließlich im Juli unterscheiden sich sowohl die bonitierten Unkraut- als auch die Kulturdeckungsgrade der beiden Sorten in der Kontrolle 2b. Während in der Sorte Dekan ein Unkrautdeckungsgrad von 25,7 % festgestellt wurde, betrug der Unkrautdeckungsgrad im Bussard lediglich 17,1 %. Umgekehrt bildete Bussard einen Kulturdeckungsgrad von 43,5

% und Dekan nur 37,3. Die Unterschiede in den Kulturdeckungsgraden konnten nicht statistisch abgesichert werden. Der unterschiedlichen Unkrautdeckungsgrade waren hingegen signifikant.

5.3.3.14. Korrelation Kulturdeckungsgrad – Unkrautdeckungsgrad

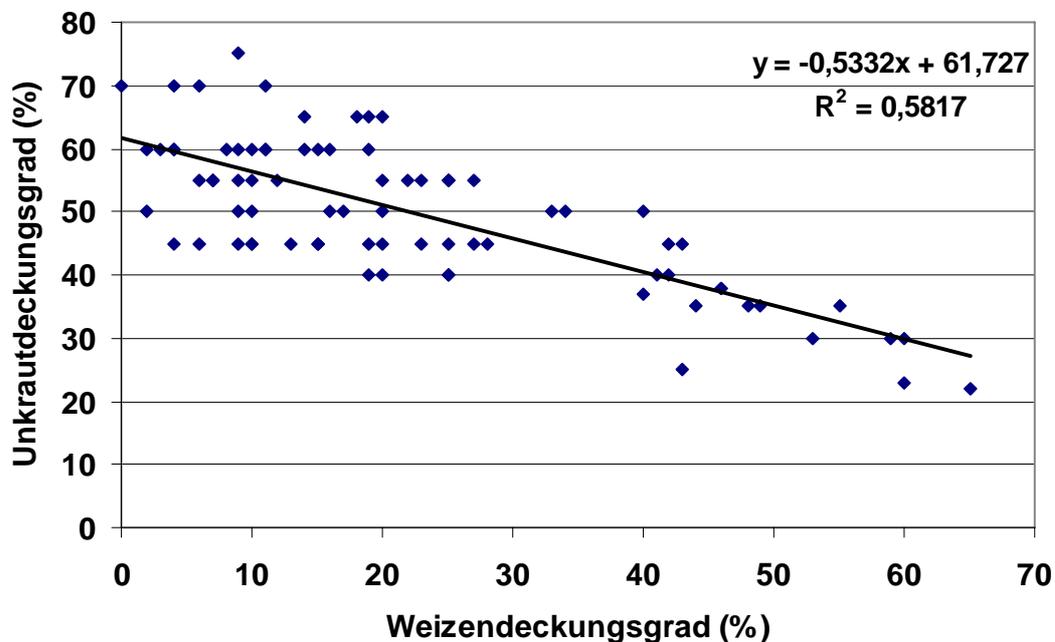


Abb. B34 Unkrautdeckungsgrad in der Kontrolle 2b (+ Düngung) über alle konventionellen Flächen in Abhängigkeit vom Weizendeckungsgrad Anfang Juni (BBCH 39–51)

In der Abbildung B34 ist der Unkrautdeckungsgrad in der Kontrolle 2b über alle konventionellen Flächen zum Boniturtermin im Juni in Abhängigkeit des Weizendeckungsgrades dargestellt. In der Kontrolle 1 kann diese Beziehung nicht festgestellt werden, da die Heterogenität in der Stickstoffnachlieferung der Böden bei nicht durchgeführter mineralischer N-Düngung sogar scheinbare positive Beziehungen zwischen Weizen- und Unkrautdeckungsgrad entstehen lässt. In der Kontrolle 2b ist der Unkrautdeckungsgrad klar negativ mit dem Weizendeckungsgrad korreliert. Die Beziehung ist im Juni mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,58$ am höchsten, was bedeutet, dass ca. 58 % der Änderungen im Unkrautdeckungsgrad durch Änderungen des Weizendeckungsgrades erklärt werden können. Die Korrelation sinkt im Juli auf $r^2 = 0,45$. Im Mai sind beide Deckungsgrade kaum miteinander in Beziehung zu setzen ($r^2 = 0,16$). Die Steigung der linearen Gleichung ist über alle Termine ähnlich. Im Juni bedeutet ein zusätzliches Prozent Weizendeckungsgrad eine Minderung des Unkrautdeckungsgrades um etwa 0,53 %.

5.3.3.15 Unkrautdeckungsgrade

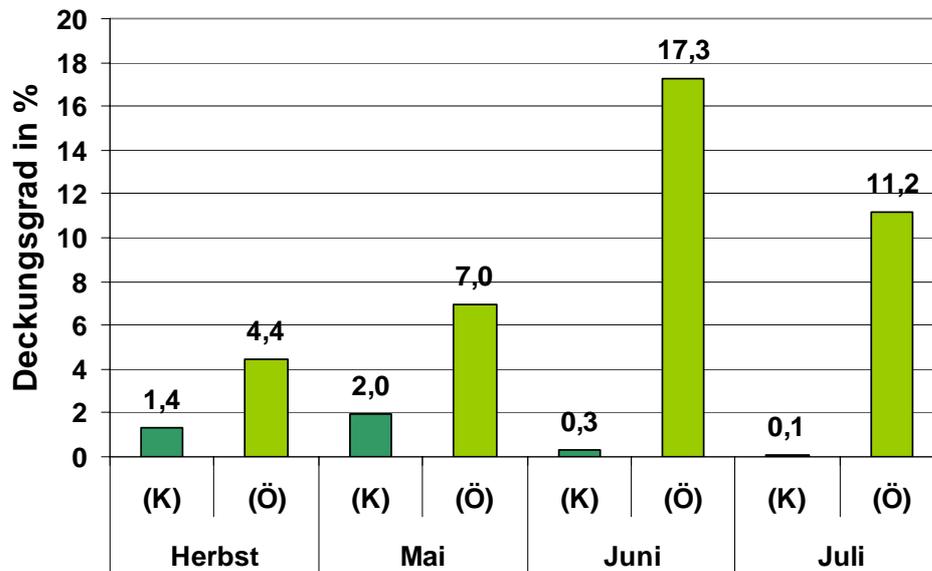


Abb. B35 Unkrautdeckungsgrade beider Bewirtschaftungsformen in der Praxisvariante („Praxis“) über alle Boniturtermine

Die Unkrautdeckungsgrade unterschieden sich deutlich. Während die erste Herbizidmaßnahme noch nicht 100 % der Unkräuter beseitigt hatte, bzw. neue Unkrautarten im zeitigen Frühjahr aufliefen, reduzierte der zweite Herbizideinsatz die Unkräuter bis auf wenige Ausnahmen vollständig. Auf den ökologischen Flächen hingegen stieg der Unkrautdeckungsgrad trotz zum Teil mehrfacher mechanischer Unkrautregulierung im Juni auf über 17 %. Auch in der Kontrolle 1, die sich zwischen den Wirtschaftsweisen lediglich durch unterschiedliche Maßnahmen in der Vergangenheit unterscheidet, bildeten die Unkräuter im ökologischen Landbau über alle Betriebe höhere Deckungsgrade. Hoch signifikant sind die Unterschiede im Juni (konventionell: 13,9 %; ökologisch: 21,2 %) und im Juli (11,3 % → 17,3 %). An den einzelnen Standorten waren die Ergebnisse allerdings uneinheitlich. Während die Unkrautdeckungsgrade der ökologischen Flächen bei Fehmarn, Eckernförde (DW), Heide und Kiel höher waren als diejenigen des konventionell wirtschaftenden Vergleichspaares, so waren die Unkrautdeckungsgrade der Betriebspaare in Nordfriesland und bei Plön auf den konventionellen Flächen höher im Vergleich zu den ökologischen Flächen. Eine generelle Tendenz über alle Standorte ist somit nicht gegeben.

5.3.3.16. Problemunkräuter

Im Folgenden soll je ein ausgewähltes Problemunkraut im konventionellen und im ökologischen Landbau mit der Situation in der jeweils anderen Bewirtschaftungsweise miteinander verglichen werden. Im konventionellen Landbau werden hierbei die Unkrautdichten und Deckungsgrade von *Alopecurus myosuroides* dargestellt, während im ökologischen Landbau die bonitierten Parameter des Problemunkrauts *Cirsium arvense* vorgestellt werden sollen. Obwohl beide Unkrautarten wahrscheinlich nicht in Norddeutschland heimisch sind (Koch, 1970), spielt insbesondere *Cirsium arvense* seit

Jahrhunderten eine Rolle in der Kulturpflanzenbegleitflora, und beide Arten sind heute innerhalb des Landes weit verbreitet.

a. Konventioneller Landbau

Verursacht durch oben aufgeführte Praxisstandards (Fruchtfolgen, kein Wirkstoffwechsel bei Herbiziden) ist *Alopecurus myosuroides* auf den schweren Böden der Westküste und des östlichen Hügellands zu einem großen Problem geworden (Kerlen, 2006). *Alopecurus myosuroides* wurde auf drei der sechs konventionellen Flächen bonitiert. Da in der Kontrolle 2b die praxisübliche Düngung vorgenommen wurde, dient diese Variante als Zeiger für das Keimpotential dieses Ungrases. Bonitiert wurden im Mai Unkrautdichten von 49,75 Pflanzen/m² (Fehmarn), 47,22 Pflanzen/m² (Heide) und 74,11 Pflanzen/m² in Nordfriesland. An dieser Stelle soll ausdrücklich erwähnt werden, dass hier die Pflanzenzahlen ermittelt wurden, und dass jede Ackerfuchsschwanzpflanze sich vielfach bestockt, so dass aus 50 Pflanzen 400–500 ährentragende Halme entstehen können. Die Bekämpfungsschwelle für *Alopecurus myosuroides* liegt bei 15 Pflanzen/m² in Winterweizenfrühsaaten (ZWERGER & AMMON, 2002). Im Vergleich dazu gab es nur eine ökologische Fläche (Fehmarn) mit einem Besatz an *Alopecurus myosuroides*. In der Kontrolle 1 wurden im Mittel 3,0 Pflanzen/m² gezählt. Die wesentlich höheren Unkrautdichten der konventionellen Flächen entwickelten folgende Deckungsgrade, dargestellt in der Abbildung B36:

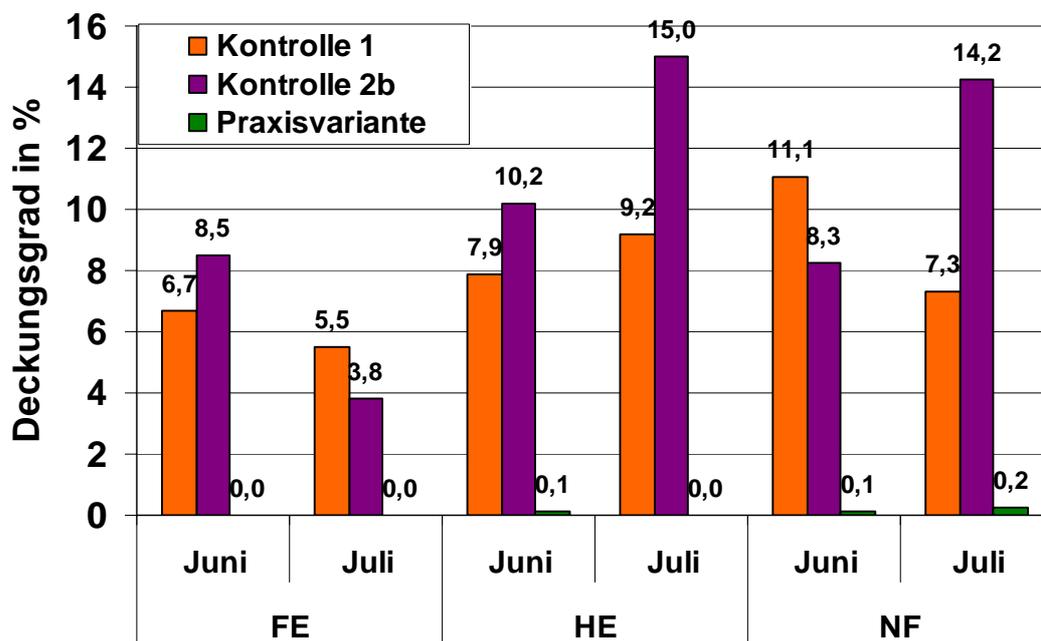


Abb. B36 Deckungsgrade von *Alopecurus myosuroides* der Kontrolle 1 („Nullparzelle“), Praxisvariante und Kontrolle 2b (+ Düngung) auf drei konventionellen Flächen im Juni und Juli

Man erkennt hier, dass die Stickstoffdüngung nicht überall einen höheren Deckungsgrad von *Alopecurus myosuroides* verursacht. Weiterhin wird deutlich, dass *Alopecurus myosuroides* eines der wenigen Unkräuter ist, welches im Juli mit Ausnahme der Fläche auf Fehmarn einen

höheren Deckungsgrad bildet als in der vorangegangenen Bonitur im Juni, was verdeutlicht, dass es physiologisch sehr gut an die Kulturpflanze adaptiert ist. Während das Ungras in der Praxisvariante Fehmarn bereits im Juni verschwunden war, bekämpften die Herbizide *Alopecurus myosuroides* in der Heider Praxisvariante erst im Juli vollständig. In der Praxisvariante Nordfrieslands, wo der Unkrautdruck am höchsten war, konnte das Problemunkraut nicht vollständig beseitigt werden. Auch nach den Herbizideinsätzen betrug der Deckungsgrad noch 0,22 %. Die Reduktion durch den Herbizideinsatz betrug in Nordfriesland 98,45 % im Vergleich zur Kontrolle 2b. Der Wirkungsgrad der anderen beiden Standorte betrug 100 %, da *Alopecurus myosuroides* nicht mehr in der Praxisvariante bonitiert werden konnte.

Die durchschnittlich 3 Pflanzen/m² auf der ökologischen Fläche bei Fehmarn bildeten Deckungsgrade von 0,94 % (Juni) und 0,72 % im Juli. In der Praxisvariante wurde in den Versuchsquadraten keine Pflanzen mehr bonitiert.

b. Ökologischer Landbau

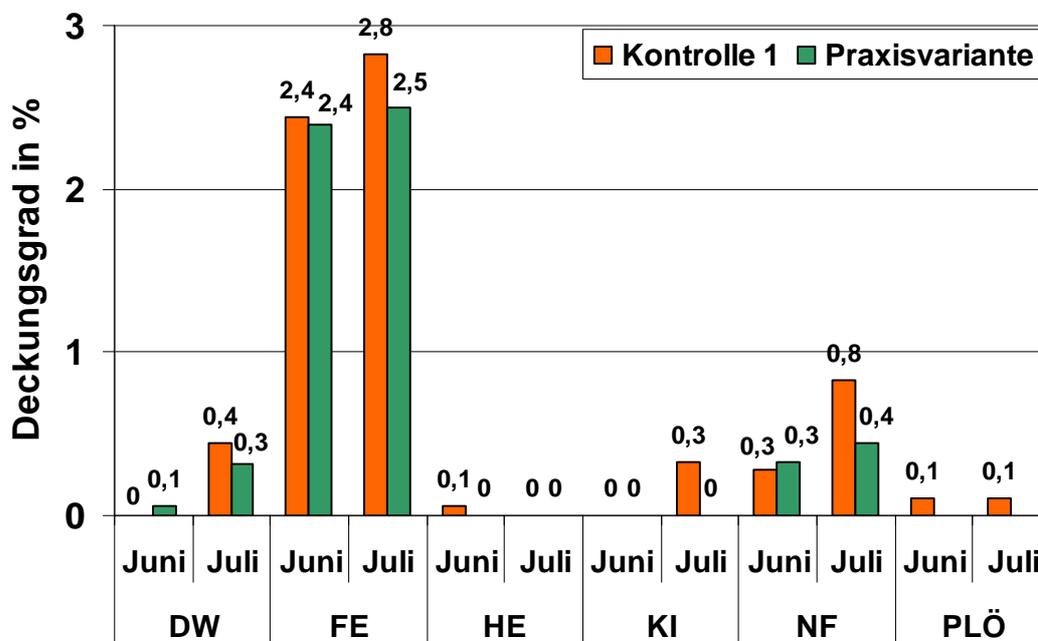


Abb. B37 Deckungsgrade von *Cirsium arvense* der Kontrolle 1 („Nullparzelle“) & Praxisvariante auf allen sechs ökologischen Flächen im Juni und Juli

Während *Alopecurus myosuroides* auf ökologisch bewirtschafteten Flächen nahezu keine Rolle spielt, stellt unter anderem *Cirsium arvense* ein Problem dar, da es als Wurzelunkraut nur unzureichend mit mechanischen Geräten bekämpft werden kann (Dierauer & Stöppler-Zimmer, 1994). Umgekehrt ist die Bekämpfung von *Cirsium arvense* auf konventionellen Flächen mit Hilfe von Wuchsstoffen wie z.B. 2,4-D weder besonders anspruchsvoll noch kostenintensiv, da Wuchsstoffe einerseits günstig sind und auf der anderen Seite *Cirsium arvense* nur nesterartig vorkommt, so dass lediglich Teilflächen behandelt werden müssen. Betrachtet man die zwölf Versuchsflächen, so wurden im Laufe der vier Boniturtermine auf allen ökologischen Flächen *Cirsium arvense* festgestellt, während diese Art lediglich auf einer

konventionellen Fläche gezählt wurde (Heide). Die höchste Unkrautdichte wurde auf der Fläche bei Fehmarn in der Kontrolle 1 mit durchschnittlich 3,67 Pflanzen/m² gezählt. Auf der Fläche bei Heide wurde lediglich zum Boniturtermin im Juni in der Kontrolle 1 eine sehr geringe mittlere Dichte von 0,06 Pflanzen/m² festgestellt.

Bei der Betrachtung der Deckungsgrade wird deutlich, dass durch den Einsatz von Hack- und Striegelgeräten der Besatz mit *Cirsium arvense* nur wenig reduziert werden kann. Der Wirkungsgrad der durchgeführten Maßnahmen lag bei 0 - 45 %. Der mittlere Deckungsgrad von *Cirsium arvense* ist über alle ökologischen Flächen zum Boniturtermin im Juni in der Praxisvariante sogar höher als in der Kontrolle 1. Zum Boniturtermin im Juli betrug der Wirkungsgrad gerade mal 13,7 %.

5.3.3.17. Einfluss der Unkräuter auf den Ertrag

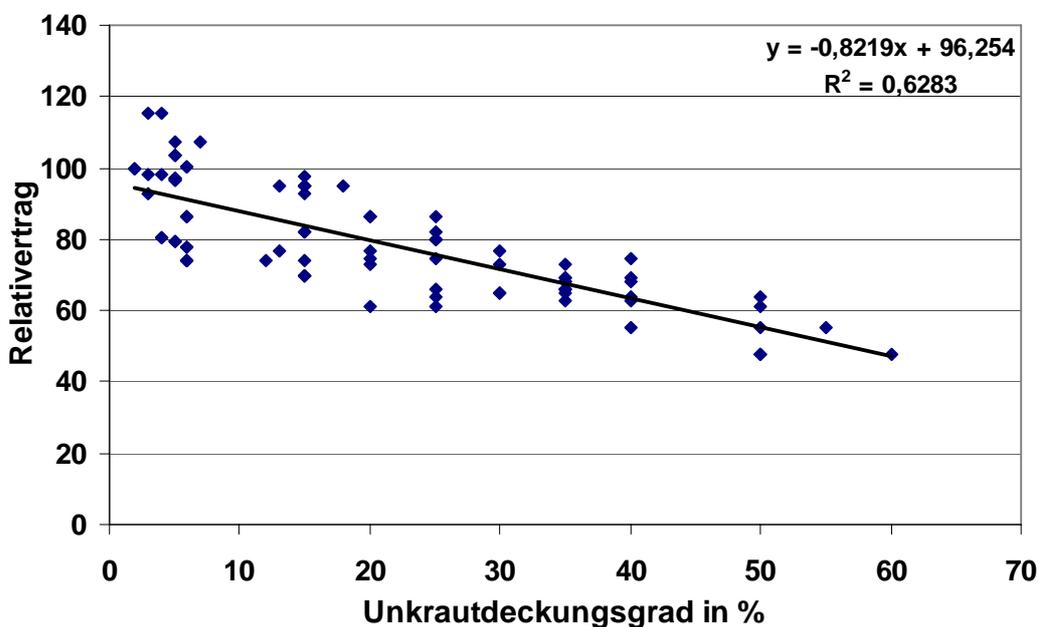


Abb. B38 Relativertrag in der Kontrolle 2b (+ Düngung) der konventionellen Flächen in Abhängigkeit vom jeweiligen Unkrautdeckungsgrad

Will man den Einfluss der Unkräuter auf den Kornertrag abbilden, muss gewährleistet sein, dass andere Einfluss nehmende Faktoren über diese Versuchsreihe gleich sind (ceteris- paribus-Bedingung). In den durchgeführten Versuchen ist dies nicht vollständig möglich. Betrachtet man die Kontrolle 2b, ist zumindest das Nährstoffangebot in etwa gleich. In der Parzelle nehmen jetzt hauptsächlich die Unkrautkonkurrenz und die Pflanzenkrankheiten Einfluss auf den Ertrag. Zusätzlich wurden die Mittelwerte des Kornertrags der Kontrolle 2, in der neben der Düngung auch Herbizidmaßnahmen stattgefunden haben, gleich Hundert gesetzt, da dieser Wert das Ertragspotential der jeweiligen Sorte bei praxisüblicher Düngung ohne Unkrautkonkurrenz zeigt. Die Beziehung einzelner Unkräuter konnte nicht festgestellt werden, da es sich auf allen Flächen um Mischverunkrautungen handelte. Abgebildet ist die Beziehung zwischen dem Unkrautdeckungsgrad und dem Relativertrag über alle konventionellen Flächen. Die Abweichungen von der Regressionsgeraden entstehen durch unterschiedlichen den Krankheitsbefall, die Bodenheterogenität, unterschiedliche

Ertragswirksamkeit verschiedener Unkräuter (Zwenger und Ammon, 2002) und andere Einflüsse. Etwa 63 % des Relativertrags werden in der Kontrolle 2b (+ Düngung) durch den Unkrautdeckungsgrad im Mai erklärt. Die gleichen Regressionen des Relativertrags über den bonitierten Unkrautdeckungsgrad im Juni und Juli ergaben ähnliche Gleichungen mit einem etwas geringeren Regressionskoeffizienten (Juni: $r^2 = 0,3968$; Juli: $r^2 = 0,4999$ (Regression berechnet mit Microsoft Excel)). Die negative Steigung der Geraden bedeutet eine Abnahme des Relativertrags um etwa 0,82 % bei einer Erhöhung des Unkrautdeckungsgrad um 1 % (Abb. B38).

Auf den ökologischen Flächen ließ sich hingegen keine Beziehung zwischen Unkrautdeckungsgrad und dem Relativertrag ableiten, da die unterschiedliche Stickstoffnachlieferung auf den ungedüngten Flächen teilweise sogar eine positive Korrelation zwischen Unkrautdeckungsgrad und Relativertrag verursachte, da eine bessere Nährstoffversorgung sowohl den Unkrautdeckungsgrad als auch den Ertrag erhöht.

5.3.4. Erträge, Qualitäten und Mykotoxingehalte

5.3.4.1. Versuchsjahr 2004

a. Erträge und Qualitäten

Das Erntegut aller konventionell bewirtschafteten Praxisvarianten der Versuchsreihe erfüllten im Versuchsjahr 2004 alle für die Vermarktung geforderten Qualitäten in der Qualitätsgruppe B. Nicht nur die Fallzahlen, auch die Sedimentationswerte und die Rohproteingehalte aller Ernteproben lagen deutlich über den geforderten Werten.

Die Qualitäten der ökologisch wirtschaftenden Betriebe unterlagen starken Schwankungen und konnten die Qualitäten, insbesondere die Rohproteingehalte der konventionellen Varianten, nicht erreichen (Tab. B23) Ebenfalls lagen die Erträge der ökologischen Varianten deutlich unter denen der konventionellen Varianten. Sie betragen nur ca. 48 % der konventionellen Praxisvariante (Tab. B22).

Tab. B22 Körnerträge (dt/ha) der ökologisch und konventionell bewirtschafteten Standorte 2004

			Kontrolle 2	Praxisvariante
2 0 0 4	NF	K (Dekan)	75,3	86,10
		Ö (Achat)	-	65,60
	HE	K (Dekan)	84,1	118,20
		Ö (Bussard)	-	47,10
	DW	K (Dekan)	97,6	118,50
		Ö (Bussard)	-	67,1
	KI	K (Dekan)	95,2	100,40
		Ö (Ökostar)	-	48,2
	PLÖ	K (Dekan)	101,2	118,20
		Ö (Capo)	-	70,5
	FE	K (Dekan)	97,0	121,0
		Ö (Capo)	-	45,1
	Mittel	K (Dekan)	91,7	108,28
		Ö (mix)	-	56,35

b. *Fusariumbefall und Mykotoxingehalte*

Es konnte nur an einem Standort erhöhte Mykotoxingehalte im Korn festgestellt werden. Einzig am Standort Nordfriesland lagen die Mykotoxingehalte sowohl in der ökologischen als auch in der konventionellen Praxisvariante in erhöhter Form vor. In der Sorte Dekan (konventionelle Praxisvariante) konnten hier Deoxynivalenolgehalte in Höhe von 0,61 mg/kg vergleichend zur Sorte Achat (ökologische Praxisvariante) von 0,36 mg/kg im Korn (Rohware) nachgewiesen werden. Die Zearalenongehalte der Körner (Rohware) der Sorte Dekan (konventionelle Praxisvariante) lagen bei 56 µg/kg; in der Sorte Achat (ökologische Praxisvariante) war dieses Mykotoxin zur Ernte nicht nachzuweisen bzw. lag unterhalb der Nachweisgrenze. An allen anderen Standorten lagen die Gehalte an Deoxynivalenol und Zearalenon unterhalb der Nachweisgrenze (Tab. B23).

Tab. B23 Qualitäten und Mykotoxine des Korns des Erntejahres 2004

Jahr/Standort/Betrieb/Sorte			RP (%)	FZ (sec)	Sedi (ccm)	TKG (g)	DON (mg/kg)	ZEA (µg/kg)
2004	NF	K (Dekan)	13,3	329	59	39,2	0,61	56
		Ö (Achat)	10,7	357	34	50,0	0,36	n.b.<25
	HE	K (Dekan)	13,1	390	61	51,4	n.b.<0,05	n.b.<25
		Ö (Bussard)	12,1	356	47	42,0	0,09	n.b.<25
	DW	K (Dekan)	12,4	341	62	43,9	0,07	n.b.<25
		Ö (Bussard)	12,5	-	-	48,9	-	-
	KI	K (Dekan)	12,5	352	58	45,4	0,06	n.b.<25
		Ö (Ökostar)	10,6	353	36	41,2	n.b.<0,05	n.b.<25
	PLÖ	K (Dekan)	12,4	296	42	44,9	0,06	n.b.<25
		Ö (Capo)	11,6	300	44	39,0	n.b.<0,05	n.b.<25
	FE	K (Dekan)	12,9	366	60	45,1	n.b.<0,05	n.b.<25
		Ö (Capo)	10	264	30	41,0	n.b.<0,05	n.b.<25
	Mittel	K (Dekan)	12,8	345,7	57	45,0		
		Ö (mix)	11,3	326,0	38,2	42,6		

RP=Rohprotein; FZ=Fallzahl; Sedi=Sedimentation; TKG=Tausendkorngewicht

c. *Pflanzenschutzmittelrückstände*

Pflanzenschutzmittelrückstände konnten in keiner der bei der LUFÄ-Kiel untersuchten Kornproben nachgewiesen werden. Somit ist davon auszugehen, dass der Pflanzenschutzmitteleinsatz auf den konventionellen Betrieben nach guter fachlicher Praxis erfolgte und ein Abbau stattgefunden hat.

Die Metabolisierung der Pflanzenschutzmittel wurde beispielhaft auf zwei Betrieben konventioneller Wirtschaftsweise nach der letzten Pflanzenschutzmittelapplikation untersucht. An den vier wöchentlichen Untersuchungsterminen konnten die applizierten Wirkstoffe Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Spiroxamin Tebuconazol, Triademenol sowie Cyhalothrin nachgewiesen werden. Die Wirkstoffe unterlagen einer, gemäß ihrer spezifischen chemischen Struktur, fortschreitenden Metabolisierung, so dass im Ernteprodukt keine Restmengen nachweisbar waren.

5.3.4.2. Versuchsjahre 2005 und 2006

In Abbildung B38 sind die Ertragsergebnisse aller Standorte und der Jahre 2005 sowie 2006 dargestellt.

In konventionellen Betrieben (K) betrug das durchschnittliche Ertragsniveau (Praxisvariante) 114,3 (Dekan) bzw. 98 dt/ha (Bussard), in ökologischen Betrieben (Ö) 63 (Dekan, – 45 %) bzw. 56 dt/ha (Bussard, – 43 %). Die durch Fungizideinsatz (Praxisvariante)(K) gegenüber einer fungizidunbehandelten Kontrolle (2) erzielte Verlustminderung in Form eines Ertragsanstieges (K) lag bei 11 % (Dekan) (2004 17 %) bzw. 14 % (Bussard). Die völlig unbehandelte Kontrollvariante (1)(K) (ohne mineralische N-Düngung und chemischen Pflanzenschutz) reduzierte die Ertragsleistung gegenüber der Praxisvariante (K) um 54 % bei der Sorte Bussard sowie um 47 % bei der Sorte Dekan. Im Vergleich der Kontrolle 1 (K) mit der Kontrolle 1b (K) ließ sich nur durch den Herbizideinsatz eine durchschnittliche Ertragssteigerung von 17 bis 18,4 dt/ha realisieren. Die im Versuchsjahr 2006 etablierte Kontrolle 2b dokumentierte den Ertragsabfall von 16 dt/ha bei der Sorte Dekan und 22,5dt/ha bei der Sorte Bussard bei fehlender Herbizidbehandlung aber vorhandener Düngung. Innerhalb der ökologischen Betriebe waren keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen der Praxisvariante bzw. der Kontrollvariante (1) festzustellen (Abb. 2). Das Ertragsniveau der ökologischen Praxisvariante im Vergleich zur konventionellen lag deutlich niedriger. Die Ertragsunterschiede betragen 52 dt/ha bei der Sorte Dekan bzw. 42 dt/ha bei der Sorte Bussard.

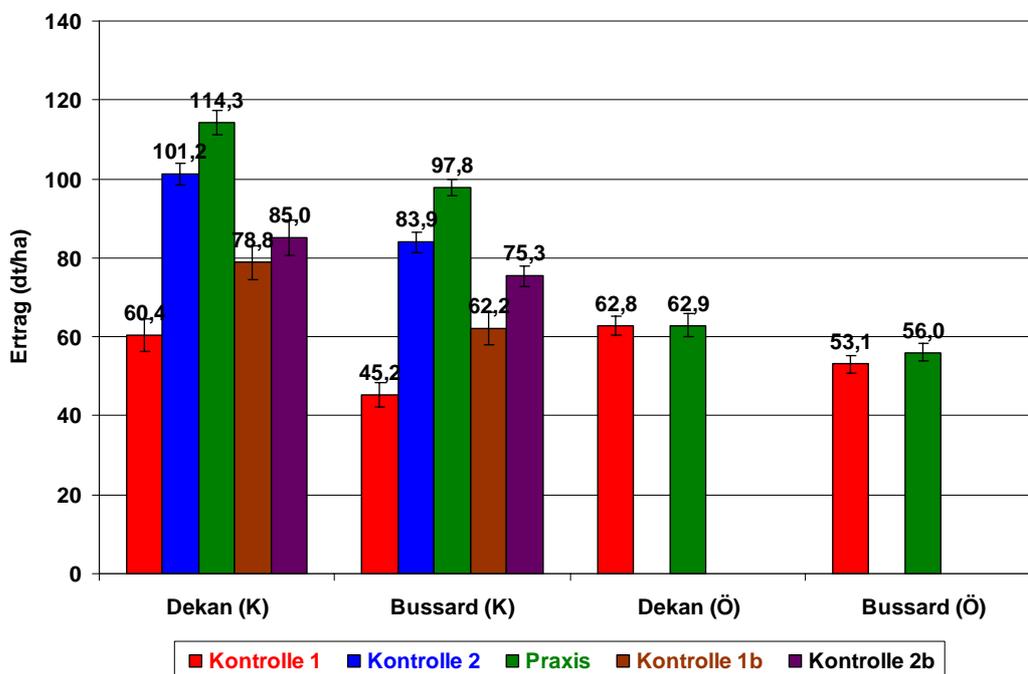


Abb. B38 Erträge der ökologischen (Ö) und konventionellen (K) Varianten, Mittelwert aus 2005 und 2006 aller Standorte, Fehlerbalken = SE; n=36 (Ausnahme Kontrolle 2b: nur 2006, n=17)

Tab. B24 Nettoerträge aller Varianten der Versuchsjahre 2005 und 2006 in dt/ha

		Dekan					Bussard					
		Kontrolle 1	Kontrolle 2	Praxis	Kontrolle 1b		Kontrolle 1	Kontrolle 2	Praxis	Kontrolle 1b		
2005	NF	K	18,0	75,2	97,8	39,2		11,0	50,7	81,8	25,3	
		Ö	43,5	-	43,5	-		43,4	-	43,4	-	
	HE	K	48,7	98,4	113,9	59,5		29,0	79,3	99,9	37,6	
		Ö	55,8	-	68,0	-		57,4	-	68,2	-	
	DW	K	39,2	96,9	96,4	-		32,5	84,7	85,9	-	
		Ö	52,9	-	49,8	-		39,5	-	45,9	-	
	KI	K	29,4	81,7	98,6	-		27,9	73,5	87,0	-	
		Ö	56,9	-	50,1	-		37,9	-	35,4	-	
	PLÖ	K	62,5	102,2	110,6	61,9		55,7	88,0	90,8	57,8	
		Ö	71,8	-	77,6	-		72,1	-	71,4	-	
	FE	K	97,9	115,0	125,5	105,6		77,5	93,5	113,5	93,4	
		Ö	63,0	-	69,2	-		55,7	-	59,5	-	
	Mittel	K	49,3	94,9	107,1	66,5		38,9	78,3	93,1	53,5	
		Ö	57,3	-	59,7	-		51,0	-	54,0	-	
		Dekan					Bussard					
		Kontrolle 1	Kontrolle 2	Praxis	Kontrolle 1b	Kontrolle 2b	Kontrolle 1	Kontrolle 2	Praxis	Kontrolle 1b	Kontrolle 2b	
2006	NF	K	59,4	130,6	142,3	96,4	74,2	53,2	115,8	104,5	73,4	80,8
		Ö	84,8	-	90,7	-	-	73,3	-	70,8	-	-
	HE	K	45,4	101,4	114,2	70,7	67,2	25,7	78,1	93,7	48,4	58,2
		Ö	58,9	-	58,9	-	-	45,4	-	52,5	-	-
	DW	K	56,9	96,4	98,0	-	-	50,4	82,2	94,7	-	-
		Ö	49,5	-	50,6	-	-	41,5	-	41,7	-	-
	KI	K	62,0	93,2	92,9	65,7	77,9	47,6	73,6	89,0	56,4	76,8
		Ö	77,3	-	75,0	-	-	57,1	-	67,4	-	-
	PLÖ	K	81,9	118,2	144,4	95,6	95,0	47,0	101,5	120,4	61,6	88,4
		Ö	85,2	-	82,6	-	-	62,5	-	66,6	-	-
	FE	K	105,3	112,5	138,2	102,5	106,0	70,8	85,9	109,9	88,6	72,7
		Ö	46,5	-	41,6	-	-	52,2	-	54,4	-	-
	Mittel	K	68,5	108,7	121,6	86,2	84,1	49,1	89,5	102,0	65,7	75,4
		Ö	67,0	-	66,5	-	-	55,3	-	58,9	-	-

b. Mykotoxingehalte

Im Versuchsjahr 2005 konnten an 4 Standorten geringe Deoxynivalenolkonzentrationen nachgewiesen werden. Die Sorte Dekan wies dabei höhere Werte (0,09 mg/kg bis 0,19 mg/kg Korn) auf als die Sorte Bussard (0,05 mg/kg bis 0,07 mg/kg Korn). Am Standort Heide wurden in der Sorte Dekan der ökologischen Variante neben 0,13 mg DON /kg Korn auch Zearalenon in Höhe von 12,4 µg/kg Korn festgestellt. Die Werte lagen alle unter den Höchstwerten vorgeschrieben durch die Mykotoxinhöchstmengenverordnung. Tendenziell haben jedoch die ökologischen Varianten höhere Werte zu verzeichnen als die konventionellen. An den vier betroffenen Standorten wiesen insgesamt vier ökologische Betriebe einen Befall auf im Gegensatz zu zwei konventionellen, die zudem noch von allen Werten die geringsten aufwiesen.

Im Jahr 2006 konnte auf keinem der Betriebe weder in der Sorte Dekan noch in der Sorte Bussard eine Belastung mit Mykotoxinen über der Nachweisgrenze (DON: 0,05 mg/kg Korn; ZEA: 5 µg/kg Korn) festgestellt werden (Tab. B25).

c. Qualitäten

In den Versuchsjahren 2005 und 2006 erfüllte das Erntegut der Sorten Dekan und Bussard aller konventionell bewirtschafteten Praxisvarianten der Versuchsreihe alle für die Vermarktung geforderten Qualitäten in der Qualitätsgruppe B (Ausnahme: 2005, Sorte Bussard FZ=166). Wie auch im Jahr 2004 lagen nicht nur die Fallzahlen, auch die Sedimentationswerte und die Rohproteingehalte aller Ernteproben lagen deutlich über den geforderten Werten.

Die Qualitäten der ökologisch wirtschaftenden Betriebe konnten die Qualitäten, insbesondere die Rohprotein- und Feuchtklebergehalte der konventionellen Varianten, nicht erreichen (Tab. B25). Der Rohproteingehalt lag durchschnittlich 2,1–2,2% (Dekan) bis 3,5–4% (Bussard) niedriger, die mittleren Feuchtklebergehalte waren von 9,5% (Dekan, 2005) bis zu 12,4% (Bussard, 2006) geringer. Die Sorte Bussard hatte aufgrund ihrer genetischen Eigenschaften und der damit verbundenen Einordnung in die Qualitätsgruppe E erwartungsgemäß 0,9–1,7% höhere Rohproteinwerte als Dekan sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Anbau. Die Feuchtklebergehalte und Sedimentationswerte waren ebenfalls bei der Sorte Bussard höher, wobei wiederum eine hohe Differenz zwischen ökologisch und konventionell erzeugter Ware zu beobachten war. Bei Fallzahl, und TKG konnten keine oder nur geringe Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt werden.

Insgesamt wiesen die Proben des Erntejahres 2005 eine geringere Qualität gegenüber denen des Jahres 2006 auf. Die konventionell erzeugten Kornproben beider Sorten lagen jedoch trotzdem im Rahmen der geforderten Qualitätskriterien für Backweizen, hingegen wiesen die ökologisch erzeugten Proben deutliche Schwächen auf. Insbesondere der geforderte Mindest-Feuchtklebergehalt von 20% konnte 2005 nur auf drei Betrieben und auch nur mit der Sorte Bussard erreicht werden, 2006 waren es fünf Betriebe.

Tab. B25 Qualitäten sowie Mykotoxingehalte des Korn der Sorten Dekan und Bussard aus der Praxisvariante der Erntejahre 2005 & 2006 (RP=Rohprotein; FK=Feuchtkleber; FZ=Fallzahl; Sedi=Sedimentation; TKG=Tausendkorngewicht; DON=Deoxynivalenol; ZEA=Zearalenon)

		Dekan							Bussard							
		RP (%)	FK (%)	FZ (sec)	Sedi (ccm)	TKG (g)	DON (mg/kg)	ZEA (µg/kg)	RP (%)	FK (%)	FZ (sec)	Sedi (ccm)	TKG (g)	DON (mg/kg)	ZEA (µg/kg)	
2005	NF	K	12,8	24,6	297	43	47,8	0,09	n.b.<5,0	14,5	34,8	291	70	45,6	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,2	14	259	32	46,6	n.b.<0,05	n.b.<5,0	9,9	16,6	314	29	45,4	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	HE	K	12,3	28,3	265	46	48,2	n.b.<0,05	n.b.<5,0	12,7	29,5	166	67	48,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,6	15,7	278	29	49,8	0,13	12,4	11,3	22,6	240	36	47,9	0,07	n.b.<5,0
	DW	K	12	23,3	395	42	46,3	n.b.<0,05	n.b.<5,0	12,9	28,7	243	70	50,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,5	17,8	308	32	46,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,1	22,9	231	38	46,3	0,06	n.b.<5,0
	KI	K	12,5	24,4	296	55	43,5	n.b.<0,05	n.b.<5,0	14	30,4	230	74	46,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	10,1	18,8	347	27	44,9	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,5	17,5	296	42	44,6	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	PLÖ	K	12,7	25,1	348	46	46,2	n.b.<0,05	n.b.<5,0	13,9	31,6	247	73	47,7	0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,1	13,4	284	25	48,1	0,19	n.b.<5,0	10,5	17,6	303	31	46,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	FE	K	14,1	27,9	343	63	40,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0	16,7	36,2	251	78	44,7	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	10,1	16,6	346	31	42,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0	11,2	22	301	37	43,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	Mittel	K	12,7	25,6	324,0	49,2	45,4			14,1	31,9	238,0	72,0	47,3		
		Ö	9,6	16,1	303,7	29,3	46,4			10,6	19,9	280,8	35,5	45,7		
		Dekan							Bussard							
		RP (%)	FK (%)	FZ (sec)	Sedi (ccm)	TKG (g)	DON (mg/kg)	ZEA (µg/kg)	RP (%)	FK (%)	FZ (sec)	Sedi (ccm)	TKG (g)	DON (mg/kg)	ZEA (µg/kg)	
2006	NF	K	11,7	26,4	385	35	47,7	n.b.<0,05	n.b.<5,0	13,8	34,6	388	70	49,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,3	17	388	23	49,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,5	22,3	383	29	47,9	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	HE	K	13,1	30,1	379	55	47,2	n.b.<0,05	n.b.<5,0	15,1	37,7	326	75	45,3	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	8,9	n.b.	355	24	49,4	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,1	20	297	31	48,3	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	DW	K	10,5	20,1	378	35	49,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,9	23,9	381	42	47,5	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	9,9	16,9	392	25	45,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0	11,1	23	350	25	46,3	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	KI	K	13,4	27,9	433	59	44,9	n.b.<0,05	n.b.<5,0	15,1	37,4	383	73	44,9	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	8,9	n.b.	369	23	48,3	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,1	18,9	359	28	45,7	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	PLÖ	K	14,3	33	402	58	48,4	n.b.<0,05	n.b.<5,0	15,3	39,7	401	70	50,2	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	11,3	22,8	402	33	39,2	n.b.<0,05	n.b.<5,0	11,2	25,7	389	37	42,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	FE	K	14,5	31,4	414	62	39,8	n.b.<0,05	n.b.<5,0	17,1	40,9	443	74	41,4	n.b.<0,05	n.b.<5,0
		Ö	10,1	19	426	31	41	n.b.<0,05	n.b.<5,0	10,8	24,1	342	31	46,1	n.b.<0,05	n.b.<5,0
	Mittel	K	12,9	28,2	398,5	50,7	46,2			14,6	35,7	387,0	67,3	46,4		
		Ö	9,7	18,9	388,7	26,5	45,5			10,6	22,3	353,3	30,2	46,1		

5.3.4.3. Rückstandsanalytik

a. Ganzpflanzen und Erntegut (Korn) der Versuchsjahre 2005 und 2006

Die konventionellen Praxisvarianten wurden im Laufe der Vegetation mehreren Pflanzenschutzmittelmaßnahmen (bis zu vier) unterzogen, um den Befall mit pilzlichen Erregern sowie Schadtieren zu reduzieren. Weiterhin fanden Wachstumsregulatoren Anwendung (Chlormequat, Trinexaoc-ethyl, Ethephon) Anwendung, um die Standfestigkeit der Pflanzen zu erhöhen. Ausgehend von diesen Behandlungen wurden die verschiedenen Wirkstoffe von der Pflanze aufgenommen und mitunter in alle Organe verlagert. Nach der letzten Behandlung wurden die Pflanzen auf die ausgebrachten Wirkstoffe hin analysiert, um den Abbau bzw. die Persistenz der Wirkstoffe in der Pflanze zu dokumentieren (s. Tab. B14). Die fungiziden und insektiziden Wirkstoffe unterlagen einem stetigen Abbau über den Beprobungszeitraum. Im Jahr 2005 dominierte der Wirkstoff Spiroxamine in Kombination mit dem Wirkstoff Prothiocoanazol bei der Abschlussbehandlung zu EC 69. Entsprechend ist dieser Wirkstoff auch in den Pflanzen nachweisbar. Insektizide Wirkstoffe wie Cyhalothrin, Oxydemeton-methyl und Dimethoat wurden nur in sehr geringen Mengen eingesetzt. Entsprechend sind auch in der Pflanze die Konzentrationen dieser Wirkstoffe gering. Im Jahr 2006 kam noch ein weiterer Wirkstoff zunehmend zum Einsatz, das Chlorthalonil. Dieser Wirkstoff war in allen Pflanzenproben in, im Gegensatz zu den anderen Wirkstoffen, hohen Konzentrationen nachweisbar. Das Einsatzgebiet erstreckte sich dabei von der Erstbehandlung bis zur Abschlussbehandlung.

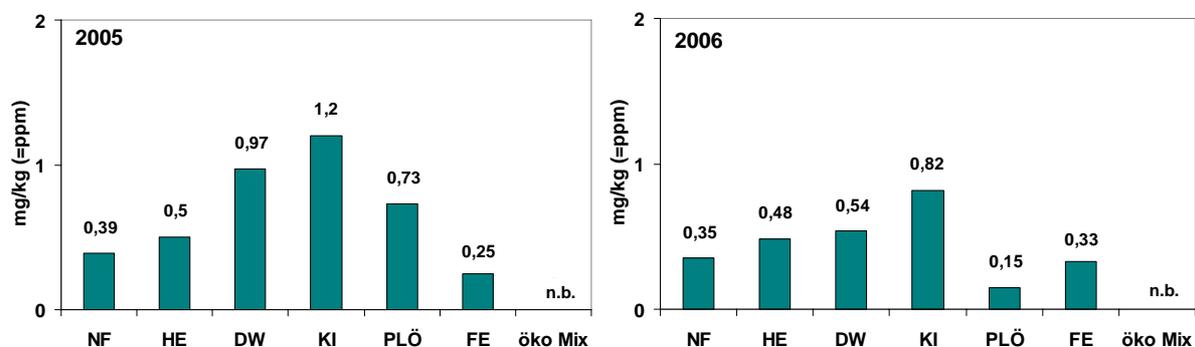


Abb. B39: Chlormequatgehalte in mg/kg im Erntegut 2005 und 2006

Alle Wirkstoffe, die in der Pflanze analysiert wurden, fanden auch bei der Analyse der Kornproben Berücksichtigung. Zusätzlich wurden diese Proben auch auf Rückstände des Wachstumsregulators Chlormequat untersucht. Es konnten in allen Kornproben konventioneller Herkunft Rückstände dieses Stoffes nachgewiesen werden. Die höchsten Gehalte wurden dabei an den Standorten Kiel (KI) und Dänischer Wohld (DW) sowohl 2005 als auch 2006 festgestellt. Die Gesamtaufwandmenge von CCC ist mit 1,5 l/ha am Standort Kiel 2005 sowie 2006 jedoch eine der geringsten im überregionalen Vergleich, am Standort DW liegt die gesamte Aufwandmenge mit 2,0 l/ha (2005) und 2,1 l/ha (2006) über dem Durchschnitt aller Betriebe (Mittelwert: 1,8 l/ha). Die Erträge sind an diesen Standorten lagen aber unter dem Mittel (Tab. B24) und es kann somit von einem geringeren Verdünnungseffekt ausgegangen werden, wodurch die Konzentrationen im Korn erhöht

vorliegen. Es kam allerdings an keinem Standort zu einer Überschreitung der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Toleranzgrenze vom 2,0 mg/kg.

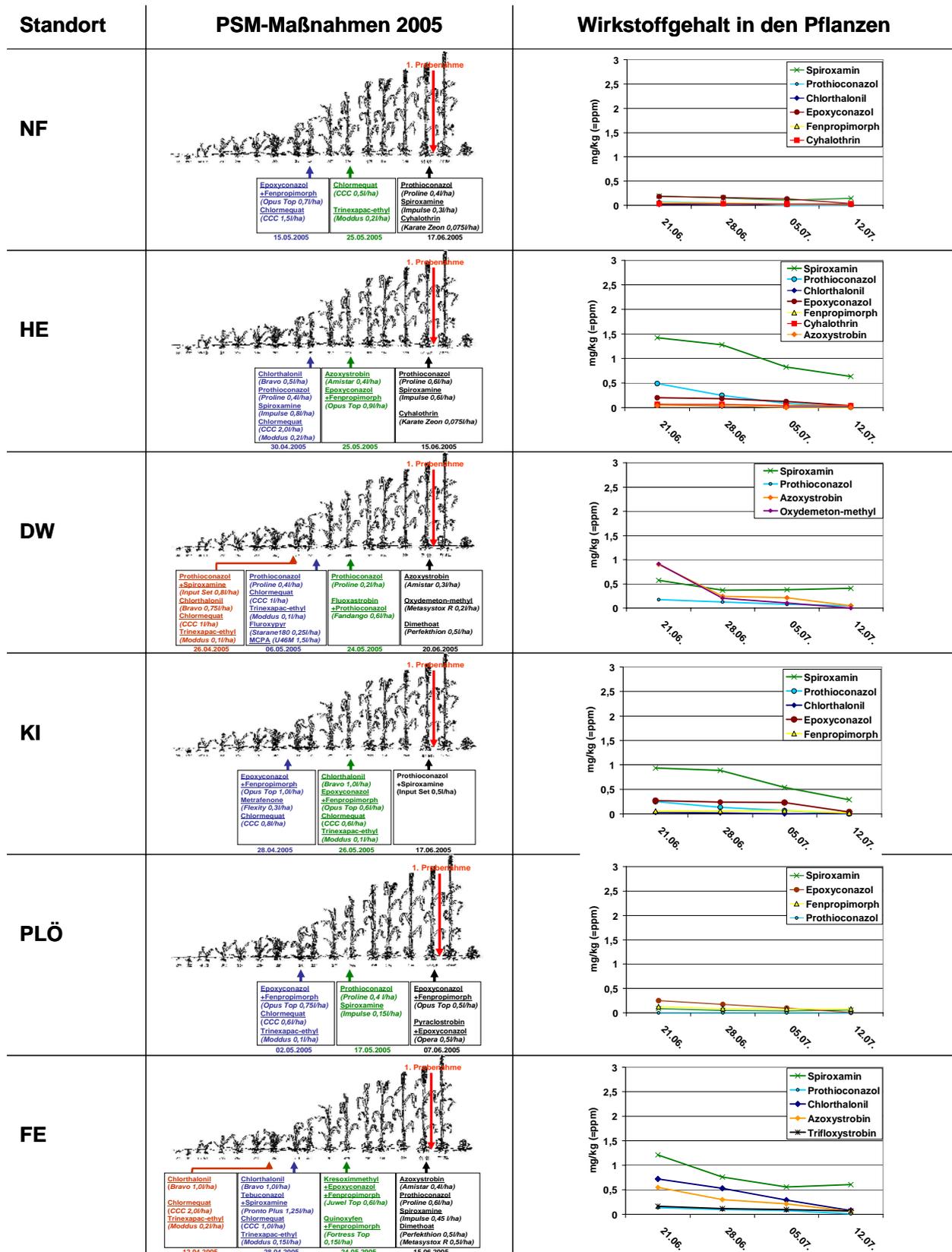


Abb. B40 Pflanzenschutzmittelmaßnahmen und Abbauverhalten der Wirkstoffe in der Pflanze im Versuchsjahr 2005

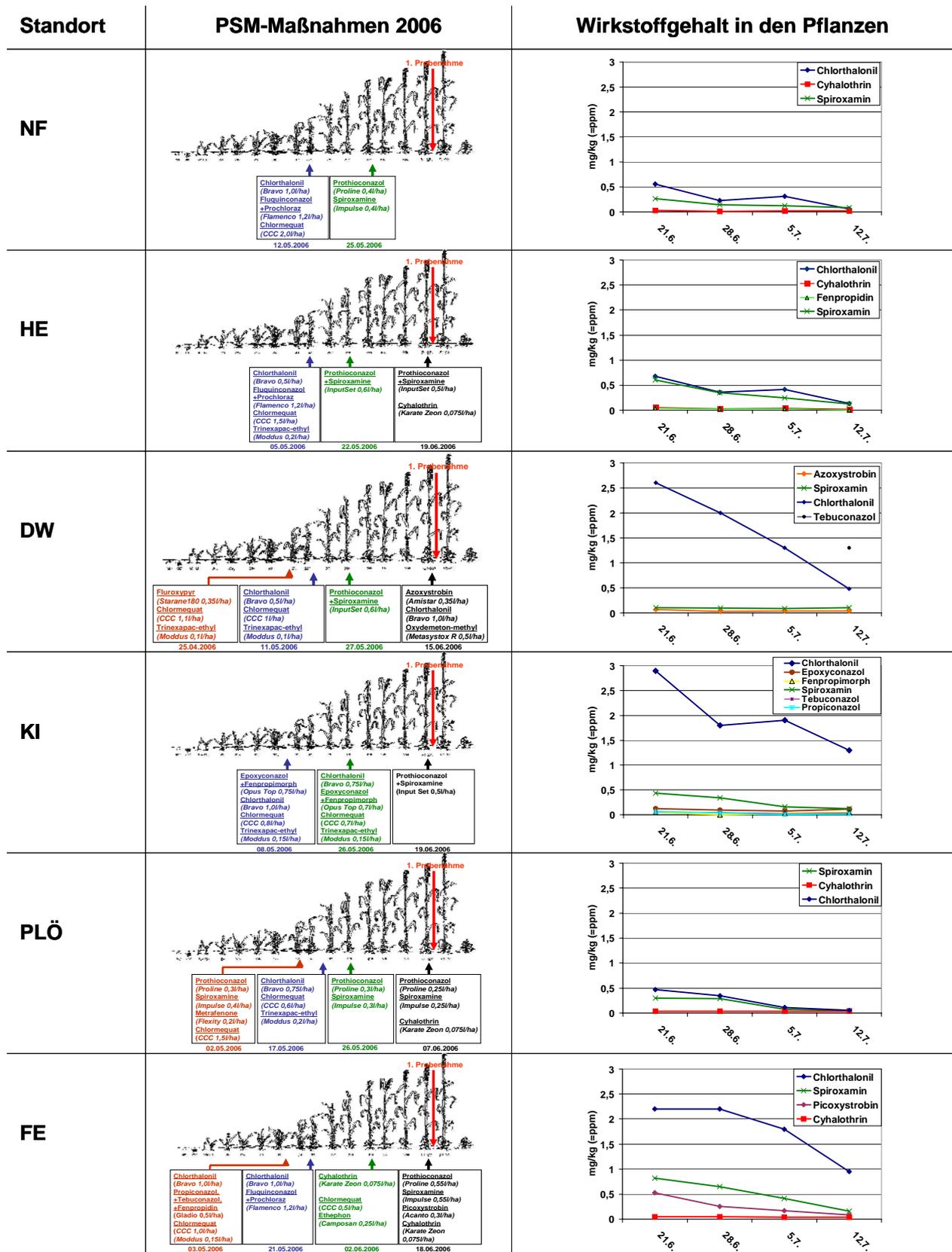


Abb. B41 Pflanzenschutzmittelmaßnahmen und Abbauverhalten der Wirkstoffe in der Pflanze im Versuchsjahr 2006

5.3.5. Sickerwasseranalytik

Die in den Saugkerzen gewonnenen Sickerwasserproben im Herbst/Winter 2004/05 wiesen am ersten Probenahmezeitraum (November–Dezember 2004) unter den zwei beprobten Weizenschlägen konventioneller Wirtschaftsweise Rückstände der im Herbst applizierten herbiziden Wirkstoffe auf. Die PSM–Fracht (Auswaschung) betrug im Untersuchungszeitraum auf dem konventionellen Ackerbaubetrieb im Dänischen Wohld (DW) (45 Bodenpunkte) 0,21 g/ha (21,42 µg/m²) Flufenacet (entspricht 0,18% der ausgebrachten Wirkstoffmenge) und 0,11 g/ha (10,71 µg/m²) Diflufenican (entspricht 0,27% der ausgebrachten Wirkstoffmenge), auf dem Betrieb im Kreis Plön (PLÖ) (55 Bodenpunkte) 0,02 g/ha (2,41 µg/m²) Flufenacet (entspricht 0,01% der ausgebrachten Wirkstoffmenge). Im zweiten Probenahmezeitraum (Januar 2005) waren keine Rückstände nachweisbar. Auf dem konventionellen Futterbaubetrieb im Dänischen Wohld konnten weiterhin geringe Konzentrationen der nicht mehr zugelassenen Wirkstoffe Atrazin und Terbutylazin sowie dem Wirkstoff Metolachlor nachgewiesen werden. Bei allen anderen Betrieben wurden keine Rückstände jeglicher Pflanzenschutzmittel (vgl. Tab. B15) nachgewiesen.

Tab. B26 Nachgewiesene Wirkstoffkonzentrationen (µg/l) im Sickerwasser errechnete PSM–Frachten (Auswaschung) in g/ha.

Betrieb	Kultur	Festgestellte Wirkstoffe	Wirkstoffkonzentrationen im Sickerwasser (µg/l)				PSM–Frachten im Beprobungszeitraum (g/ha)			
			2004/2005		2005/2006		2004/2005		2005/2006	
			T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Ackerbau DW (K)	Weizen	Diflufenican	0,300	n.b.	0,360	0,090	0,107	0	0,065	0,024
		Flufenacet	0,600	n.b.	0,170	0,100	0,214	0	0,138	0,027
	Raps	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
Ackerbau PLÖ (K)	Weizen	Diflufenican	n.b.	n.b.	0,050	n.b.	0	0	0,026	0
		Flufenacet	0,100	n.b.	0,110	n.b.	0,024	0	0,058	0
	Raps	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
Futterbau DW (K)	Mais	Atrazin	0,013	n.b.	n.b.	n.b.	0,035	0	0	0
		Metolachlor	n.b.	n.b.	0,910	0,300	0	0	35,581	18,390
		Terbutylazin	0,073	0,130	1,500	0,460	1,993	2,678	58,650	28,980
Futterbau Geest (K)	Mais	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
ökologisch										
Ackerbau DW (Ö)	Weizen	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
	Kleegrass	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
Ackerbau PLÖ (Ö)	Weizen	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
	Kleegrass	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
Futterbau Geest (Ö)	Mais	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0
Futterbau DW (Ö)	Mais	keine	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	0	0

Beprobungszeitraum: T1: 24.11.–23.12.; T2: 30.12.–30.1.; n.b.= kein Nachweis

Im Herbst/Winter 2005/2006 wiesen die Sickerwasserproben am ersten Probetermin unter den zwei konventionell bewirtschafteten Weizenschlägen wiederum Rückstände der applizierten Wirkstoffe Diflufenican und Flufenacet auf. Die PSM–Fracht betrug dabei am

ersten Termin auf dem konventionellen Ackerbaubetrieb im Dänischen Wohld 0,07 g/ha (6,5 µg/m²) Diflufenican (entspricht 0,13% der ausgebrachten Wirkstoffmenge) und 0,14 g/ha (13,8 µg/m²) Flufenacet (entspricht 0,11% der ausgebrachten Wirkstoffmenge), auf dem Betrieb im Kreis Plön (55 Bodenpunkte) 0,06 g/ha (5,8 µg/m²) Flufenacet (entspricht 0,025% der ausgebrachten Wirkstoffmenge) sowie 0,03 g/ha (2,6 µg/m²) Diflufenican (entspricht 0,06% der ausgebrachten Wirkstoffmenge). Im zweiten Beprobungszeitraum waren 0,02 g/ha (2,4 µg/m²) Diflufenican (entspricht 0,05% der ausgebrachten Wirkstoffmengemenge) und 0,03 g/ha (2,7 µg/m²) Flufenacet (entspricht 0,02% der ausgebrachten Wirkstoffmengemenge) auf dem Ackerbaubetrieb im Dänischen Wohld festzustellen. In den Sickerwasserproben des Maisschlages des Futterbaubetriebes im Dänischen Wohld waren in beiden Beprobungszeiträumen die Wirkstoffe Metolachlor und Terbuthylazin nachweisbar. Die Wirkstofffrachten betragen dabei in der Summe über beide Probenzeiträume 53,97g/ha Metolochlor und 87,63g/ha Terbuthylazin und lagen somit deutlich über den Frachten der vorangegangenen Sickerwasserperiode 2004/2005.

5.4 Diskussion

Im Rahmen des Teilprojektes B (Institut für Phytopathologie) wurden auf 12 Praxisbetrieben (Marktfruchtbau) konventioneller (K) und ökologischer (Ö) Wirtschaftsweise vergleichende Analysen zur Erfassung von Schadorganismen, der Unkrautflora sowie wertmindernder Lebensmittelinhaltsstoffe abiotischen (Pflanzenschutzmittel) und biotischen Ursprungs (Mykotoxine) als indikatorgestützte Bewertungsschlüssel auf Betriebsebene durchgeführt. Als Indikatoren werden in der Winterweizenkultur beider Wirtschaftswesen neben den Pflanzenschutzmittelrückständen im pflanzlichen Aufwuchs (vegetative Blattmasse, Korn) und im Sickerwasser, die Mykotoxinbelastung des Ernteguts, das qualitative und quantitative Auftreten der relevanten pilzlichen Schaderreger (*Septoria tritici*, *Drechslera tritici-repentis*, *Blumeria graminis*, *Puccinia spp.*, *Fusarium spp.*, *Pseudocercospora herpotrichoides*), die Unkrautflora, sowie Ertrags- wie Qualitätsmerkmale analysiert.

Die auftretenden **Krankheiten** im Winterweizen wurden durch unterschiedliche Erreger hervorgerufen:

Das Befallsgeschehen der ökologischen und konventionellen Praxisvarianten mit dem Erreger des Halmbruchs *Pseudocercospora herpotrichoides* unterschied sich schon zu den ersten Boniturtermin (EC 31). Die Pflanzen der ökologischen Varianten waren zu diesem frühen Termin gering befallen bis befallsfrei, was mit den langjährig aufgelockerten Fruchtfolgen dieser Wirtschaftsweise zusammenhängt. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Verreet (1995). Durch den erhöhten Anteil von Nichtwirtspflanzen für Weizenpathogene (Klee gras – Körnerleguminosen – Hafer) in der Fruchtfolge, ist aus phytomedizinischer Sicht ein geringeres Ausgangspotential von Krankheitserregern für die Folgefrucht vorhanden (Verreet, 1995). Im Gegensatz zur konventionellen Bewirtschaftung ist der Getreideanteil in den Fruchtfolgen um ein vielfaches geringer, und es werden öfter Sommerungen eingeschaltet, die nach Hoffmann & Schmutterer (1999) zu einer verminderten Befallsgefährdung führen können. Der Winterweizenanbau in den konventionellen Betrieben ist intensiver und meist nur durch den einjährigen Anbau von Kartoffeln, Winterraps oder Zuckerrüben unterbrochen. Für eine spürbare Befallsreduktion ist aber eine Anbaupause von

mindestens zwei Jahren notwendig. Auch eine frühe Aussaat und erhöhte Saatstärken gepaart mit günstigen Herbst- und Wintertemperaturen begünstigt nach Hedke (1999) und Verreet (1995) durch Erschaffen eines günstigen Mikroklimas, die Befallssituation. Deutlich ist dies an den konventionellen Praxisvarianten sowie Kontrolle 2 in Fehmarn 2005 und 2006 (Abb. B14 und B22), PLÖ, HE und DW 2006 (Abb. B22) zu erkennen, die mit über 90% GES BHB zum EC 75 die höchsten Befallswerte erreichten. Aber auch die früh gedrillte ökologische Praxisvariante am Standort Schinkel (Aussaat 30.09.2003, 8.10.2004 und 27.9.2005, Saatstärke je 350 Körner) bestätigt mit einem Höchstwert von 36,75% BHB 2004, 64% BHB 2005 (Dekan) und 85% BHB (Dekan) bzw. 95% BHB 2006 (Bussard) diese Vermutung, die auch mit Ergebnissen von Zimmermann und Strass (1989) übereinstimmen.

Dass auf eine direkte Beeinflussung der Erträge nicht geschlossen werden kann, beobachteten schon Klink (1997) und Verreet (1995) und stuften die wirtschaftliche Bedeutung von *P. herpotrichoides* als zweifelhaft ein, solange kein parasitäres Lager eintritt. Diese Annahme konnte in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden, da der Betrieb in FE (K) trotz höchster Befallswerte von 42,5 % SUM BSB 2004 die höchste Ertragsleistung (121 dt/ha) verbuchen konnte. In den Folgejahren 2005 und 2006 wurden diese Beobachtungen bestätigt.

Vergleichend erreichten die konventionell bewirtschafteten Praxisvarianten einen fast doppelt so hohen Endbefall (EC 77/79) wie die ökologischen. Ein Einfluss auf Lagerbildung und indirekte Ertragseinbußen kann nicht abgeleitet werden. Der *Fusarium*- Befall (dessen Vermehrung durch parasitäres Lager begünstigt wird) ist in den tendenziell stärker befallenen konventionellen Varianten nicht erhöht. Ebenfalls weisen die am stärksten befallenen Praxisvarianten die höchsten Ertragsleistungen auf. Grund hierfür ist vor allem das für den konventionellen Landbau typische Stabilisieren der Pflanzen durch den Einsatz von Wachstumsregulatoren gepaart mit einer ausreichenden Wasserversorgung in Schleswig-Holstein, die über die gesamte Vegetationsperiode keinen Wassermangel induziert.

Die **Septoria-Blattdürre**, ausgelöst durch den Erreger *Septoria tritici*, war in allen Versuchsjahren des Projektes die bedeutendste Krankheit unter den gemäßigten Klimabedingungen Schleswig - Holsteins. Die Versuchsjahre waren allerdings geprägt durch zum Teil stark differierende Befallsverhältnisse. Tendenziell lagen die Befallsstärken der ökologischen Praxisvarianten im EC 31/33 weit unter denen der konventionellen Vergleichsvarianten, mit Ausnahme des Westküstenstandortes Heide im Jahr 2004, an dem der ökologisch geführte Bestand mit der Sorte Bussard einen mehr als doppelt so hohen Ausgangsbefall wie die konventionell bewirtschaftete Variante in Heide aufwies. Im Allgemeinen weist die Sorte Bussard an allen Standorten, Jahren und Varianten einen erheblich höheren Befall auf gegenüber der Sorte Dekan auf. Das liegt vor allem an der höheren Anfälligkeit dieser (Stufe 6) gegenüber dem Erreger der *Septoria*- Blattdürre.

Die Auswahl der Sorte ist in Bezug auf *Septoria tritici* entscheidend (Klink, 1997; Busse, 2001). So ist die natürliche bzw. züchterisch bearbeitete Toleranz der Sorten eines der ersten und wichtigsten Merkmale die ein Landwirt beachten sollte. Die vom Bundessortenamt ermittelten Ausprägungen zur Anfälligkeit für die *Septoria*-Blattdürre (Tab. B1) werden anhand der eigenen Untersuchungen in vollem Umfang bestätigt. Besonders deutlich wird das an der eingesetzten Winterweizensorte Bussard, deren Neigung zu *Septoria*-Befall mit 6 eingestuft wurde und dementsprechend auch in der Praxis die höchsten Befallswerte vergleichend zum Dekan während der gesamten Boniturperiode aufwies (Abb. B16, B17, B24, B25).

Neben dem Effekt der genetisch bedingten Anfälligkeit, spielt auch die spezifische Ausbildung des Blattapparates der einzelnen Sorten eine bedeutende Rolle. Grundsätzlich werden hochertragreiche Kurzstrohsorten anfälliger (Danon et al., 1982) als langstrohige und spätreife Sorten (Tavella, 1978) eingeschätzt. Die Architektur der Pflanze, also die Anordnung der einzelnen Organe und die Abstände untereinander, haben großen Einfluss auf den Befall aufgrund der geringen Überbrückungsdistanz für Regentropfen (Verreet, 1995). Auch der im überregionalen Anbau stehende Dekan war als kurz bis mittellange Strohsorte davon betroffen. Durch die kinetische Energie auftreffender Regentropfen werden die Pykno-sporen mittels Regenspritzer an jüngere, seitlich und höher inserierte Blattetagen getragen. Bei dicht zusammen liegenden Pflanzenorganen muss also deutlich weniger kinetische Energie zur Überwindung der Distanzen aufgebracht werden (Klink, 1997). Die Befallsstärken steigen. Zusätzlich bedingt auch die im Konventionellen Landbau übliche Behandlung mit Wachstumsreglern, das so genannte „Kurzspritzen“, eine Verringerung der Distanzen der unteren Blattetagen, und damit einen Befallsfördernden Einfluss auf den Krankheitserreger (Klink, 1997).

Aber nicht nur die im Erbmaterial fixierten, vor allem die abiotischen Einflussgrößen, wie z. B. die Witterung, üben eine übergeordnete Bedeutung auf das Auftreten von *Septoria tritici* aus. Für die epidemische Verbreitung im Bestand sind Pykno-sporen, die in weißlich scheinenden Schleimranken aus den Pyknidien hervortreten und durch auftreffende Regentropfen auf benachbarte Blattetagen befördert werden, verantwortlich (Anonymus, 2000). Für eine erfolgreiche Infektion sind günstige Temperaturen (15 – 25 °C), Blattnässedauer von mind. 35 h und anschließende Blattnässe größer 98 % für weitere 48h erforderlich (Klink, 1997). Durch eine geringere Bestandesdichte bzw. nicht so stark entwickelte Bestände, wie ungedüngte Bestände oder Bestände mit weiten Reihenabständen sie aufweisen, sowie höhere Windstärken können die Pflanzen schneller abtrocknen. Dies ist ein weiterer Grund für den durchschnittlich geringeren Befall der ökologischen Varianten.

Verreet (1995) untersuchte den Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Saat und dem Populationsaufbau im folgenden Frühjahr. Durch einen späten Saattermin und die dadurch bedingte Verschiebung des Feldaufgangs wird der Erreger *Septoria tritici* aufgrund der im November und Dezember herrschenden kühlen Witterung (Temperaturen unter 5 °C) stark in seiner Möglichkeit junge Pflanzen zu besiedeln, beeinträchtigt. Somit soll bei variierenden Saatterminen ein ebenfalls variierendes Inokulum im unteren Pflanzenbereich hervorgerufen werden, welches einen großen Einfluss auf den Verlauf und die Schwere einer Epidemie nimmt. Der Einfluss der Terminierung der Saat auf die Populationsdynamik kann anhand der eigenen Ergebnisse bestätigt werden. Die Saat der ökologischen Praxisvariante von Fehmarn erfolgte erst Ende Oktober (Tab. B4), während der Großteil der Sorten der übrigen Varianten schon vor dem 25. September gedrillt wurde (Tab. B4). Der Epidemieverlauf bewegte sich hier während der Vegetationsperioden auf dem niedrigsten Niveau und erreichte auch zum EC 75 auf den ertragsessentiellen Blattetagen F bis F-2 den geringsten Endbefall (Abb. B11, B17, B25).

Letztlich führten aber auch die chemischen Bekämpfungsmaßnahmen im konventionellen Bestand zu den, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, sichtbar reduzierten Befallsstärken der Praxisvarianten. Daraus resultieren ebenfalls die gesteigerten Erträge der Praxisvarianten (Abb. B38; Tab. B24), die auf einer länger assimilationsfähigen Blattfläche infolge eines geringeren Nekrotisierungsgrades basieren (Hedke, 1999).

Nach Hoffmann & Schmutterer (1999) ist der Erreger *Blumeria graminis* weltweit verbreitet und tritt hauptsächlich in den gemäßigten Klimabereichen Europas auf. In Schleswig – Holstein konnte in Untersuchungs Jahren ein niedriges Befallsniveau beobachtet werden. Die Westküstenstandorte blieben, einschließlich der anfälligeren Öko-Sorten Achat und Bussard 2004, während der gesamten Boniturperioden weitgehend befallsfrei.

Nur zur Herbstbonitur im November 2005 (Abb. B26) (Versuchsjahr 2005/2006) wurde auch an diesen Standorten ein Befall festgestellt, da sehr mild Temperaturen in dieser Zeit den Befall stark förderten. Gründe für den insgesamt niedrigen bis fehlenden Befall sind wahrscheinlich die häufig starken Westwinde, die eine Ausbreitung und Etablierung des Erregers vom Landesinneren her verhindern (Busse, 2001). Im weiteren Inland hin zur Ostküste Schleswig – Holsteins erreichte der Erreger hingegen eine höhere Befallsprogression. Der Echte Mehltau ist als obligat biotropher Parasit von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig und somit als Resultat einzelner, einander beeinflussender Indikatoren zu betrachten. Einen der wichtigsten stellt dabei der pflanzenbauliche Parameter der Sortenwahl dar. Mit der Winterweizen-Sorte Dekan wurde eine gegen den Mehltau resistenterere Sorte angebaut, während die Sorte Bussard vom Bundessortenamt allesamt für anfälliger eingestuft wurden (Tab. B1). Die höheren Befallsstärken der Sorte Bussard an den Standorten mit Befall im Versuchsjahr 2005 und 2006 belegen dies.

Gründe für die gesteigerten Befallssummen können neben der frühen Aussaat, die laut Klink (1997) und Verreet (1995) zu erhöhten Befallswerten führen kann, v. a. die gesteigerten Stickstoffgaben (N-Gaben) während der Vegetation verantwortlich sein. Zum Einflussfaktor Saatzeit sind in der Literatur widersprüchliche Angaben zu finden. Während Klink (1997), Verreet (1995) und Kluge (1990) davon ausgehen, dass stark befallene Frühsaaten im Herbst mit steigenden Befallswerten im Frühjahr einhergehen, ermittelten Hedke (1999) und Wittrock (2001) einen höheren Befall der Spätsaaten und begründen dies mit jüngerem Gewebe und besserer N-Versorgung der Einzelpflanze. Auch die vorliegenden Versuchsergebnisse lassen keine einheitliche Betrachtung zu. Im Herbst 2004 (Versuchsjahr 2004/2005) sind insbesondere in dieser Fragestellung die konventionellen Flächen Ostholsteins mit *B. graminis* befallen. Die ökologischen Bestände sind befallsfrei (Abb. B18). Der Einfluss der frühen Saatzeit bestätigt sich hier. Zur Herbstbonitur 2005 (Versuchsjahr 2005/2006) weisen alle Bestände Befall auf, unabhängig von der Wirtschaftsweise. Tendenziell haben aber die konventionellen Betriebe einen höheren Befall, was wieder in der frühen Saatzeit begründet liegt (Abb. B26). Im Frühjahr 2005 und 2006 konnte diese Beobachtung allerdings nicht fortgeführt werden. Vornehmlich sind in diesen Jahren die ökologischen Varianten befallen. Allerdings sind die Befallsstärken insbesondere 2006 deutlich zurückgegangen. Grund hierfür waren die lang anhaltend kalten Temperaturen im Winter 2005/2006. Zur Endbonitur ging der Befall im Durchschnitt weiter zurück, da im Sommer eine warme trockene Witterung vorherrschte (Abb. B27+B28).

Nach Hoffmann und Schmutterer (1999) können die Folgen eines leichten Befalls mit Mehltau nur begrenzt kompensiert werden. Auch andere Autoren (Anonym, 2000) gehen davon aus, dass durch Mehltau hervorgerufene Ertragsverluste bis zu 25 % und mehr betragen können. Durch den Einsatz von Fungiziden im konventionellen Landbau wurden alle pilzlichen Erreger in ihrer Befallsstärke erheblich reduziert und Verluste vermieden. Eine Ertragssteigerung von 11 % (Dekan) bis 16 % Bussard (Abb. B38) von unbehandelt zu behandelt konnte so realisiert werden, welche allerdings nicht nur von der Reduktion des Erregers *Blumeria graminis* abhing, sondern von der Summe der Reduktion aller aufgetretenen Krankheitserreger.

Der Erreger des **Braunrostes** *Puccinia recondita* war sowohl 2004 und 2005 als auch in den vergangenen Jahren in Schleswig – Holstein von untergeordneter Bedeutung (Wittrock, 2004). Lediglich die unbehandelten Kontrollvarianten 2004 (Abb. B13) im Osten des Landes wiesen geringe Befallswerte auf, was auf die Anfälligkeit des Dekans für Braunrostbefall (Stufe 8, Bundessortenamt) zurückzuführen ist. 2005 wurden diese Beobachtungen bestätigt (Abb. B21). Die Befälle bildeten sich im Osten von Schleswig–Holstein. Primär waren allerdings die ökologischen Varianten befallen. Durch die Behandlung mit Fungiziden konnte ein Ausbrechen der Krankheit in den konventionellen Praxisvarianten verhindert werden (Abb. B21), so dass keine Ertragseinbußen eintraten, die auf den Befall mit Braunrostes zurückzuführen sind. Dass die Bestände der ökologisch bewirtschafteten Betriebe im Versuchsjahr keinen Befall mit den charakteristischen Rostpusteln aufwiesen, liegt neben den geringen Anfälligkeiten der Öko – Sorten für das Pathogen (Tab. B1) vor allem an der niedrigen N–Zufuhr im Ökolandbau (Tab. B5), denn ebenso wie der echte Mehltau ist auch der Erreger des Braunrostes ein obligat biotropher Parasit, der sich von lebendem Pflanzengewebe ernährt. Allerdings kann aufgrund der Beobachtungen im Jahr 2005 diese Vermutung nicht erhärtet werden, da vornehmlich der ökologisch angebaute Weizen beider Sorten betroffen war. Grund hierfür war der geringere Befall mit *Septoria tritici* der ökologischen Varianten, die dadurch einen gesünderen Blattapparat und somit eine bessere Lebensgrundlage für *P. recondita* darstellten als die stark befallenen und damit stark nekrotisierten Blätter der konventionellen Vergleichsvarianten. Im Versuchsjahr 2006 konnte sich der Erreger *P. recondita* aufgrund der trockenen und warmen Witterung im Juni und Juli stark ausbreiten. An allen Standorten und Varianten war ein Befall festzustellen. Die höchsten Befälle wiesen die Varianten der Kontrolle 2 des konventionellen Anbaus auf. Durch die vorhandene N–Düngung aber fehlende Behandlung mit Fungiziden waren die Pflanzen dieser Variante am anfälligsten. Eine hohe N–Düngung führt demnach, wie schon bei *Blumeria graminis* beschrieben, zu erhöhten Befallsraten aufgrund üppig gewachsener Bestände und den daraus resultierenden günstigen mikroklimatischen Bedingungen für die Entwicklung des Erregers (Verreet, 1995) sowie niedermolekulare Stickstoffverbindungen als Nahrungsgrundlage.

Die Verteilung von **Mykotoxinen** im Erntegut verlief im Untersuchungsjahr 2004 entlang einem Gradienten von West nach Ost. Dabei wies der Westküstenstandort Niebüll die höchste Belastung mit den sekundären Toxinen DON und ZEA auf. Diese Verbreitung kann in Zusammenhang mit der Verteilung der mittleren hygrischen Ozeanität Schleswig – Holsteins stehen (Beyer, 2005).

Da an den übrigen Versuchsstandorten sowohl DON als auch ZEA in nur geringen bzw. nicht nachweisbaren Konzentrationen enthalten war, wird auf die Diskussion selbiger verzichtet.

Der erhöhte *Fusarium*– Befall der konventionellen Praxisvariante Nordfrieslands, induziert neben den höchsten DON– Konzentrationen (0,61 ppm) auch die höchsten Gehalte mit ZEA (56 µg/kg) im Erntegut. An diesem Standort herrscht aufgrund der Nähe zur Nordsee ein kühleres und feuchteres Klima, welche insbesondere in der Blüte den Befall mit *Fusarium*– Arten fördert. Etwas anders liegt der Fall der ökologischen Praxisvariante von Nordfriesland. Obwohl die Ähren der Praxisvariante zum EC 83 (27.07.04) mittels Sichtbonitur als befallsfrei eingestuft wurden, wurden nach der Ernte die höchsten DON–Konzentrationen der ökologisch bewirtschafteten Betriebe (0,36 ppm) gemessen. Grund hierfür kann der längere Zeitraum zwischen letzter Bonitur (27.07.04) und Ernte (23.08.04) gewesen sein, der noch

ausgereicht haben könnte, um Infektionen, die zum EC 83 vorhanden aber noch nicht sichtbar waren, auszubilden. Im Versuchsjahr 2005 konnten an den Standorten Nordfriesland (K) in der Sorte Dekan sowie auf den ökologisch wirtschaftenden Betrieben in Heide, Dänischem Wohld und Plön Mykotoxinbelastungen festgestellt werden. Die Witterungsbedingungen zur Blüte (Mitte Juni 2005) mit einigen Niederschlagsereignissen förderten den Befall ebenfalls. Die Belastungen lagen jedoch alle unter den Höchstwerten, die in der Mykotoxinhöchstmengenverordnung angegeben sind. Zwar ist wie 2004 wieder ein Befall an den Westküstenstandorten feststellbar, andere Standorte im inneren des Landes sind allerdings ebenfalls betroffen. Im Versuchsjahr 2006 konnte an keinem Standorte eine Mykotoxinbelastung festgestellt werden. Dies liegt an den, für die Erreger ungünstigen Witterungsbedingungen zur Blüte (EC 61–69). In dieser Zeit herrschte eine trockene warme Witterung, die ein Eindringen des Erregers in die Blüte verhinderte.

Pflanzenschutzmittel–Rückstände wurden zum einen in Ganzpflanzen sowie im Erntegut analysiert. Aufnahme, Verteilung, Metabolisierung und Detoxifizierung bestimmen die Konzentrationen von bestimmten Substanzen an ihrem Wirkort (MÜLLER, 1986). Die durchgeführte Bilanzierung des Verbleibs der Wirkstoffe eingesetzter Pflanzenschutzmittel während der Entwicklung des Bestandes, insbesondere zu Beginn der Einlagerungsphase, am Beispiel zwei konventionell wirtschaftender Betriebe, erlaubt eine Beurteilung von möglichen Rückständen im vegetativen Aufwuchs und vor allem im Ernteprodukt. An den vier Untersuchungsterminen während der Vegetation wurden im Pflanzenmaterial die Fungizidwirkstoffe Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Spiroxamin, Tebuconazol, Epoxyconazol, Prothioconazol und Triadimenol, sowie die Insektizidwirkstoffe Cyhalothrin, Oxydemetonmethyl nachgewiesen. Alle Wirkstoffe unterlagen einem, gemäß ihrer chemischen Struktur schnelleren oder langsameren Metabolismus, so dass das Ernteprodukt Korn nicht mit Restmengen belastet war.

Alle genannten Fungizidwirkstoffe wirken systemisch, also direkt in der Pflanze. Sie werden über das Xylem akropetal in Richtung der Blattspitzen und junger Blätter transportiert und besitzen neben einer protektiven auch eine eridikative Wirkung (Perkow, 1993). Der Abbau der Wirkstoffe in der Pflanze verläuft vor allem durch oxidative Reaktionen, hydrolytische Spaltungen und durch Bildung von Konjugaten (Börner, 1997). Die Wirkstoffe werden in der Regel durch eine unterschiedliche Anzahl von Metabolisierungsschritten in Stoffe umgewandelt, die nicht mehr fungizid bzw. phytotoxisch wirken (Perkow, 1993).

Die letzte Applikation mit Fungiziden erfolgte bei allen Betrieben zu EC 69. Zum ersten Untersuchungstermin lagen die Wirkstoffe in verschiedenen hohen Konzentrationen im vegetativen Pflanzenaufwuchs vor (Abb. B40+B41). Zu den nächsten drei Untersuchungsterminen erfolgte ein Rückgang der Konzentrationen in der Pflanze, der anhand von zwei Faktoren zu erklären ist. Einerseits der wirkstoffspezifische Abbau, der wegen der chemischen Grundstruktur bei einigen Wirkstoffen (z.B. beim Tebuconazol) schneller, bei anderen (Pyraclostrobin) langsamer erfolgt (Perkow, 1993). Andererseits ist auch ein Abnehmen der Konzentrationen auf Grund fortschreitender Seneszenz älterer Pflanzenorgane, einhergehend mit Verrottung und Abfallen älterer Blätter denkbar. Zur Ernte waren alle Fungizidwirkstoffe soweit abgebaut, dass sie im Erntegut nicht mehr bzw. nur noch unter den Nachweisgrenzen vorhanden waren.

Insektizide haben ihren Wirkort zwar nicht in der Pflanze, gelangen aber während der Insektenbekämpfung gelegentlich auf und zum Teil auch in das Pflanzeninnere. Perkow &

Ploss (1993) beschreiben die Eigenschaften von Cyhalothrin als nicht systemisch mit hoher Dauerwirkung. Der Abbau erfolgte gemäß den Erkenntnissen von Perkow & Ploss (1993) nur langsam. Die Halbwertszeit an der Pflanzenoberfläche beträgt einige Tage bis mehrere Wochen. Beim Abbau finden hauptsächlich Esterspaltungen zu Metaboliten mit höherer Polarität und Wasserlöslichkeit statt. Der Grund für das Nichtvorhandensein im Erntegut liegt lediglich darin, dass der Wirkstoff nicht systemisch verteilt wird, also auch nicht in die Ähre verlagert werden kann.

Gegenüber den fungiziden und insektiziden Wirkstoffen ließ sich der wachstumsregulatorisch wirkende Wirkstoff Chlormequat in jeder konventionellen Kornprobe unter der Toleranzgrenze von 2 mg/kg Korn nachweisen. Der gesetzlich festgelegte Grenzwert wurde dadurch eingehalten, die Nachweise zeigen jedoch, dass bei konventioneller Ware nicht von Rückstandsfreiheit gesprochen werden kann. Allerdings sind aufgrund der geringen Mengen keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten.

Erträge und Qualitäten sind zentraler Indikator für die Leistungsfähigkeit eines Bewirtschaftungssystems. Auf Grund des warmen und trockenen Wetters im Herbst 2003, 2004 und 2005 war in Schleswig Holstein eine termingerechte Aussaat des Winterweizens möglich. Ebenso erlaubte diese Witterung eine gute Bestandesentwicklung vor dem Winter. Einem überwiegend feuchtem Frühjahr 2004 mit moderaten Temperaturen folgte ein nasser Frühsommer mit kühlen Temperaturen und vergleichsweise wenigen Sonnentagen bis Ende Juli. Dieser Witterungsverlauf bedeutete eine um ein bis zwei Wochen verzögerte Abreife des Weizens. Erst im August waren die ersten drei Wochen der Jahreszeit entsprechend warm und trocken. Eine Regenphase gegen Ende August verzögerte den Erntefortschritt und führte in den betroffenen Regionen teilweise zu erheblichen Qualitätseinbußen des Getreides (Lindhauer et al., 2005). Im Frühjahr 2005 herrschte eine längere Kälteperiode bis März 2005 vor, wodurch die Bestände in ihrer Entwicklung zurücklagen. Die Witterung zur Ernte 2005 war nicht optimal, da durch diverse Niederschlagsereignisse der Erntezeitpunkt vielerorts hinausgezögert wurde und die Qualitäten absanken. Das Jahr 2006 war ebenfalls durch ein kaltes Frühjahr gekennzeichnet. Trotz des Entwicklungsrückstandes im Frühjahr und des heißen, trockenen Sommers kam es in 2006 zu den höchsten Erträgen aller Versuchsjahre (Tab. B24).

Das Erntegut aller konventionell bewirtschafteten Praxisvarianten der Versuchsreihe erfüllten in allen Vegetationsjahren alle für die Vermarktung geforderten Qualitäten in der Qualitätsgruppe B (Tab. B25). Nicht nur die Fallzahlen, auch die Sedimentationswerte und die Rohproteingehalte aller Ernteproben lagen deutlich über den vorgegebenen Werten. Gründe hierfür sind in der gesteigerten, angepassten und bedarfsgerechten Düngung zu finden. Anders als im ökologischen Landbau werden mineralische Düngemittel eingesetzt, so dass vor allem in den Hauptwachstumsphasen (Bestockung, Schossen und Einlagerung) den Pflanzen ausreichend Nährstoffe zur Verfügung stehen (Finck, 1991). Außerdem werden durch das erhöhte N-Angebot Seneszenzerscheinungen herausgezögert, so dass die Einlagerung verlängert stattfinden kann (Geisler, 1988). Weiterhin kann auf plötzlich auftretenden Nährstoffmangel kurzfristig reagiert werden, so dass die Pflanze während der gesamten Vegetationsperiode optimal versorgt wird. Durch eben genannte Maßnahmen (der gesteigerten Nährstoffversorgung) steigt aber auch die Gefahr des Befalls, vor allem mit obligat biotrophen Erregern, wie Mehltau oder Rost, sowie das Befallsrisiko für Fusarien, durch die verzögerte Abreife (Berg, et al., 2003) und daraus resultierende Ertrags- sowie

Qualitätseinbußen. Dies trat im konventionellen Anbau jedoch nicht ein, da durch angepasste, schadschwellenorientierte Pflanzenschutzmaßnahmen die Pflanzengesundheit erhalten werden konnte. Dass dem Prinzip der „guten fachlichen Praxis“ im konventionellen Landbau Genüge getan wurde, wird auch daran deutlich, dass alle Ernteproben der Praxisvarianten nicht mit Pflanzenschutzmittelrückständen fungizider und insektizider Herkunft belastet waren. Die wertmindernden Mykotoxine DON und ZEA wurden im Rohgetreide nur in geringen Mengen deutlich unter den geforderten Höchstmengen für weiterverarbeitete Getreideerzeugnisse festgestellt und stellen somit keine Qualitätsbeeinträchtigung dar (Tab. B25).

Auch die Erträge im konventionellen Landbau lagen erwartungs- und erfahrungsgemäß deutlich über denen des Ökologischen.

Die Qualitäten der ökologisch wirtschaftenden Versuchsbetriebe unterliegen starken Schwankungen und entsprechen nur in einzelnen Fällen den Qualitätsanforderungen. Die E-Weizensorten Achat, Bussard und Capo erreichten zwar hohe Fallzahlen, die über den geforderten Werten lagen, aber die Rohproteingehalte und Sedimentationswerte konnten die vorgegebenen Standards im Jahr 2004 nicht erreichen. Der A-Weizen Ökostar, der in Schinkel (ö) angebaut wurde, erreichte etwas bessere Qualitäten. Auch im Versuchsjahr 2005 wiesen die ökologisch erzeugten Kornproben deutliche Schwächen bei der Qualität auf (Tab. B25). Die Mindestanforderungen für Fallzahlen, und Sedimentationswert wurden zwar vielfach erreicht, die Rohprotein- und Feuchtklebergehalte blieben aber deutlich unter den geforderten 13 %. Gründe für die schwach ausgebildeten Qualitäten sieht Pommer (2003) in der ungünstigen N-Versorgung. Zur Synthese von Korneiweiß ist eine genügende N-Nachlieferung in späten Wachstumsstadien nach der Blüte notwendig. Hier besteht im ökologischen Landbau in der Regel ein deutlicher Mangel, weil die N-Versorgung durch zwei Engpässe ausgedünnt wird. Zum einen sind die Vorräte an Stickstoff im Boden im Mai ausgeschöpft, zum anderen neigen hochleistungsfähige Weizensorten dazu, den zum Schossen verfügbaren Stickstoff vollständig zu nutzen, so dass bei begrenzten Vorräten für die Versorgung zur Bildung der Kornanlagen nicht mehr ausreichend Stickstoff zu Verfügung steht (Pommer, 2003). Auch Finck et al. (1991) sehen im niedrigen Düngungsniveau die schlechteren Backqualitäten ökologischen Weizens begründet. Sie führen weiterhin an, dass ein geringeres N- Düngungsniveau nicht nur Rohprotein- und Glutengehalte vermindert, sondern auch die Zusammensetzung des Glutens (Klebereiweiß) verändert. Neben der N-Versorgung spielen zur Ausbildung der Backqualität der Befall mit Krankheiten, insbesondere mit den obligat biotrophen Schadpathogenen Mehltau und Braunrost, aber auch den Ährenfusarien eine große Rolle. Die obligaten biotrophen Parasiten reduzieren direkt den Proteingehalt, da sie zur Ableitung von Nährstoffen vom Korn in die befallenen Blätter führen, während bei Fusarium- Befall die Gluteningualität erheblich beeinträchtigt wird (Pawelzik et al., 1998). Da im ökologischen Landbau synthetische Pflanzenschutzmittel nicht angewendet werden dürfen, und Alternativen zur Bekämpfung von Schadpathogenen dürftig sind, wiesen auch die ökologischen Praxisvarianten in den eigenen Versuchen einen tendenziell höheren Befall mit *Blumeria graminis* und *Fusarium* spp. auf, was den von Pawelzik et al. angegebenen Schlussfolgerungen zustimmen lässt. Wie auf Grund des Verbots synthetischer Pflanzenschutzmittelanwendung zu erwarten war, wies das Erntegut der ökologischen Ernteproben keine Rückstände von Pflanzenschutzmitteln auf. Trotz des mittleren Befalls mit Ährenfusarien im Jahr 2004 wurden im Rohgetreide der ökologisch bewirtschafteten Varianten nur sehr geringe Mengen an DON nachgewiesen, die allerdings

unter den vorgegebenen Höchstmengen für weiterverarbeitetes Speisegetreide lagen. ZEA wurde nicht nachgewiesen. Die Jahre 2005 und 2006 waren weiterhin durch sehr niedrige bis keine Mykotoxinbelastung gekennzeichnet (Tab. B25). Dass die Erträge der ökologischen Praxisvarianten um fast die Hälfte niedriger ausfielen (Tab. B24), liegt zum einen an der problematischen Nährstoffversorgung (vor allem auf viehlosen Betrieben) und zum anderen an den begrenzten Möglichkeiten zur Reduzierung von Schadpathogenen.

Die **Artenzahlen der Beikräuter (Unkräuter)** unterschieden sich an allen vier Boniturterminen hochsignifikant zwischen den Bewirtschaftungsformen ($p < 0,01$). Damit war die Artenvielfalt auf den ökologischen Flächen (59 Arten) insgesamt wie bei allen sechs Betriebspaaren einzeln betrachtet höher im Vergleich zu den konventionellen Flächen (36 Arten). Eine artenreiche und diverse Ackerwildpflanzenvegetation sei nicht nur im Sinne einer generellen Förderung der Biodiversität in Agrarökosystemen wünschenswert (Marshall et al., 2003) sondern sie begünstige auch die Pflanzenproduktion durch die Förderung von Nützlingen und durch die Verhinderung der Ausbildung von dominanten „Problem-“ und herbizidresistenten Arten (Clements et al., 1994). Durch die auf den konventionellen Flächen eingesetzten Herbizide bildeten sich an jedem Standort eine Gruppe von wenigen Arten, die in ähnlicher Dichte vorkommen. Bei zunehmender Störung von Ackerunkrautgesellschaften unter Herbizideinfluss beschrieb Haeupler (1982) in einem ersten Schritt ein Absinken der Artenzahl und der Evenness, die ein Maß für die Gleichmäßigkeit der Mengenverteilung innerhalb einer Artengemeinschaft darstellt. Im zweiten Schritt wurde ein weiteres Absinken der Artenzahl bei gleichzeitiger Erhöhung der Evenness beobachtet, bis die wenigen verbliebenen Arten in gleich geringer Menge vertreten waren.

Die in Tabelle B20 bonitierten **Unkrautdichten** von 3 bis 419 Pflanzen/m² mit Mittelwerten von 114,9 Pflanzen/m² auf den konventionellen Flächen und 194,7 Pflanzen/m² auf den ökologischen Flächen wurden in dieser oder ähnlicher Höhe auch an anderer Stelle gezählt (Drews et al., 2004: ökologische Flächen: 182–512 Pflanzen/m²; Drews, 2005: ökologische Flächen: 156–303 Pflanzen/m²; Blumenberg, 1987: konventionelle Flächen: 28,4 Pflanzen/m² im Jahr 1984, 40,4 Pflanzen/m² im Jahr 1985). Dabei muss berücksichtigt werden, dass wenn ein Unkraut auf konventionellen Flächen mit Herbiziden nicht mehr in den Griff zu bekommen ist, die Unkrautzahlen pro Quadratmeter auch über diejenigen auf ökologischen Flächen hinausgehen können. Diese Beobachtung wurde hier aufgrund ausgebildeter Resistenzen gegenüber vielen herbiziden Wirkstoffen auf einer konventionellen mit *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) stark verunreinigten Fläche gemacht, die von allen zwölf Flächen die absolut höchsten Unkrautdichten besaß.

Die im Abschnitt 5.3.3.14. geschätzten **Unkrautdeckungsgrade** von im Mittel 21,2 % auf den ökologischen Flächen im Juni und 13,9 % auf den konventionellen Flächen sind allerdings höher gegenüber Drews, 2004: Unkrautdeckungsgrad ohne Striegel: 2,4 – 10,2 %). Die hier nicht erhobene Gesamtsamenmenge, auch das Samenpotential oder Diasporenbank genannt, schwankt in der Literatur enorm von unter 100 (Snell, 1912) bis über 1 Mio. Samen/m² (Chancellor, 1965). Im Durchschnitt wurde in der Mitte des 20. Jahrhunderts noch davon ausgegangen, dass selbst auf gering verunkrauteten Flächen 10.000 bis 30.000 Samen in einem Quadratmeter Ackerboden liegen und dass diese auf stark verunkrauteten Flächen auf etwa 300.000 Samen/m² ansteigt (Koch, 1969). Neuere Untersuchungen gehen davon aus, dass nur noch 1.000 – 5.000 Unkrautsamen/m² auf intensiv geführten Ackerschlägen gefunden werden können (Hurle, 1988; Sprenger, 2004). In der Literatur werden, wie auch in den hier durchgeführten Versuchen, Angaben von 100–300 keimenden Unkräutern gemacht,

so dass jährlich ungefähr 1 – 3 % aller im Boden vorhandenen Samen keimen (Dierauer & Stöppler-Zimmer, 1994).

Der **Einfluss der Unkräuter auf den Kornertrag** konnte nur in der Kontrolle 2b in einer Regression dargestellt werden, da eine einheitliche N-Versorgung garantiert werden muss, um keine Scheinbeziehungen zu erhalten. Bei der durchgeführten Regression ergab sich eine negative Steigung von etwa 0,82. Das bedeutet also, dass ein zusätzliches Prozent an Unkrautdeckungsgrad den Relativertrag um 0,82 Prozentpunkte senkt, bei einem Bestimmtheitsmaß von etwa 62 %, da unter anderem auch unterschiedliche Krankheiten und Schaderreger in der nicht mit Fungizid und Insektizid behandelten Kontrolle 2b Einfluss auf den Ertrag haben (Abb. B34). Diese Art der Darstellung wurde in ähnlicher Form unter anderem angewandt bei Beer & Heitefuss (1981) und Garburg (1974). Der Kulturdeckungsgrad steht hier nicht in linearer sondern logarithmischer Beziehung zum Ertrag, da hier einerseits die Relativerträge betrachtet wurden und andererseits bereits Kulturdeckungsgrade von etwa 60 % den Relativertrag von 100 % erreichen und eine Erhöhung des Kulturdeckungsgrades natürlich keine Erhöhung des Relativertrages über 100 % zur Folge hat. Da jetzt eine Bedeckung des Bodens durch die Kultur von lediglich 60 % bereits den maximalen Ertrag bilden kann, ist eine Erhöhung der Blattmasse durch dichtere Bestände nicht nötig, was allerdings bedeutet, dass der nicht durch die Kultur ausgefüllte Deckungsgrad von 40 % eine Stärkung des Unkrauts zur Folge hat.

Beim Vergleich von konventioneller und ökologischer Landbewirtschaftung sind die sich stark unterscheidenden Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Durch den gewollten Verzicht von mineralischen Stickstoffdüngern und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln (hier insbesondere die Herbizide) sind der gezielten Manipulation des Pflanzenbestandes enge Grenzen gesetzt. Der Erfolg der **mechanischen Unkrautregulierung**, insbesondere der Einsatz von Striegelgeräten, hängt, wie immer wieder dargestellt wird (Dierauer & Stöppler-Zimmer, 1994; Zwerger & Ammon, 2002) maßgeblich von den vorherrschenden Witterungsverhältnissen ab. Durch die z.B. sehr spät einsetzende Vegetation in 2006, verbunden mit der dann schnellen Austrocknung der oberen Bodenschicht war das Zeitfenster für einen erfolgreichen Striegeleinsatz sehr klein. Da die Landwirte zusätzlich viele andere Aufgaben in diesem Zeitraum zu erledigen hatten, konnte der optimale Termin mancherorts nicht genutzt werden. Das schlug sich dann in den Wirkungsgraden der mechanischen Unkrautmaßnahmen nieder. Die im Abschnitt 5.3.3.12 erwähnte Reduktion der Unkrautdeckungsgrade betrug zur abschließenden Bonitur im Mittel gerade mal 35,1 % über alle Standorte, schwankend von 25,0 % bis 53,1 % (Abb. B32), während die **chemische Unkrautregulierung** auf den konventionellen Flächen in der Praxisvariante 99,5 % aller Unkräuter beseitigt hatte. Im Versuchsjahr 2005 konnten die Wirkungsgrade in gleicher Weise beziffert werden. Der Herbizideinsatz der konventionellen Betriebe reduzierte das Unkrautvorkommen um 96%, die mechanische Unkrautbekämpfung dagegen nur um 40%. Bei Korr et al. (1996) wurden durch den Einsatz von Herbiziden 94 % aller Unkräuter beseitigt, der mehrfache Striegeleinsatz brachte in jener Arbeit bessere Resultate mit durchschnittlicher Reduktion der Unkräuter um 71 %, einmaliges Striegeln beseitigte 58 % der Unkräuter. Zu den geringen Wirkungsgraden in diesen Versuchen kommt, dass in der Praxisvariante der ökologischen Flächen trotz 35 % weniger Unkrautdeckungsgrad auf keiner Fläche signifikant höherer Mehrertrag im Vergleich zur Kontrolle 1 („Nullparzelle“) erzielt werden konnte, wohingegen der alleinige Einsatz von Herbiziden in der Kontrolle 1b, dargestellt in der Abb. B38, im Mittel über die sechs

Standorte einen Mehrertrag von rund 16 dt/ha (+ 27,5 %) im Vergleich zur Kontrolle 1 brachte, was den Einsatz der Herbizide zumindest ökonomisch rechtfertigt. Die Verluste bei nicht durchgeführter Unkrautregulierung auf durchschnittlichen Weizenstandorten Deutschlands werden bei Oerke et al. (1994) ähnlich mit 23,9 % beziffert.

Bei einzelner Betrachtung der **Erträge der Sorten**, ebenfalls dargestellt in der Tabelle B24, ist Dekan zwar in allen Varianten ertraglich deutlich überlegen, allerdings schrumpft der Unterschied in der Kontrolle 2b. Das spiegelt die Angaben der Beschreibenden Sortenliste (Anonymus, 2005) des Bundessortenamtes (BSA) wieder, in der Dekan als B-Weizen die Ertragsnote 7 aufweist, während Bussard als E-Weizen lediglich die Ertragsnote 3 erhält. Während Dekan in der Kontrolle 1 in der Lage ist, trotz Nährstoffmangel einen Ertrag von 67,9 dt/ha zu bilden, steigt der Ertrag durch praxisübliche Stickstoffdüngung um lediglich 23,3 % auf 83,7 dt/ha, da die Pflanzenlänge mit 4 bonitiert ist. Durch den relativ kurzen Wuchs ist Dekan in der gedüngten Kontrolle 2b nicht mehr in der Lage, die nitrophilen Leitunkräuter wie z.B. *Galium aparine* oder *Stellaria media* zu unterdrücken. Der durchschnittliche Unkrautdeckungsgrad im beträgt 25,7 %. Bussard hingegen ist in der Pflanzenlänge mit der Note 7 bonitiert und ist somit deutlich länger als Dekan und kann deshalb die Unkrautkonkurrenz besser unterdrücken. Daher steigt der wesentlich geringere Ertrag in der Kontrolle 1 von 48,8 dt/ha um mehr als die Hälfte (54,7 %) auf 75,4 dt/ha. Der Unkrautdeckungsgrad in der Kontrolle 2b ist mit 17,1 % signifikant niedriger als derjenige in der Sorte Dekan ($p < 0,05$). In der Praxisvariante bei ausgeschalteter Unkrautkonkurrenz ist dieser Vorteil nicht mehr so ausgeprägt. Man kann daher gerade auch in Bezug auf die Unkrautkonkurrenz die Sorte Bussard als „High-Input“ Sorte bezeichnen, während Dekan besser als Bussard in der Lage ist, bei geringer Intensität relativ hohen Ertrag zu bilden („Low-Input“).

In den ökologischen Varianten konnte keine Ertragssteigerungen durch die mechanische Unkrautbekämpfung realisiert werden (Abb. B38). Bei den in Abbildung B32 festgestellten geringen Erfolgen der mechanischen Unkrautregulierung sollte man überlegen, konkurrenzstarke Sorten bei geringem Reihenabstand anzubauen und vollständig auf Unkrautregulierung zu verzichten, wie auch teilweise empfohlen wird (Andersson, 1986; Hoff, 1990). Das dann entstehende Problem ist, genau wie bei dem Einsatz von so genannten Schadensschwellen auch im konventionellen Landbau, die nur schwer zu quantifizierende Folgeverunkrautung in den darauf folgenden Jahren, aber auch die Restverunkrautung zur Ernte. Besonders bei *Alopecurus myosuroides* aber auch bei *Galium aparine* beobachtete Blumenberg (1987) bei nicht durchgeführter Herbizidmaßnahme aufgrund der Tatsache, dass die Unkrautdichte unterhalb der Schadensschwelle lag, bereits im zweiten Folgejahr eine signifikante Zunahme der keimenden Ackerfuchsschwanzpflanzen pro Quadratmeter. Trotzdem war die Schadensschwelle nicht überschritten. Um diesen Trend weiter zu verfolgen, müssten die Flächen laut Blumenberg (1987) über einen sehr viel längeren Zeitraum betrachtet werden. Bartels (1984) stellte hingegen auch im vierten Jahr nach Einführung der Schadensschwellen keine Unterschiede in der Verunkrautung der Varianten fest. Entstehende Probleme bei der Restverunkrautung sind Mähdruschbehinderung sowie Erhöhung der Kornfeuchten und des Schwarzbesatzes (Heitefuss & Wahmhoff, 1985). Insbesondere bei der Produktion von zertifiziertem Saatgut werden Unkrautanteile von weniger als einem Prozent gefordert, die schon bei geringen Verunkrautungen überschritten werden. Zwar kann das Saatgut gereinigt werden, allerdings entstehen dabei zusätzliche Kosten, die der Verunkrautung angerechnet werden müssen. Hinzu kommt, dass die

Bestandesdichten heute durch reduzierte Saatstärken und verminderte N-Düngung deutlich geringer sind, so dass in den 80er Jahren entwickelte Schadensschwellen eventuell nach unten korrigiert werden müssten.

Die im Rahmen des Projekts durchgeführte **Sickerwasseranalytik** lässt Rückschlüsse auf eine potentielle Gefährdung des Grundwassers durch ausgewaschene Wirkstoffe insbesondere herbizider Herkunft im Herbst unter konventionell bewirtschafteten Flächen zu. Die Trinkwasserverordnung schreibt für PSM einschließlich ihrer toxischen Hauptabbauprodukte einen Grenzwert von 0,1 µg/l für den einzelnen Wirkstoff bzw. 0,5 µg/l für die Summe aller Wirkstoffe vor. Dieser Grenzwert ist im Sickerwasser der Standorte DW (K) und PLÖ (K) in beiden beprobten Sickerwasserperioden von mindestens einem applizierten Herbiziden Wirkstoff überschritten worden (Tab. B26). Insbesondere Flufenacet wurde in die Bodenschicht von 80cm Tiefe mit dem Sickerwasser verlagert. Diflufenican wurde in deutlich geringeren Mengen festgestellt. Dies liegt mitunter an der geringeren eingesetzten Menge dieses Wirkstoffes. Ein Nachweis der Wirkstoffe konnte aufgrund fehlender Probenahmetechnik im Grundwasser nicht durchgeführt werden. Die erhobenen Daten lassen aber vermuten, dass eine Gefährdung des Grundwassers mit Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln bestehen könnte. Ergebnisse aus dem Trendmessnetz 1995–2000 erhärten diese Vermutung. Allerdings sind oftmals die Grundwasserspiegel deutlich tiefer als 80 cm gelegen, so dass aufgrund der Bodenbeschaffenheit auf den einzelnen Standorten von einer weiteren Abbau bzw. Bindung der Wirkstoffe im Boden ausgegangen werden kann und keine direkte Gefährdung des Grundwassers besteht. Weiterhin werden Ergebnisse aus dem Trendmessnetz 1995–2000 bezüglich Rückständen der Wirkstoffe Atrazin und Terbutylazin bestätigt. Obwohl der Einsatz dieser Wirkstoffe schon seit mehreren Jahren nicht mehr erlaubt ist, sind die Wirkstoffe aufgrund ihrer hohen Persistenz im Boden als Rückstände vorhanden, die mit dem Sickerwasser in die unteren Bodenschichten verlagert werden können. Insbesondere Terbutylazin wies sehr hohe Konzentrationen im Sickerwasser unter einem konventionell bewirtschafteten Maisschlag in der Sickerwasserperiode 2005/2006 auf (Tab. B26). Die zeigt die Problematik, die sich mit dem Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel ergibt: Die Belastung der Umwelt. Auf allen ökologisch wirtschaftenden Betrieben wurden keine Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, auch nicht unter ökologisch bewirtschafteten Maisflächen, nachgewiesen.

Für den Anbau von Weizen gelten in beiden Wirtschaftsweisen dieselben Ansprüche. In Schleswig - Holstein findet auf Grund günstiger naturräumlicher und meteorologischer Bedingungen ein intensiver Weizenanbau statt. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass auf Grund der Unterschiede in den Produktionsweisen ökologisch wirtschaftende Betriebe auf gleichen Standorten keine vergleichbaren Erträge und Qualitäten erwirtschaften können. Dieser Umstand wirkt sich vor allem vor dem Hintergrund der ständig zunehmenden Weltbevölkerung erschwerend aus. Es bleibt also die Frage offen, ob es sinnvoll ist, den ökologischen Landbau auf guten Standorten zu etablieren und zu fördern, wo doch die konventionelle Landwirtschaft die gegebenen Bedingungen besser ausnutzen und deutlich höhere Erträge und Qualitäten mit geringem Input erzielen kann und damit Stückkosten reduzieren.

Auch das viel diskutierte Stickstoffproblem beider Wirtschaftsweisen verlangt eine Einordnung. Dem konventionellen Landbau wird vorgeworfen, durch eine überzogene N-Düngung erhöhte Auswaschungsraten und damit eine stärkere Grundwasserbelastung zu

induzieren (Pommer et al., 2001). Aber auch der ökologische Landbau ist nicht frei von Auswaschungsverlusten, gerade da die Mineralisierungsraten selten mit den höchsten Aufnahmeraten einhergehen. Gruber et al. (2003) wiesen zwar einen klaren Zusammenhang von Bewirtschaftungsform und den Nitrat-N-Gehalten im Boden auf, allerdings waren die Differenzen mit 113 kg N/ha im konventionellen und 95 kg N/ha im ökologischen Landbau eher gering. Als Problematischer erweisen sich die Wirtschaftsdünger, die vornehmlich im ökologischen Landbau eingesetzt werden. Zum einen stellen sie Mehrnährstoffdünger dar, die nicht optimal auf den Pflanzenbedarf abgestimmt werden können, zum anderen stimmt die N- Bereitstellung vielfach nicht mit dem Pflanzenbedarf überein. Eine schlechtere N-Ausnutzung ist die Folge.

6. Teilprojekt C

Institut für Tierzucht und Tierhaltung

Vorkommen von Antibiotika in Sickerwasser auf konventionellen und ökologischen Milchvieh-Futterbaubetrieben in Schleswig-Holstein

Mehr als 50 Pharmazeutika bzw. deren Rückstände sind inzwischen in Oberflächengewässern, zunehmend aber auch im Grundwasser und vereinzelt auch im Trinkwasser nachgewiesen worden (Mückter, 2006). Obwohl die gefundenen Konzentrationen im trinkwassernahen Bereich bisher gering sind, kann bei einer Abbaurate im tierischen Körper zwischen 10 und 90%, je nach Substanz, bei der angewandten Menge von Antibiotika mit einer Ausscheidung von mehreren Tausend Tonnen pro Jahr aus der Nutztierhaltung gerechnet werden (Christian et al., 2003). Nach Applikation können die ausgeschiedenen Wirkstoffe, Metaboliten und Abbauprodukte primär über den Austrag von Gülle auf landwirtschaftlich genutzte Felder gelangen und dadurch aquatische und terrestrische Umweltkompartimente belasten. Der Eintrag in Grundwasserleiter erfolgt über Oberflächenabfluss, Abdrift oder Verlagerung in tiefere Erdschichten. Antibiotika können aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften empfindliche Störungen des Ökosystems hervorrufen. Eine Untersuchung der Verbreitung, Art und Menge von Antibiotika in der Umwelt ist jedoch vor allem zur Einschätzung verschiedener Risiken die menschliche Gesundheit betreffend unabdingbar. So besteht die größte Gefahr in der Resistenzentwicklung verschiedener pathogener Bakterien (Koschorreck et al., 2002). Hinzu kommt, dass manche Antibiotika allergenes Potential besitzen (Mellon et al., 2001). Die deutsche Trinkwasserverordnung regelt, dass die Konzentration von chemischen Stoffen, die das Trinkwasser verunreinigen oder die Beschaffenheit des Trinkwassers nachteilig beeinflussen, so niedrig wie möglich gehalten werden muss. Zur Umsetzung dieser Regelung ist das Wissen um die Verbreitung von Antibiotika in der Umwelt unerlässlich. Ziel dieses Projektes war es, einen ersten Überblick über die Rückstandssituation von Veterinärantibiotika in Gülle und Sickerwasser schleswig-holsteinischer Betriebe zu erhalten. Es wurde der Fragestellung nachgegangen, ob der Eintrag in die Umwelt auf ökologisch bewirtschafteten Flächen geringer ist als auf Flächen konventioneller Bewirtschaftung, und inwieweit sich Resistenzen gegen die eingesetzten Antibiotika bei natürlich vorkommenden Bakterien entwickeln.

6.1. Material und Methoden

Zur Probengewinnung standen in den Sickerwasserperioden 2004/05 und 2005/06 Saugkerzen auf Grünland- und Maisflächen von zwei konventionellen und zwei ökologischen Milchvieh-Futterbaubetrieben zur Verfügung. Die Sickerwasserbeprobung wurde im Rahmen des COMPASS-Teilprojektes A vorgenommen. Zum Einsatz veterinärmedizinischer Mittel in den einzelnen Betrieben wurden mittels Fragebögen genaue Angaben von den Landwirten aufgenommen.

Die Analysen wurden am Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn mittels HPLC–MS/MS vorgenommen. Untersucht wurde auf mehr als 20 antibiotisch wirksame Stoffe. Die Substanzen sowie ihre Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind in Tabelle 1 dargestellt. International gültige Grenzwerte für Rückstände von Veterinärantibiotika im Boden und in der Umwelt allgemein existieren momentan nicht.

Tab. C1 Liste der analysierten Antibiotika und ihrer Nachweisgrenzen		
Wirkstoff	Bestimmungsgrenze in ng/l	Nachweisgrenze in ng/l
Amoxicillin	10	5
Ampicillin	10	5
Benzylpenicillin	10	5
Cloxacillin	10	5
Dicloxacillin	10	5
Flucloxacillin	10	5
Methicillin	10	5
Mezlocillin	10	5
Nafcillin	10	5
Oxacillin	10	5
Piperacillin	10	5
Phenoxymethylpenicillin	10	5
Azithromycin	5	1
Clarithromycin	2	0,5
Clindamycin	5	1
Dehydrato-Erythromycin	5	2
Roxithromycin	5	2
Spiramycin	5	2
Tylosin	5	2
Trimethoprim	5	2
Sulfadimidin	5	2
Sulfamethoxazol	5	2
Ciprofloxacin	10	5
Ofloxacin	5	2
Chlortetracyclin	25	10
Doxycyclin	20	10
Oxytetracyclin	20	10
Tetracyclin	20	10
Vancomycin	50	30

Vor der Sickerwasseranalyse wurde in beiden Sickerwasserperioden der Gehalt an Antibiotika in der ausgebrachten Gülle festgestellt. Die Gülle wurde vor der Probenahme mechanisch im Becken gerührt, um eine möglichst homogene Probe zu gewährleisten. Während der Sickerwasserperioden erfolgte die Entnahme von Sickerwasser für die Antibiotika-Rückstandsanalyse in vierwöchentlichem Abstand, wobei aufgrund der klimatischen Gegebenheiten nicht immer ausreichend Sickerwasser gewonnen werden konnte, da für die Analysen ein Probenvolumen von mindestens 2,0 l benötigt wurde. Daraus ergibt sich für die Sickerwasserperiode 2004/05, die für Voruntersuchungen genutzt wurde, ein Probenumfang von 8 Proben, davon 5 Gülleproben. Diese Voruntersuchungen dienten der Etablierung der Labormethoden für das bisher nicht beprobte Medium Gülle, welches aufgrund der Zusammensetzung und der Konsistenz eine Anpassung der empfindlichen Messtechnik erforderte. So erfolgte eine Verdünnung von 1:50 mit anschließender Zentrifugation und Extraktion über Aminophase zur Aufreinigung und Extraktmessung unverdünnt und 1:10

verdünnt. In der Sickerwasserperiode 2005/06 wurden 34 Proben analysiert, davon 10 Gülleproben, 11 Sickerwasserproben von Grünlandflächen und 13 Sickerwasserproben von Maisflächen. Zur Testung der phänotypischen Resistenzausbildung gegen die eingesetzten Antibiotika wurden aus Kotproben der Rinder coliforme Indikatorkeime wie *Escherichia coli* isoliert und zunächst auf Microbank bis zur weiteren Bearbeitung eingefroren. Die Resistenztestungen im Labor dauern zur Zeit noch an.

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Anwendung von Antibiotika

Die Erfassung der auf den Betrieben angewandten Antibiotika mittels Fragebogen und Bestandsbuch-Einsicht zeigte, dass sich die konventionellen Betriebe von den ökologischen weder in der Palette der verwendeten Antibiotika noch im Umfang der durchgeführten Behandlungen stark unterschieden. Die Behandlung erfolgte in der Regel nach diagnostizierten Mastitiden oder Kälberdurchfällen. Von den in der Laboranalyse untersuchten Antibiotika kamen die in Tabelle 2 aufgeführten Mittel nach Auskunft der Landwirte im Untersuchungszeitraum zur Anwendung, wobei die Art der angewandten Antibiotika sich auf betrieblicher Ebene geringfügig unterschied. Des Weiteren wurden Cephalosporine (Ceftiofur, Cefapirin, Cefazolin) und Enrofloxacin angewandt, die mittels der labordiagnostischen Methoden nicht in Gülle und Sickerwasser untersucht wurden.

Tab. C2 Analysierte Antibiotika sowie Antibiotika, die auf den Praxisbetrieben zur Anwendung kamen			
Wirkstoff	Anwendung	Wirkstoff	Anwendung
Amoxicillin	+	Dehydrato-	
Ampicillin	+	Erythromycin	
Benzylpenicillin	+	Roxithromycin	
Cloxacillin	+	Spiramycin	
Dicloxacillin		Tylosin	
Flucloxacillin		Trimethoprim	
Methicillin		Sulfadimidin	+
Mezlocillin		Sulfamethoxazol	
Nafcillin		Ciprofloxacin	
Oxacillin		Ofloxacin	
Piperacillin		Chlortetracyclin	+
Phenoxymethylpenicillin		Doxycyclin	+
Azithromycin		Oxytetracyclin	+
Clarithromycin		Tetracyclin	+
Clindamycin		Vancomycin	

6.2.2. Gülleanalysen

In den analysierten Gülleproben wurden die Bestimmungsgrenzen der untersuchten Substanzen nicht überschritten. In zwei Proben der Periode 2004/05 von konventionellen Betrieben wurden Spuren von Sulfadimidin gefunden, die jedoch unterhalb der Bestimmungsgrenzen –aber noch oberhalb der Nachweisgrenze– lagen und so quantitativ nicht bestimmt werden konnten.

6.2.3. Sickerwasseranalysen

Die untersuchten Antibiotika waren in keiner Sickerwasserprobe nachweisbar. Dies ist insofern nicht erstaunlich, da auf den Betrieben der Einsatz von Antibiotika nicht exzessiv betrieben wurde und schon in den Gülleproben kein Nachweis von antibiotischen Substanzen möglich war.

6.2.4. Resistenzen

Die Untersuchungen zur Resistenzprägung sind zum momentanen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

6.3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Ziel des Projekts, einen ersten Einblick in die Antibiotika-Rückstandssituation in schleswig-holsteinischen Betrieben zu gewinnen, wurde trotz der limitierten, durch den Versuchsaufbau bedingten Zahl der beteiligten Betriebe weitgehend erreicht. In den vier untersuchten Milchvieh-Betrieben kamen im Laufe der Untersuchungszeit als antibakterielle Stoffe zumeist Tetracycline (OTC, CTC), und Penicilline (Amoxicillin, Phenoxymethylpenicillin) zum Einsatz. Die Gülle der Betriebe sowie die auf den Untersuchungsflächen gewonnenen Sickerwasserproben wurden auf Antibiotika der Stoffgruppen Betalactam-Antibiotika, Makrolidantibiotika, Sulfonamide, Fluoroquinolone, und Tetracycline untersucht, wobei die Bestimmungsgrenzen in keiner Probe überschritten wurden. Vorläufige Halbwertszeiten in Gülle werden für Tetrazykline mit 100 Tagen, für Sulfonamide mit 30 Tagen und für Chinolone mit 100 Tagen angegeben, während die Halbwertszeit für Betalactam-Antibiotika 5 und die für Makrolide 21 Tage beträgt (Hallig-Sørensen et al., 2002). Darum ist eine lange Lagerung für den Abbau (>90%) von Veterinärantibiotika in dieser Matrix besonders wichtig, wobei Lagerzeiten von 180 Tagen offensichtlich ausreichend für den Abbau der meisten Wirkstoffe sind (Sattelberger et al., 2005). In einer anderen Studie wurde jedoch im Feldversuch nachgewiesen, dass Pflanzen in der Lage sind, Antibiotika aus ausgebrachter Gülle aufzunehmen und somit einen möglichen Weg in die menschliche Nahrungskette darstellen (Grote, 2004). Noch nach acht Monaten wurde in dieser Studie in der gelagerten Gülle Antibiotika nachgewiesen. Auch sind die Fragen nach Bildung biologisch aktiver Metaboliten und das Problem der hohen Mobilität von Sulfonamiden im Boden sowie die mögliche Bildung von gebundenen Rückständen in Gülle und Böden bisher unbeantwortet.

Die negativen Untersuchungsergebnisse sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf Umbau- und Sorptionsprozesse während der Güllagerung zurückzuführen, die die Bioverfügbarkeit minimieren. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Vordringen von Antibiotika, die den großen Gruppen der Betalactam-Antibiotika, der Aminoglykoside und der Tetrazykline angehören, in die trinkwassernahen Bereich aufgrund ihrer chemischen Instabilität oder Sorptionsneigung nicht zu erwarten ist (Mückter, 2006). Es ist bekannt, dass sich die Situation bei schweinehaltenden Betrieben aufgrund des höheren Antibiotikaeinsatzes anders darstellt (Broll et al., 2004; Christian et al., 2003; Mellon et al., 2001), hier ist jedoch wegen der unterschiedlichen Betriebsgrößen konventioneller und ökologischer Halter ein direkter Betriebsvergleich äußerst schwierig.

Im Vergleich zur Schweine- oder Geflügelhaltung hält sich der intensive Antibiotika-Einsatz in der Rinderhaltung, zumindest in den beprobten Betrieben in Schleswig-Holstein, in Grenzen. Im Zeitrahmen des Projektes wurden wenige Antibiotika eingesetzt, die für ihr hohes Akkumulationspotential bekannt sind, wie beispielsweise Tetrazykline. Bei diesen stark akkumulierenden Substanzen ist davon auszugehen, dass sie sich nicht im Sickerwasser wieder finden, da sie aufgrund der starken Sorption an Feststoffe wie Gülle und Boden binden. Sulfadiazine sind deutlich weniger persistent als Tetrazykline, konnten jedoch in anderen Studien zumindest in Gülle auch nach längerer Lagerungszeit nachgewiesen werden (Winckler et al., 2004). Die Studie von Winckler et al. (2004) zeigte zudem, dass bei umweltrelevanten Nominalkonzentrationen von Tetrazyklin und Sulfadiazin nicht von Strukturveränderungen in der mikrobiellen Biozönose im Boden auszugehen ist. Da in vorliegendem Projekt die Konzentrationen aller analysierten Antibiotika schon in der Gülle unter den Nachweisgrenzen blieben, ist eine relevante Beeinträchtigung der bodenmikrobiologischen Umwelt nicht zu erwarten. Im Hinblick auf Resistenzentwicklungen ist eine vertiefende und detaillierte Betrachtung des Vorkommens und der Persistenz von Antibiotikaresistenzen bei natürlich vorkommenden Bakterien notwendig, wie sie bereits am Institut für Tierzucht und Tierhaltung stattfindet, um den Einfluss von Antiinfektiva auf die Mikroorganismen zu beurteilen. Was jedoch den möglichen Eintrag in Grundwasserleiter betrifft, so konnte in vorliegender Studie kein Unterschied in Gülle und Sickerwasser ökologischer und konventioneller Betriebe festgestellt werden, da die Antibiotika-Konzentrationen immer unter den Bestimmungsgrenzen blieben.

7. Projekt AVI-LAND

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau

Brutvogelbestände und Segetalvegetation auf ökologisch und konventionell bewirtschafteten Ackerflächen schleswig-holsteinischer Praxisbetriebe

Dem ökologischen Landbau werden im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise im Allgemeinen positive Effekte auf wildlebende Tier- und Pflanzenarten zugewiesen. Die Bedeutung des Ökolandbaus für Brutvögel wurde bislang jedoch kaum systematisch untersucht (vgl. Hötter, 2004). Auf einer Auswahl der im Projekt COMPASS untersuchten Betriebspaare (Abb. D1) wurden deshalb in den Jahren 2005 und 2006 Untersuchungen zum Einfluss der konventionellen und ökologischen Ackerbewirtschaftung auf die Brutvogelbesiedlung durchgeführt. Die Erfassungen sind Bestandteil des von der EU finanzierten INTERREG IIIa-Projektes „AVI-LAND“, welches durch das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau – der Universität Kiel (Bearbeiter: Dr. Helge Neumann) und die Umweltbehörde der Insel Fünen (Dänemark) durchgeführt wird (Laufzeit 2005–2007; weitere Informationen zum Projekt siehe www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de/aviland.html). Auf den Betrieben, die für die Vogeluntersuchungen ausgewählt wurden, erfolgten zusätzlich Untersuchungen zur Acker- bzw. Segetalvegetation. Die Auswirkungen des ökologischen Landbaus auf Wildpflanzen sind durch zahlreiche Arbeiten dokumentiert (Übersichten in van Elsen, 1996; Wachendorf und Taube, 2001), speziell zur Vegetation von Äckern liegen aus Norddeutschland bisher jedoch kaum entsprechende Studien vor.

Die Ergebnisse des „AVI-LAND“-Projektes ergänzen die Resultate des COMPASS-Projektes um zwei Parameter des biotischen Ressourcenschutzes, die vielfach bei der Bewertung von Landnutzungssystemen verwendet werden (Vielfalt an Brutvögeln bzw. Wildpflanzen). Die Resultate der Vegetationsuntersuchungen bieten zudem Vergleichsmöglichkeiten mit den Bonituren, die in den Parzellenversuchen des COMPASS-Projektes erfolgten (siehe Teilprojekt B des Instituts für Phytopathologie).

7.1. Material und Methoden

7.1.1. Brutvogelkartierungen

Das Vorkommen von Feldvogelarten wird stark von der Landschaftsstruktur beeinflusst (Wilson et al., 1997; Chamberlain et al., 1998; Hötter, 2004). Da die Richtlinien zum ökologischen Landbau bis auf wenige Ausnahmen keine zwingenden Vorgaben zur Landschaftsgestaltung enthalten, wurde in dem Projekt „AVI-LAND“ ein Untersuchungsdesign gewählt, welches verzerrende Einflüsse von lokal vorgegeben Landschaftselementen (z. B. historisch bedingte Heckendichte) ausschließt. Da es nicht möglich war, aus der Stichprobe des COMPASS-Projektes Betriebspaare

(konventionell/ökologisch) zu bilden, die sich im Hinblick auf die Landschaftsstruktur vollkommen gleichen, wurden die vogelkundlichen Untersuchungen auf der Ebene von Ackerschlagpaaren durchgeführt. Die Schlagpaare wurden so zusammengestellt, dass sie im Hinblick auf die Ausstattung mit vertikalen Randstrukturen (Hecken, Gehölze) sowie die Schlaggrößen nahezu identisch waren. Die ausgewählten Ackerschläge waren landschaftsbedingt zum Großteil von Hecken umgeben und wiesen überwiegend eine Größe von 5 bis 10 ha auf (Abb. D2). Bei der Paarbildung wurde zusätzlich darauf geachtet, dass die Anbaufrüchte der Äcker repräsentativ für die jeweilige Wirtschaftsweise waren (Tab. D1). Im zweiten Untersuchungsjahr ergaben sich die Kulturarten der analysierten Schläge aus den Fruchtfolgen der Betriebe.

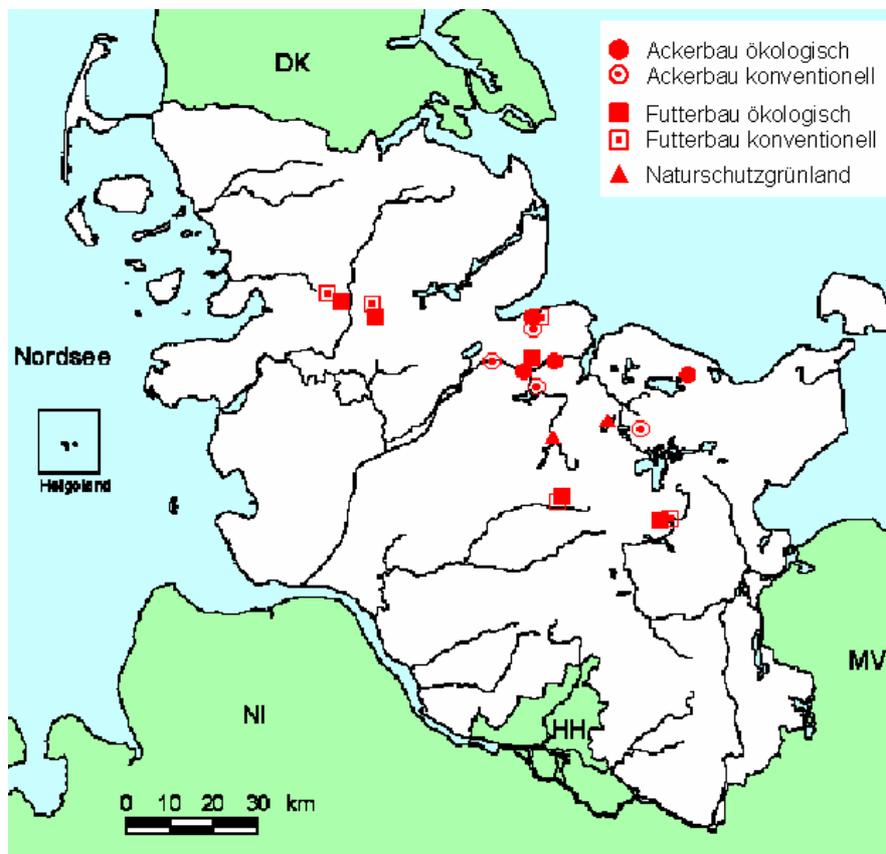


Abb. D1 Lage der von der Universität Kiel im Projekt „AVI-LAND“ in den Jahren 2005 und 2006 untersuchten COMPASS-Projektbetriebe. Zum Vergleich mit den Vogelerfassungen auf der Insel Fünen werden zusätzlich einzelne Naturschutzgrünlandflächen untersucht (siehe <http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de/aviland.html>).

Die Brutvogelerfassungen erfolgten in Anlehnung an die Standardmethode der Revierkartierung (Bibby et al., 1995). Es wurden ausschließlich Vogelarten erfasst, die direkt auf Äckern brüten. Vogelarten, die Landwirtschaftsflächen zur Nahrungssuche nutzen, jedoch in oder an benachbarten Gebäuden oder Landschaftselemente wie z. B. Gehölzen brüten, wurden im Hinblick auf die Fragestellung der Arbeit nicht kartiert. Die statistischen Auswertungen erfolgten als paarweiser Vergleich (Sachs, 2004). Für die erhobenen Parameter (siehe 7.2.) wurde je Schlagpaar die Differenz zwischen konventionellem und ökologischem Anbau gebildet. Die statistische Analyse wurde je nach Verteilungsform der Paardifferenzen

mit dem t-Test, dem Vorzeichentest oder dem Wilcoxon-Test durchgeführt (SAS-Software Version 9.1).

Tab. D1 Angebaute Kulturarten der im Projekt AVI-LAND untersuchten Ackerschlagpaare 2005 und 2006.

Kulturarten	2005				2006			
	Konventionell		Ökologisch		Konventionell		Ökologisch	
	n	ha	n	ha	n	ha	n	ha
Mais (GPS) ¹	12	80,4	1	11,0	11	53,5	2	14,1
Ackergras	3	9,7			5	17,4		
Klee gras Schnittnutzung			9	52,8			12	65,1
Erbsen/Gerste (GPS)			5	22,8			4	23,3
Wintergetreide	15	92,2	10	53,8	17	188,2	7	98,4
Winterraps	8	94,8	1	8,6	4	26,1		
Sommergetreide	1	4,0	7	80,9	1	5,0	11	69,0
Zuckerrüben	1	27,0			2	18,0		
Kartoffeln							1	5,6
Saatvermehrung ²			2	13,0			1	5,1
Körnerleguminosen			2	12,9				
Klee gras Gründüngung ³			3	39,8			2	15,5
alle Kulturarten	40	308,1	40	296,1	40	308,1	40	296,1
Sommerungen	14	111,4	18	161,5	14	76,5	18	112,0

¹ Ganzpflanzensilage, ² 2005: Ölrettich, Rotklee; 2006: Deutsches Weidelgras, ³ Bestände gemulcht.

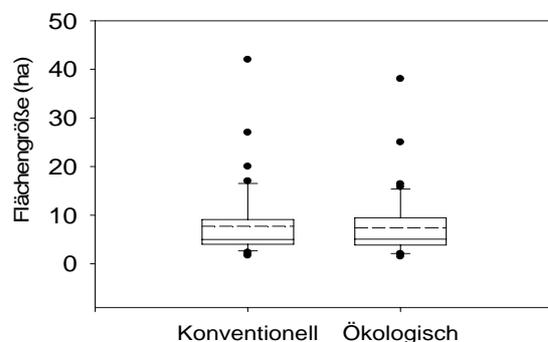


Abb. D2 Flächengrößen (ha) der untersuchten Ackerschläge in den Jahren 2005 und 2006 (gestrichelte Linie: arithmetisches Mittel, n=40 Paare).

7.1.2. Vegetationsaufnahmen

Die Untersuchungen zur Segetalvegetation erfolgten auf denselben Betrieben, auf denen die Vogelerfassungen durchgeführt wurden (Abb. D1). Für die Vegetationsaufnahmen wurden ausschließlich Wintergetreidefelder ausgewählt (Tab. D2), da dies die einzige Kulturartengruppe war, die innerhalb beider Wirtschaftsweisen in einem größeren Umfang angebaut wurde. Die ökologisch bewirtschafteten Äcker wurden in der Regel einmalig im Frühjahr gestriegelt. In seltenen Fällen wurde lediglich ein Striegelgang unmittelbar nach der Aussaat im Herbst durchgeführt (Blindstriegeln). Im ökologisch bewirtschafteten

Wintergetreide wurden vielfach Klee-Untersaaten ausgebracht, die zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahmen jedoch durchweg erst sehr schwach entwickelt waren.

Die Erfassung der Ackerwildpflanzen erfolgte als Transektkartierung. Die Kartierungen wurden im Zentrum der Schläge durchgeführt, die Vorgewende der Äcker wurden nicht kartiert (vgl. van Elsen, 1996). Je Transekt wurden in den Jahren 2005 und 2006 einmalig im Juli 10 Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet (1964) durchgeführt. Die Aufnahmen erfolgten auf einer Fläche von jeweils 1 m². Auf den Aufnahmeflächen wurde zusätzlich die Anzahl Ähren tragender Halme ausgezählt.

Um den Einfluss der Bewirtschaftungsart (ökologisch/konventionell) statistisch zu überprüfen, wurde für die erhobenen Parameter je Schlagpaar die Differenz zwischen konventionellem und ökologischem Anbau gebildet (paarweiser Vergleich, Sachs, 2004). Es wurde getestet, ob sich die Paardifferenzen signifikant von Null unterscheiden (Einstichproben-T-Test, SAS-Software Version 9.1).

Tab. D2 Anzahl an konventionell und ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen, auf denen in den Jahren 2005 und 2006 im Rahmen des AVI-LAND-Projektes Vegetationsaufnahmen durchgeführt wurden				
Wintergetreideart	2005		2006	
	konventionell	ökologisch	konventionell	ökologisch
Weizen	12	6	6	3
Roggen		2	2	2
Dinkel		4		3
Ackerschläge gesamt	12	12	8	8

7.2. Ergebnisse und Diskussion

7.2.1. Brutvögel

Die untersuchten Ackerschlagpaare erwiesen sich im Mittel der Jahre und Schläge mit 1,1 (konventionell) bzw. 1,3 (ökologisch) Arten/Schlag als sehr artenarm. Die Brutvogelgemeinschaften wurden unabhängig von der Wirtschaftsweise in beiden Untersuchungsjahren von der Feldlerche dominiert (Tab. D3). Die übrigen Feldvogelarten traten mit der Ausnahme von Schafstelze, Kiebitz und Fasan nur auf sehr wenigen Schlägen auf (Präsenz < 10 %) und waren vielfach nur in einem der beiden Untersuchungsjahre vertreten. Die Artenvielfalt (Artenzahl, Shannon-Index) wurde nicht von der Anbauform beeinflusst (Tab. D4). Die Feldlerche und – weniger stark ausgeprägt – der Fasan erreichten auf den ökologisch bewirtschafteten Äckern signifikant höhere Siedlungsdichten als auf den konventionellen Flächen (Tab. D4). Die Schafstelze wurde hingegen häufiger auf den konventionell bewirtschafteten Feldern nachgewiesen. Die Anbauform hatte keinen Einfluss auf die Anzahl an gefährdeten (Rote Liste-) Arten.

Aus Großbritannien, Dänemark und den Niederlanden liegen Vergleichsstudien vor, in denen ökologisch bewirtschaftete Betriebe ebenfalls eine höhere Feldlerchendichte aufwiesen (Chamberlain et al., 1998; Christensen et al., 1996; Kragten und Snoo, 2006). Feldlerchen bevorzugen zur Brutzeit lichte und niedrige Vegetationsbestände, so dass der höhere Anteil an Sommerungen (siehe Tab. D1) sowie die i.d.R. dünneren Pflanzenbestände im

ökologischen Anbau der Art entgegenkommen dürften (Wilson et al., 1997; siehe Ergebnisse zur Segetalvegetation).

Tab. D3 Präsenz (P) [%], mittlere Dominanz (D) [%] und mittlere Abundanz (A) [Reviere/10 ha] der auf den Ackerschlagpaaren nachgewiesenen Vogelarten in den Jahren 2005 und 2006 (statistische Tests erfolgten nur für Arten, die eine Präsenz von $\geq 10\%$ aufwiesen; siehe Tab. D3).

Vogelart ¹	2005						2006					
	Konventionell			Ökologisch			Konventionell			Ökologisch		
	P ²	D ³	A ⁴	P	D	A	P	D	A	P	D	A
Feldlerche (V) <i>Alauda arvensis</i>	57,5	43,93	0,780	72,5	58,54	1,850	50,0	33,90	0,652	65,0	54,72	1,318
Schafstelze (V) <i>Motacilla flava</i>	17,5	6,98	0,160	12,5	1,93	0,070	22,5	11,99	0,395	5,0	0,94	0,076
Kiebitz (2) <i>Vanellus vanellus</i>	15,0	11,59	0,280	12,5	5,35	0,170	10,0	6,34	0,230	7,5	3,46	0,213
Fasan <i>Phasianus colchicus</i>	10,0	6,34	0,080	22,5	8,29	0,230	10,0	5,26	0,053	17,5	9,41	0,158
Dorngrasmücke <i>Sylvia communis</i>	7,5	2,60	0,040									
Rohrhammer <i>Emberiza schoeniclus</i>	5,0	1,04	0,020	2,5	0,63	0,010	2,5	0,11	0,003	2,5	0,14	0,007
Wachtel <i>Coturnix coturnix</i>	2,5	2,00	0,130	7,5	2,03	0,120	5,0	1,48	0,056	10,0	3,13	0,084
Sandregenpfeifer (2) <i>Charadrius hiaticula</i>	2,5	0,52	0,030				2,5	0,29	0,030			
Sumpfrohrsänger <i>Acrocephalus palustris</i>				2,5	1,25	0,090						
Braunkehlchen (3) <i>Saxicola rubetra</i>				2,5	1,88	0,040				7,5	3,20	0,036
Wachtelkönig (2) <i>Crex crex</i>				2,5	0,11	0,010						
Rebhuhn (2) <i>Perdix perdix</i>							2,50	0,63	0,025			

¹ Gefährdung nach der Roten Liste der Brutvögel Deutschlands (BAUER et al. 2002): 2: stark gefährdet, 3: gefährdet, V: Vorwarnliste; ² Präsenz (P) (%): Prozentuales Vorkommen (ja/nein) einer Art bezogen auf die Gesamtanzahl an untersuchten Schlägen; ³ Dominanz (D) (%): Relative Anzahl von Revieren einer Art am jeweiligen Gesamtbestand aller Arten eines Schlages; ⁴ Abundanz (A) (Anzahl Reviere/10 ha): Siedlungsdichte/Häufigkeit einer Art auf einem Schlag

Tab. D4 Signifikanzniveaus der mit den Paardifferenzen (konventionell-ökologisch) durchgeführten statistischen Tests (Mittel der Jahre 2005 und 2006; n=40 Schlagpaare).			
Parameter	Teststatistik ¹		
Siedlungsdichte Feldlerche <i>Alauda arvensis</i> (Reviere/10/ha)	t = -3,8	Pr > t	0,0005 ***
Siedlungsdichte Schafstelze <i>Motacilla flava</i> (Reviere/10/ha)	M = 4,5	Pr >= M	0,0225 *
Siedlungsdichte Kiebitz <i>Vanellus vanellus</i> (Reviere/10/ha)	M = 2	Pr >= M	0,3877 n.s.
Siedlungsdichte Fasan <i>Phasianus colchicus</i> (Reviere/10/ha)	M = -5	Pr >= M	0,0213 *
Artenzahl	M = -3	Pr >= M	0,3915 n.s.
Anzahl Rote Liste-Arten (BAUER et al., 2002)	S = -13	Pr >= S	0,7678 n.s.
Shannon-Index	M = -1,5	Pr >= M	0,7011 n.s.

¹ t: t-Wert t-Test; M: M-Wert Vorzeichen-Test; S: S-Wert Wilcoxon-Test; n.s.: nicht signifikant ($p \geq 5,0\%$), *: signifikant ($5,0\% > p \geq 1,0\%$), **: hoch signifikant ($1,0\% > p \geq 0,1\%$), ***: sehr hoch signifikant ($p < 0,1\%$)

Die unterschiedliche Anbaustruktur könnte auch eine Erklärung für das häufigere Auftreten von Schafstelzen im konventionellen Anbau sein. In Schleswig-Holstein war die Schafstelze ursprünglich eine Charakterart der extensiv genutzten Feuchtwiesen. Seit den 1970er Jahren hat die Art zunehmend (konventionelle) Wintersaaten besiedelt, so dass die Bestände der Schafstelze in Schleswig-Holstein aktuell nicht mehr akut gefährdet sind (Berndt et al., 2002).

7.2.2. Segetalvegetation

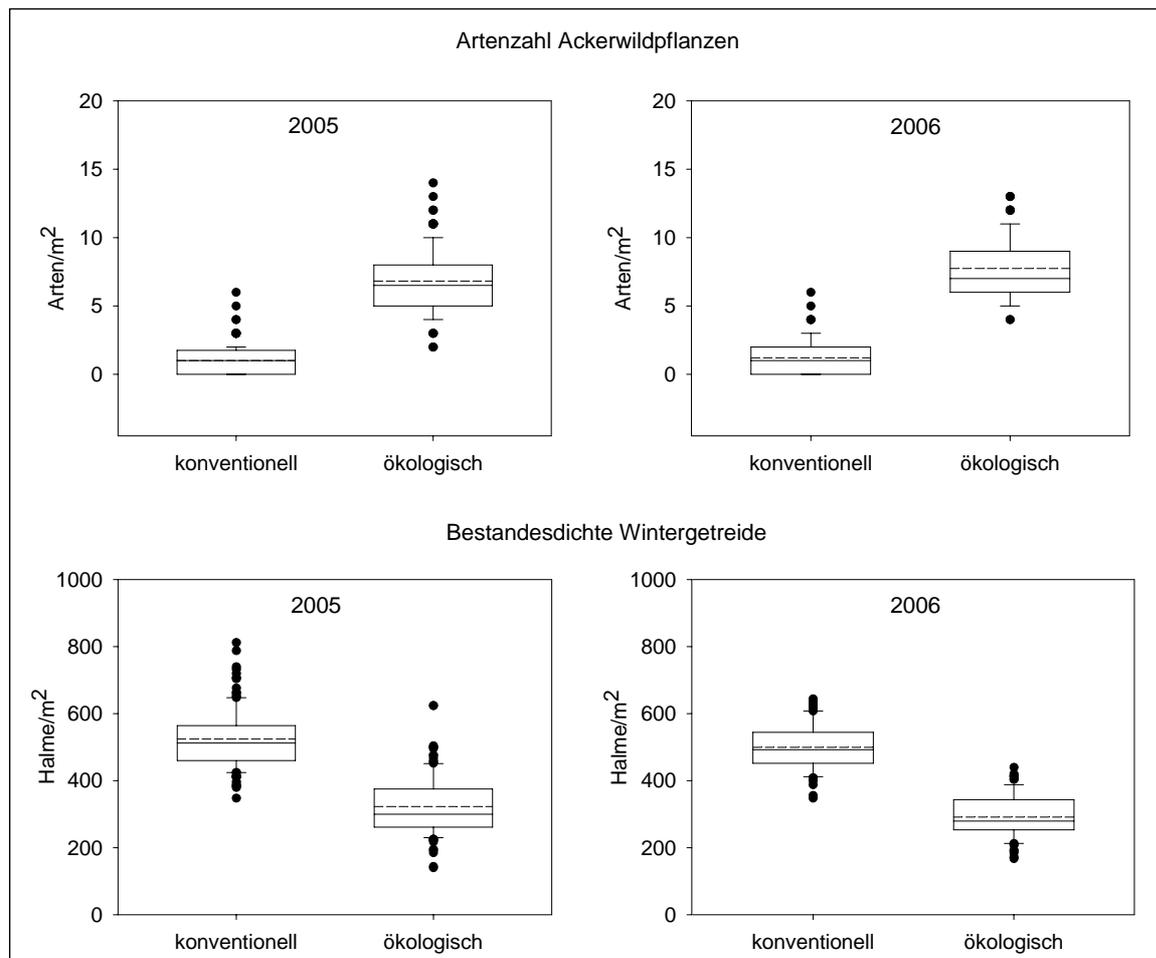


Abb. D3 Anzahl an Ackerwildpflanzenarten (Arten/m²) und Bestandesdichte (Anzahl Ähren tragende Getreidehalme/m²) von konventionell und ökologisch bewirtschafteten Wintergetreidefeldern in den Jahren 2005 (n=12 Schlagpaare) und 2006 (n=8 Paare).

Die Getreidedichte war in beiden Untersuchungsjahren auf den ökologisch bewirtschafteten Äckern signifikant niedriger als auf den konventionellen Schlägen. Die Anzahl an Wildpflanzenarten war hingegen erwartungsgemäß auf den ökologisch genutzten Äckern deutlich höher als auf den Vergleichsflächen (Abb. D3, Tab. D5) (siehe Übersicht van Elsen, 1996; Schütz, 2003; Neumann et al., 2005). Die konventionell bewirtschafteten Äcker erwiesen sich als sehr arten- und individuenarm. Im Mittel der Schläge wurden lediglich 1,0

(2005) bzw. 1,2 (2006) Arten je m² gefunden. Auf den ökologisch bewirtschafteten Wintergetreidefeldern lag die mittlere Artenzahl hingegen bei 6,8 (2005) bzw. 7,7 (2006) Arten/m².

Als Ursachen für die höhere Wildpflanzenvielfalt im ökologischen Anbau kommen die folgenden Charakteristika des Ökolandbaus in Frage (vgl. z. B. Gefährdungsursachen für Ackerwildpflanzen in Pott, 1996):

- ※ kein Einsatz von Herbiziden,
- ※ höhere Kulturartenvielfalt in der Fruchtfolge,
- ※ geringeres N-Düngungsniveau,
- ※ (dadurch) lichtere Kulturpflanzenbestände mit geringerer Konkurrenzkraft gegenüber Wildpflanzen.

Arten, die nach der Roten Liste der Blütenpflanzen Schleswig-Holsteins in eine Gefährdungskategorie eingestuft werden (LANU, 2006), wurden weder auf den konventionell noch auf den ökologisch bewirtschafteten Äckern gefunden. Pflanzensoziologisch ergaben die Untersuchungen für die ökologisch bewirtschafteten Äcker Fragmentgesellschaften der Ackerfrauenmantel-Kamille-Gesellschaft mit Dominanzbeständen häufiger Arten.

Tab. D5 Signifikanzniveaus der mit den Paardifferenzen „Äcker konventionell - Äcker ökologisch“ durchgeführten Einstichproben-T-Tests (siehe Tab. D2, Abb. D3)		
Parameter	2005	2006
Getreidehalme/m ²	t=15,8053 Pr > t : <0,0001	t=17,0998 Pr > t : <0,0001
Anzahl Ackerwildpflanzen/m ²	t=-21,5167 Pr > t : <0,0001	t=-24,5576 Pr > t : <0,0001

7.3. Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf den unterschiedlichen Gefährdungsstatus der Brutvogelarten (Tab. D3) deuten die bisherigen Ergebnisse des Projektes „AVI-LAND“ darauf hin, dass der ökologische Landbau in der Acker-Knick-Landschaft Schleswig-Holsteins insbesondere zum Bestandsschutz der Feldlerche beiträgt. In eine abschließende Bewertung werden die Ergebnisse der Brutzeit 2007, Modellberechnungen zum Bruterfolg sowie Resultate von Wintervogelzählungen einfließen.

Die Untersuchungen zur Segetalvegetation lassen vermuten, dass ökologisch bewirtschaftete Äcker in Schleswig-Holstein im Vergleich zu konventionell genutzten Flächen durch eine höhere Artenvielfalt der Segetalflora gekennzeichnet sind. Eine Etablierung von Pflanzengesellschaften, die aus Naturschutzsicht als wertvoll eingestuft werden, scheint unter den gegebenen Standortbedingungen jedoch auch im ökologischen Anbau nur schwer möglich zu sein (vgl. Schütz, 2003; Neumann et al., 2005).

Da Ökobetriebe zumeist isoliert inmitten der konventionell genutzten Agrarlandschaft liegen, profitieren Vögel, die im Vergleich zu anderen Artengruppen vergleichsweise große Raumannsprüche aufweisen, u. U. weniger stark von der ökologischen Wirtschaftsweise als die Segetalvegetation, die direkter von der Art der Flächenbewirtschaftung beeinflusst wird (Bengtsson et al., 2005; Fuller et al., 2005).

8. PR- und Öffentlichkeitsarbeit, Wissenstransfer

8.1. Internetpräsenz

Unter www.uni-kiel.de/compass ist das COMPASS-Projekt mit seinen Hintergründen, Zielsetzungen und Arbeitsfeldern umfassend für die Öffentlichkeit dargestellt.

Des Weiteren ist das Teilprojekt B auf den Internetseiten der IPS-Modelle des Instituts für Phytopathologie (www.ips-modelle.de) ausführlich dokumentiert.

Bis zum 30.06.07 ist vorgesehen, die Internetpräsenz des COMPASS-Projektes zu überarbeiten. In gestraffter, übersichtlicher und ansprechender Gestaltung sollen die Ergebnisse der Fachwelt und Öffentlichkeit zur Verfügung stehen.

8.2. Projektinterne Veranstaltungen

8.2.1. Projekttreffen mit den Betriebsleitern der teilnehmenden Marktfruchtbetriebe am 21.04.04 im Institut für Phytopathologie der CAU Kiel. Vorbesprechung und Versuchsplanung.

8.2.2. Offizielle Projekteröffnung am 12.05.04 auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof durch Minister Klaus Müller. Einladung der Betriebsleiter der teilnehmenden Betriebe, Projektvorstellung und Vorbesprechung mit den anwesenden Betriebsleitern.

8.2.3. Workshop zum Thema „Fütterung und Tiergesundheit“ mit den Betriebsleitern der teilnehmenden Milchvieh-Futterbaubetriebe auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof am 14.10.04.

8.2.4. Projekttreffen mit den teilnehmenden Betriebsleitern am 04.07.06 auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof. Präsentation der Ergebnisse der Teilprojekte A und B, Diskussion mit den Landwirten über die relevanten Themenfelder.

Neben den genannten Veranstaltungen mit den am Projekt teilnehmenden Betriebsleitern wurden diese stets durch persönlichen Kontakt und Betriebsbesuche auf dem aktuellen Stand des Projektfortschritts gehalten. Sowohl die gewonnenen Ergebnisse auf deren jeweiligem Betrieb als auch allgemeine Erkenntnisse sind mit den Landwirten stets umfassend und aktuell besprochen worden.

8.3. Weitere öffentliche und nicht-öffentliche Veranstaltungen

8.3.1. Tag der offenen Tür auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof am 04.07.04. Informationsstand und Posterpräsentation zum Projekt COMPASS.

- 8.3.2. Präsentation der bisherigen Ergebnisse des Teilprojektes A vor Schülern und Lehrern der Höheren Landbauschule Rendsburg am 07.06.05 auf dem CAU-Versuchsgut Karkendamm.
- 8.3.3. Tag der offenen Tür auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof am 03.07.05. Informationsstand und Posterpräsentation zum Projekt COMPASS.
- 8.3.4. Öffentliche Hochschultagung 2006 der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der CAU Kiel am 03.02.06. Vorträge von Prof. Dr. F. Taube und Prof. Dr. J.-A. Verreet zu den Teilprojekten A und B. Veröffentlichung im Tagungsband der Hochschultagung 2006 (Taube et al., 2006).
- 8.3.5. Workshop für landwirtschaftliche Berater aus Dänemark am 15.06.06. Vorstellung der Ergebnisse des Teilprojektes A, Betriebsbesichtigung und Feldführungen auf dem COMPASS-Projektbetrieb Wohldorfer Hof, Hamburg.
- 8.3.6. Tag der offenen Tür auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof am 02.07.06. Informationsstand und Posterpräsentation zum Projekt COMPASS.
- 8.3.7. „Festival der Elemente“ auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof am 27.08.06. Informationsstand und Posterpräsentation zum Projekt COMPASS.

8.4. Veröffentlichungen

Anlässlich der offiziellen Eröffnungsfeier des Projektes am 12.05.04 auf dem CAU-Versuchsgut Lindhof ist am 29.05.04 ein Artikel im Bauernblatt für Schleswig-Holstein und Hamburg erschienen, in welchem die Zielsetzungen und Hintergründe des Projektes umfassend dargestellt sind.

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 2005 des Teilprojektes B sind im Bauernblatt für Schleswig-Holstein und Hamburg, Ausgabe vom 22.04.06, für die Praxis dokumentiert.

Die zentralen Ergebnisse des Teilprojektes A sind Gegenstand zweier Beiträge auf der 9. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, die vom 20.–23.03.07 in Hohenheim stattfinden wird.

Da die Ergebnisse des Projektes erst Anfang 2007 vollständig vorliegen werden, sind Veröffentlichungen in überregionalen deutschsprachigen Fachzeitschriften (z.B. DLG-Mitteilungen, Top Agrar) erst für das Frühjahr 2007 vorgesehen.

Mehrere wissenschaftliche Publikationen sind in Vorbereitung und werden in internationalen Fachzeitschriften eingereicht.

Bis zum 30.06.07 soll eine Broschüre erstellt werden, in welcher die zentralen Ergebnisse sowie Handlungsempfehlungen für Praxis, Beratung und Politik entsprechend dargestellt sind. Diese Broschüre wird in ca. 500 Exemplaren gedruckt und an Landwirte, Berater, Fachleute aus Wissenschaft und Politik sowie sonstige Multiplikatoren verteilt. Auch auf den COMPASS-Internetseiten wird diese Broschüre zum Herunterladen bereitgestellt.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Aus den in Kapitel 4–7 dargestellten Ergebnissen der COMPASS–Teilprojekte A, B und C sowie des Projektes AVI–LAND lassen sich folgende zentrale Schlussfolgerungen herausstellen:

- ※ Ökologische Betriebe weisen unabhängig vom Betriebstyp deutlich geringere N–Bilanzsalden auf, jedoch ist die N–Versorgung der Fruchtfolge nicht in allen Fällen ausreichend.
- ※ Der größere Teil der konventionell wirtschaftenden Betriebe kann derzeit die momentan und zukünftig geltenden Grenzwerte für N–Überschüsse auf Betriebsebene laut Düng–Verordnung nicht einhalten.
- ※ Die Stickstoff–Bilanzsalden zwischen Betrieben vergleichbarer Spezialisierung variieren sehr stark und zeigen den potenziellen Optimierungsspielraum zur Reduktion der N–Überschüsse in der Praxis auf.
- ※ Auf konventionell wirtschaftenden Ackerbau– und Milchvieh–Futterbaubetrieben kann eine deutliche Reduktion der N–Überschüsse vor allem durch eine reduzierte mineralische Düngung, eine angemessene Anrechnung der Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern, und eine Optimierung der Fütterung von Milchkühen erreicht werden. Das Reduktionspotenzial im N–Saldo auf Betriebsebene liegt je nach Betriebsform, Standort und Fruchtfolge zwischen 30 und 100 kg N ha⁻¹.
- ※ Die N–Auswaschung überschreitet unter konventionell bewirtschaftetem Dauergrünland, nach abragendem Getreide auf konventionellen Betrieben, sowie unabhängig von der Wirtschaftsweise im Silomaisanbau und im Anbau von Winterweizen nach Klee gras– bzw. Rapsvorfrucht die kritische Nitratfracht, die dem EU–Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser entspricht. Dies ist in erster Linie in überhöhter N–Düngung (konventionelle Betriebe) bzw. aufgrund des (zu) hohen Vorfruchtwertes von Klee gras in Verbindung mit der Zufuhr von Wirtschaftsdünger für die nachfolgende Kultur (ökologische Betriebe) begründet.
- ※ Im Pflanzenschutzmanagement beider Wirtschaftsweisen sind Umsetzungsdefizite des wissenschaftlichen Fortschritts in die Praxis zu beobachten. Im konventionellen Anbau von Marktfrüchten besteht ein Reduktionspotenzial bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Im ökologischen Landbau sind der geringe Wirkungsgrad auf den Unkrautbesatz und die geringe Ertragswirkung mechanischer Unkrautbekämpfung hervorzuheben.
- ※ Ein Zusammenhang zwischen der Wirtschaftsweise (konventionell, ökologisch) und dem Befall des Ernteguts mit Fusarium–Mykotoxinen im Winterweizenanbau konnte nicht nachgewiesen werden. Die Ernteprodukte der ökologisch bewirtschafteten Varianten unterliegen allerdings in den Backqualitäten deutlich denen der konventionellen Varianten und erreichen nur selten die vorgeschriebenen Qualitäten für eine Weiterverarbeitung. Deshalb ist nach neuen Möglichkeiten (vor allem in Bezug auf Nährstoffzufuhr) zur Verbesserung der Backqualitäten zu suchen. Der Anbau von Sortenmischungen könnte sich diesbezüglich positiv auswirken.

- ※ Eine vollständige Rückstandsfreiheit des Ernteguts mit Pflanzenschutzmittel-Metaboliten können aber nur ökologisch erzeugte Produkte garantieren, da bei konventionellen Produkten immer ein Restrisiko bezüglich Pflanzenschutzmittelrückständen besteht (z.B. Chlormequat).
- ※ Bezüglich Pflanzenschutzmittelrückständen ist weiterhin eine Problematik in der Belastung des Sickerwassers mit herbiziden Wirkstoffen zu sehen, vor allem durch die (späte) Herbstapplikation von Herbiziden im konventionellen Winterweizenanbau.
- ※ Antibiotika waren in keiner Sickerwasserprobe nachweisbar, da auf den Betrieben der Einsatz von Antibiotika nicht exzessiv betrieben wurde und schon in den Gülleproben kein Nachweis von antibiotischen Substanzen möglich war.
- ※ Im Hinblick auf den biotischen Ressourcenschutz kann der ökologische Landbau in der Acker-Knick-Landschaft Schleswig-Holsteins insbesondere zum Bestandsschutz der Feldlerche beitragen. Des Weiteren lassen die Untersuchungen zur Segetalvegetation vermuten, dass ökologische im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Flächen durch eine höhere Artenvielfalt gekennzeichnet sind. Eine Etablierung von Pflanzengesellschaften, die aus Sicht des Naturschutzes als wertvoll eingestuft werden, scheint jedoch auch im ökologischen Landbau nur schwer möglich zu sein.

Die im Gesamtprojekt erhobenen Daten und gewonnenen Ergebnisse stellen eine repräsentative und belastbare Handlungs- und Entscheidungsgrundlage für Praxis, Beratung, Forschung und Politik dar. Eine weitere Validierung der Ergebnisse auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe sowie die Implementierung von Optimierungsstrategien auf Pilot- und Demonstrationsbetrieben (weiterer Wissenstransfer) sind die nächsten Schritte auf dem Weg zu einer umweltverträglichen, leistungsfähigen und qualitativ hochwertigen landwirtschaftlichen Produktion.

10. Literaturverzeichnis

- Andersson, B., 1986. Influence of crop density and spacing on weed competition and grain yield in wheat and barley, Proc. EWRS Symp. 1986: "Economic weed control", 121–128.
- Anonymus, 2000. Versuchsbericht 2000 – Ackerbau. Pflanzenschutzdienst des Landes Schleswig–Holstein.
- Bartels, J., 1984. Pflanzenschutz im intensiven Weizenbau – Auswertung schlagspezifischer Fragebögen des Beratungsrings „Ackerbau Südhannover e.V.“ aus den Jahren 1973–1982 und Versuche zur praktischen Anwendung und ökonomischen Bedeutung von Schadensschwellen für Unkräuter, Mehltau und Blattläuse, Dissertation, Universität Göttingen.
- Bauer, H.–G., Berthold, P., Boye, P., Knief, W., Südbeck, P., Witt, K., 2002. Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 3., überarbeitete Fassung, 8.5.2002. Ber. Vogelschutz 39, 13–60.
- Beer, E., Heitefuss, R., 1981. Ermittlung von Bekämpfungsschwellen und wirtschaftlichen Schadensschwellen für monocotyle und dicotyle Unkräuter in Winterweizen und Wintergerste, Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 88, 321–336.
- Behrendt, S., Hanf, M., 1979. Ungräser des Ackerlandes. BASF AG, Ludwigshafen.
- Berndt, R. K., Koop, B., Struwe–Juhl, B., 2002. Vogelwelt Schleswig–Holsteins, Band 5, Brutvogelatlas. Wachholtz Verlag, Neumünster, 464 S.
- Beyer, M., 2005. Möglichkeiten der Prognose des Deoxynivalonolgehaltes von Weizenproben aus Schleswig–Holstein. In: Qualitätsaspekte in der Wertschöpfungskette pflanzlicher Lebensmittel, Beiträge zum fünften Workshop der Arbeitsgruppe Lebensmittelqualität und –sicherheit. Schriftenreihe der CAU Kiel 2005.
- Bibby, J., Burgess, N. D., Hill, D. A., 1995. Methoden der Feldornithologie. Neumann Verlag, Radebeul, 270 S.
- Blumenberg, E., 1987. Auswirkungen der Berücksichtigung von Schadensschwellen für Unkräuter im Winterweizen in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben und Wintergetreide und zur Vorgehensweise bei der Ermittlung des Unkrautbesatzes unter praktischen Bedingungen, Dissertation, Universität Göttingen.
- BMU (2003) Umweltbericht 2002. Bericht über die Umweltpolitik in der 14. Legislaturperiode. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- Brade, W., Flachowsky, G. (Hrsg.), 2005. Rinderzucht und Milcherzeugung – Empfehlungen für die Praxis. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 289.
- Braun–Blanquet, J., 1964. Pflanzensoziologie, 3. Auflage. Wien, New York: Springer, 865 S.
- Broll, S., Kietzmann, M., Bettin, U., Kreinenbrock, L., 2004. Zum Einsatz von Tetrazyklinen in Fütterungsarzneimitteln in der Schweinehaltung in Schleswig–Holstein. Tierärztliche Praxis Großtiere 32, 140–145.
- BSA, 2004. Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (grobkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Bundessortenamt (BSA), Hannover. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH.
- BSA, 2005. Beschreibende Bundessortenliste. Bundessortenamt, Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Büchter, M., Wachendorf, M., Taube, F., 2001. Nitratauswaschung unter Silomais in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsform und der N–Düngungsintensität – Ergebnisse aus dem N–Projekt Karkendamm. AG Grünland und Futterbau – Tagungsband 45, 75–77.

- Büchter, M., Wachendorf, M., Taube, F., 2002. Nitrate leaching from permanent grassland on sandy soils – Results from an integrated research project. In: Durand, J.-L., Emile, J.-C., Huyghe, C. Lemaire, G. (Hrsg.): Multi-function grasslands. Proc. 19th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed., La Rochelle (France), 668–669.
- Busse, C., 2001. Populations- und Schadensdynamik von Weizenpathogenen in Schleswig – Holstein und Ansätze einer Befallsprognose. Dissertation, Christian – Albrechts – Universität Kiel.
- Chamberlain, D. E., Fuller, R. J, Wilson, J. D., 1999. A comparison of bird populations on organic and conventional farm systems in southern Britain. *Biological Conservation* 88, 307–320.
- Chancellor, R. J., 1965. Weed seeds in the soil. Weed research organisation, First report 1960–64, *Science* 74, 174–183.
- Christensen, K. D., Jacobsen, E. M., Nøhr, H., 1996. A comparative study of bird faunas in conventionally and organically farmed areas. *Dansk Orn. Foren. Tidskr.* 90, 21–28.
- Christian, T., Schneider, R., Färber, H., Skutlarek, D., Goldbach, H., 2003. Determination of antibiotic residues in manure, soil and surface waters. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 31, 36–44.
- Clements, D. R., Weise, S. J., Swanton, C. J., 1994. Integrated weed management and weed species diversity. *Phytoprotection* 75, 1–18.
- Cuttle, S. P., Bourne, P. C., 1993. Uptake and leaching of nitrogen from artificial urine applied to grassland on different dates during the growing season. *Plant and Soil* 150, 77–86.
- Cuttle, S. P., Hallard, M., Daniel, G., Scurlock, R. V., 1992. Nitrate leaching from sheep-grazed grass/clover and fertilized grass pastures. *Journal of Agricultural Science* 119, 335–341.
- Danon, T., Sachs, J., Eyal, Z., 1982. The relationship among plant stature, maturity class and susceptibility to *Septoria* leaf blotch of wheat. *Phytopathology* 72, 1037–1042.
- Dierauer, H.-U., Stöppler-Zimmer, H., 1994. Unkrautregulierung ohne Chemie. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DLG, 2005. Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hrsg.), Arbeiten der DLG/Band 199. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main.
- Drews, S., 2005. Unkrautkontrolle im ökologischen Winterweizenanbau: Sortenwahl, Reihenabstand, Drillrichtung. Dissertation, Universität Bonn.
- Drews, S., Juroszek, P., Neuhoff, D., Köpke, U., 2004. Optimierung der Beschattungsfähigkeit von Winterweizen als Unkrautkontrollmaßnahme. *J. of Plant Diseases and Protection*, Sonderheft 19, 545–552.
- Dreyman, S., 2005. N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- DVWK, 1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238/1996. Kommissionsbetrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

- Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 1999. Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. *Agrobiological Research* 52, 57–84.
- Eggebrecht, H., 1964. Unkräuter im Feldbestand – Ein Bestimmungsbuch. Neumann Verlag, Radebeul.
- Eriksen, J., 2001. Nitrate leaching and growth of cereal crops following cultivation of contrasting temporary grasslands. *Journal of Agricultural Science* 136, 271–281.
- Eriksen, J., Askegaard, M., Kristensen, K., 1999. Nitrate leaching in an organic dairy/crop rotation as affected by organic manure type, livestock density and crop. *Soil Use and Management* 15, 176–182.
- European Commission, 2003a. Monitoring of pesticide residues in products of plant origin in the European Union, Norway, Iceland and Liechtenstein – 2001 Report. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General, Brussels, 2003.
- European Commission, 2003b. Annex to Monitoring of pesticide residues in products of plant origin in the European Union, Norway, Iceland and Liechtenstein – 2001 Report. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General, Brussels, 2003.
- Finck, A., 1991. Düngung – ertragssteigernd, qualitätsverbessernd, umweltgerecht. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Frede, H.-G., 2003. Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland – Ausblick auf die Entwicklung des Indikators „Stickstoffüberschuss“. DLG-Kolloquium 2003: Nährstoff- und Energiemanagement in der Landwirtschaft.
- Garburg, W., 1974. Untersuchungen zur Ermittlung der ökonomischen Schadensschwelle und der Bekämpfungsschwelle von Unkräutern in Getreide. Dissertation, Universität Göttingen.
- Geisler, G., 1988. Pflanzenbau. Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Grote, M., 2004. Antiinfektivaeinträge aus der Tierproduktion in terrestrische und aquatische Kompartimente. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.
- Gruber, H., Thamm, U., Michel, V., 2003. Nitrat-Stickstoff-Gehalte im Boden in einer 6-feldrigen Fruchtfolge. In: Freyer, B. (Hrsg.) *Ökologischer Landbau der Zukunft – Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, 467–468. Universität für Bodenkultur, Wien – Institut für ökologischen Landbau.
- Haas, G., 2001. Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2001. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Haas, G., Köpke, U., 1994. Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. Studie im Auftrag der Enquêtékommision des Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre". Studienprogramm, Band 1, Landwirtschaft, Teilband II. *Economica Verlag*, Bonn.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process lifecycle assessment. *Agriculture Ecosystems and Environment* 83, 43–53.
- Haeupler, H., 1982. Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. *Cramer*, Vaduz, S.268.

- Hallig-Sørensen, B., Nielsen, S., Jensen, J., 2002. Environmental assessment of veterinary medical products in Denmark. Environmental Project No. 659, Danish Environmental Protection Agency.
- Hanf, M., 1982. Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. BLV-Verlagsgesellschaft, München.
- Hansen, B., Kristensen, E. S., Grant, R., Høgh-Jensen, H., Simmelsgaard, S. E., Olesen, J. E., 2000. Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems – a systems modelling approach. *Europ. J. Agr.* 13, 65–82.
- Hardy, R. W. F., Holsten, H. D., 1977. Methods for measurement of dinitrogen fixation. In: *Agronomy and Ecology*, 451–486. John Wiley & Sons, New York.
- Hedke, K., 1999. Auswirkungen von Anbausystemen auf pilzliche Krankheitserreger im Winterweizen und resultierende Konsequenzen für den integrierten Pflanzenschutz. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Heitefuss, R., Wahmhoff, W., 1985. Grundsätzliche Überlegungen zum Konzept der wirtschaftlichen Schadensschwellen bei der Unkrautbekämpfung. *Gesunde Pflanzen* 3, 81–86.
- Helander, C. A., Delin, K., 2004. Evaluation of farming systems according to valuation indices developed within a European network on integrated and ecological arable farming systems. *European Journal of Agronomy* 21, 53–67.
- Herrmann, A., Taube, F., 2004. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. *Agronomy Journal* 96, 1131–1138.
- Heyden, B., 2004. Bedeutung von Regionalsorten im Getreideanbau. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. 02OE494 im Bundesprogramm Ökologischer Landbau.
- Hoff, A., 1990. Standortbedingtes Auftreten von Unkräutern und sortenbedingte Konkurrenz in einem Feldversuch mit Winterweizen. Diplomarbeit, Professur für Organischen Landbau, Universität Bonn.
- Hofmeister, H., Garve, E., 1986. Lebensraum Acker; Pflanzen der Äcker und ihre Ökologie, Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Hoffmann, G. M., Schmutterer, H., 1999. Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen: 14 Tabellen. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Høgh-Jensen, H., Loges, R., Jørgensen, F., Vinther, F., Jensen, E., 2004. An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *Agricultural Systems* 82, 181–194.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122, 113–130.
- Hötker, H., 2004. Vögel in der Agrarlandschaft. Bestand, Gefährdung, Schutz. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) (Hrsg.), Warlich-Druck, Meckenheim, 44 S.
- Hurle, P., 1988. How to handle weeds? Biological and economical aspects. *Ecological Bulletins* 39, 63–68.
- Jahrstorfer, E., 2001. Weizensorten für den Öko-Anbau. *Bayrische Landwirtschaft* 40, 30.
- Kainz, M., Reents, H. J., 2003. Weizensorten zur Erzeugung von hochqualitativem Backweizen. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wien, 24.–26. Februar 2003, 475–476. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ökologischen Landbau.
- Kalk, W.-D., Heldt, S., Hülsbergen, K.-J., 1996. Energiebilanz im Ökohof Seeben und Vergleich mit anderen Standorten. In: Diepenbrock, W., Hülsbergen, K.-J. (Hrsg.)

- Langzeiteffekte des ökologischen Landbaus auf Fauna, Flora und Boden. Beiträge der wissenschaftlichen Tagung am 25. 4. 1996 in Halle/Saale, 59–69.
- Kayser, M., Seidel, K., Müller, J., 2003. Einfluss unterschiedlicher Verfahren der Grünlanderneuerung auf den N-Austrag mit dem Sickerwasser. In: Landwirtschaftskammer Weser-Ems (Hrsg.), Wege zu einer nachhaltigen Futterproduktion unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts.
- Klaaßen, H., Freitag, J., 2004. Ackerunkräuter und Ackerungräser – rechtzeitig erkennen. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Klink, H., 1997. Geoepidemiologische Erhebungen von Weizenpathogenen in Schleswig-Holstein unter Anwendung und Entwicklung des Integrierten Pflanzenschutzsystems für einen minimierten, bedarfsgerechten Fungizideinsatz. Dissertation, Universität Kiel.
- Kluge, E., 1990. Einfluss acker- und pflanzenbaulicher Faktoren auf die Entwicklung des Mehltaus an Winterweizen. Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz 26.
- Koch, W., 1969. Einfluss von Umweltfaktoren auf die Samenphase annueller Unkräuter insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Unkrautbekämpfung. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Koch, W., 1970. Unkrautbekämpfung. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Korr, V., Maidl, F. X., Fischbeck, G., 1996. Auswirkungen direkter und indirekter Regulierungsmaßnahmen auf Ressourcenkonkurrenz und Artenvielfalt der Unkrautflora in extensiven Landnutzungssystemen. Z. Pflkrankh. Pflschutz, Sonderheft 15, 349–358.
- Koschorreck, J., Koch, C., Rönnefahrt, I., 2002. Environmental risk assessment of veterinary medicinal products in the EU – a regulatory perspective. Toxicology Letters 131, 117–124.
- Kragten, S., Snoo, G., 2006. Breeding birds on organic and conventional arable farmland in the Netherlands. In: Schodde, R., Hannon, S., Scheiffahrt, G., Bairlein, F. (Hrsg.): XXIV. International Ornithological Congress, Hamburg 2006. Abstracts. Journal of Ornithology 147 suppl., 104.
- LANU, 2002. Trendmessnetz 1995–2000. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU), Flintbek.
- LANU, 2006. Die Farn- und Blütenpflanzen Schleswig-Holsteins: Rote Liste. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU), Flintbek.
- Lindhauer, M., Seling, S., Münzing, K., 2005. Qualität des deutschen Weizens 2004. Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Getreide-, Kartoffel- und Stärketechnologie.
- Lochow-Petkus GmbH, 2006a. Winterweizen von Lochow-Petkus: Bussard (E). Im Internet: <http://www.lochow-petkus.de/saat/ctrl.jsp?cat=0:5&item=5:1680> [08.11.2006]
- Lochow-Petkus GmbH, 2006b. Winterweizen von Lochow-Petkus: Dekan (B). Im Internet: <http://www.lochow-petkus.de/saat/ctrl.jsp?cat=0:5&item=5:1684> [08.11.2006]
- Loges, R., 2002. Abschlussbericht – CONBALE-Projekt. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau –, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296, 1694–1697.
- Marshall, E. J. P., Brown, V. K., Boatman, N. D., Lutman, P., Squire, G., Ward, L. K., 2003. Weed seed banks in arable fields under contrasting pesticide regimes. Annals of Applied Biology, 125 349–360.

- Marriott, C. A., Haystead, A., 1993. Nitrogen fixation and transfer. In: Davies, A., Baker, D., Grant, S. A., Laidlaw, A. S. (Hrsg.), *Sward measurement handbook*, 2nd Edition, 245–264. British Grassland Society, Reading.
- Meier, U., 2001. *Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen: BBCH-Monografie*. Biologische Bundesanstalt, Braunschweig.
- Mellon, M., Benbrook, C., Benbrook, K. L., 2001. Estimates of antimicrobial abuse in livestock. UCS Food and Environment Program.
- Mückter, H., 2006. Antibiotika-Rückstände im Trinkwasser. 47. Arbeitstagung des Arbeitsgebiets Lebensmittelhygiene.
- Müller, F., 1986. *Phytopharmakologie – Verhalten und Wirkungsweise von Pflanzenschutzmitteln*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Nemecek, T., Frick, C., Dubois, D., Gaillard, G., 2001. Comparing farming systems at the crop rotation level by LCA. In: Geerken, T., Mattson, B., Olsson, P., Johansson, E. (Hrsg.), 2001: *Proceedings of the International Conference of LCA in Foods*, 26.–27. 4. 2001, Göteborg, 65–69. The Swedish Institute for Food and Biotechnology, SIK-Dokument 143, Göteborg.
- Neumann, H., Geweke, O., Mauscherling, I., Schütz, W., Loges, R., Roweck, H., Taube, F., 2005. Effekte der Umstellung auf ökologischen Landbau auf die Segetalflora zweier Ackerbaubetriebe in Schleswig-Holstein. In: Heß, J., Rahmann, G. (Hrsg.): *Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, 1. – 4. März 2005 in Kassel, 623–626.
- Odörfer, A., 1995. *Auswirkungen einer Extensivierung des Weizenanbaus auf das Auftreten und die Schadrelevanz von Fuß-, Blatt- und Ährenkrankheiten* Dissertation, Technische Universität München.
- Oenema, O., Bannink, A., Sommer, S. G., Velthof, G. L., 2001. Gaseous nitrogen emissions from livestock farming systems. In: Follett, R. F., Hatfield, J. L. (Hrsg.), *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management*, 255–289. Elsevier.
- Oltner, R., Wiktorsson, H., 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Livestock Production science* 10, 457.
- Pawelzik, E., Permady, H., Weinert, J., Wolf, G. A., 1998. Untersuchungen zum Einfluss einer Fusarien-Kontamination auf ausgewählte Qualitätsmerkmale von Weizen. *Getreide, Mehl und Brot* 52, 264–266.
- Perkow, W., Ploss, H., 1993. *Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel*, 3. Auflage. Paul Parey Verlag.
- Permady, H. H., 1999. *Untersuchungen zum Einfluss einer pilzlichen Kontamination auf ausgewählte Qualitätsmerkmale von Weizenerntegut*. Magisterarbeit, Universität Göttingen.
- Pommer, G., 2003. Auswirkung von Saatstärke, weiter Reihe und Sortenwahl auf Ertrag und Backqualität von Winterweizen. In: Freyer, B. (Hrsg.) *Ökologischer Landbau der Zukunft – Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, 69–73. Universität für Bodenkultur, Wien – Institut für ökologischen Landbau.
- Pott, R., 1996. *Biotoptypen. Schützenswerte Lebensräume Deutschlands und angrenzender Regionen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 448 S.
- Riemeyer, A., 2004. Einfluss der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) auf die Pansenfermentation, mikrobielle Proteinsynthese, Menge des am Dünndarm anflutenden

- nutzbaren Proteins (nXP) sowie der Stickstoffausscheidung. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Rotz, C. A., 2006. Integrated Farm System Model. Pasture Systems and Watershed Management Research Unit, USDA, Agricultural Research Service. <http://ars.usda.gov/naa/pswmru>.
- Rotz, C.A., Mertens, D.R., Buckmaster, D.R., Allen, M.S., Harrison, J.H., 1999. A dairy herd model for use in whole farm simulations. *Journal of Dairy Science* 82, 2826–2840.
- Rotz, C. A., Roth, G. W., Soder, K. J., Schnabel, R. R., 2001. Economic and environmental implications of soybean production and use on Pennsylvania dairy farms. *Agronomy Journal* 93, 418–428.
- Rotz, C. A., Roth, G. W., Stout, W. L., 2002a. Economic and environmental implications of small grain production and use on Pennsylvania dairy farms. *Applied Engineering in Agriculture* 18, 417–428.
- Rotz, C. A., Wachendorf, M., Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F., 2002b. A modelling approach to management impacts on nitrogen fluxes in specialised dairy farms. In: Durand, J.-L., Emile, J.-C., Huyghe, C., Lemaire, G. (Eds.), *Multi-function grasslands. Proc. 19th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed.*, 27–30 May 2002, La Rochelle, France. *Grassland Science in Europe* 7, 728–729.
- Rotz, C. A., Wachendorf, M., Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F., 2002c. A modelling approach to management impacts on nitrogen fluxes in specialised dairy farms. *Grassland Science in Europe* 7, 728–729.
- Rotz, C. A., Taube, F., Russelle, M. P., Oenema, J., Sanderson, M. A., Wachendorf, M., 2005. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Science* 45, 2139–2159.
- Ruhe, I., Loges, R., Taube, F., 2002. Stickstoffflüsse in Fruchtfolgen des ökologischen und konventionellen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Maidl F. X., Diepenbrock W. (Hrsg.) *Mitt. d. Ges. f. Pflanzenbauwiss.* 14, 28–29.
- Sachs, L., 2004. *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden.* 11., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer, Berlin, 889 S.
- Sattelberger, R., Gans, O., Martínez, E., 2005. *Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden.* Umweltbundesamt, Wien.
- Schrautzer, J., 2001. *Niedermoore Schleswig-Holsteins: Charakterisierung und Beurteilung ihrer Funktion im Landschaftshaushalt.* Habilitation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Schütz, W., 2003. *Vegetation, Flora und Biotop-Strukturen des Versuchsgutes Lindhof (Schleswig-Holstein).* Kieler Notiz. Pflanzenkd. Schleswig-Holstein Hamb. 30, 131–164.
- Seibel, W., 1996. *Getreide.* In: Eschricht, M., Leitzmann, C. (Hrsg.) *Handbuch Bio-Lebensmittel.* Behr's Verlag, Hamburg.
- Sieling, K., Günther-Borstel, O., Hanus, H., 1997. Effect of slurry application and mineral nitrogen fertilization on N leaching in different crop combinations. *Journal of Agricultural Science* 128, 79–86.
- Snell, K., 1912. Über das Vorkommen von keimfähigen Unkrautsamen im Boden. *Land. Jb.* 43, 323–347.
- Sprenger, B., 2004. *Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen im integrierten und organischen Anbausystem.* Dissertation, TU München.

- Steinmann, F., 2006. Stofflicher Zustand der Gewässer in Schleswig-Holstein. Vortrag bei der Akademie für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein am 2. 11. 06 in Neumünster.
- Stolz, P., Weber, A., Strube, J., 2002. Auswertung der Pestizidgehalte von Lebensmitteln ökologischer und nichtökologischer Herkunft des deutschen Marktes im Zeitraum 1994–2002. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02 OE 677. Im Internet: <http://www.orgprints.org/5399> [05.11.2006]
- Taube, F., Kelm, M., Verreet, J.-A., Hüwing, H., 2006. COMPASS – Vergleichende Analyse der pflanzlichen Produktion in ökologischen und konventionellen Betrieben Schleswig-Holsteins. In: Vorträge zur Hochschultagung 2006 der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, S. 121–129.
- Van der Meer, H. G., 1982. Effective use of nitrogen on grassland farms. In: Corral, A. J. (Hrsg.), Efficient grassland farming. Proceedings of the 9th Meeting of the European Grassland Federation, Reading (UK), 61–68. Occasional Symposium No. 14 of the British Grassland Society. The British Grassland Society, Hurley (UK).
- Van Elsen, T., 1996. Wirkungen des ökologischen Landbaus auf die Segetalflora – Ein Übersichtsbeitrag. In: Diepenbrock, W., Hülsbergen, K.-J. (Hrsg.): Langzeiteffekte des ökologischen Landbaus auf Fauna, Flora und Boden. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Acker- und Pflanzenbau, 143–152.
- Verreet, J.-A., 1995. Angewandte Grundlagen des Integrierten Pflanzenschutzes – Das IPS-Modell Bayern. Habilitationsschrift, TU München.
- Wachendorf, M., Taube, F., 2001. Artenvielfalt, Leistungsmerkmale und bodenchemische Kennwerte des Dauergrünlands im konventionellen und ökologischen Landbau in Nordwestdeutschland. Pflanzenbauwissenschaften 2, 75–86.
- Wachendorf, M., Volkert, K., Taube, F., 2004. Forage production in a crop rotation: impact of N supply on performance and N surplus. Grassland Science in Europe 9, 753–755.
- Wachendorf, M., Volkert, K. C., Loges, R., Rave, G., Taube, F., 2006a. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. IV. Impact of slurry application, mineral N fertilizer and grass understorey on yield and nitrogen surplus of maize for silage. Grass and Forage Science 61(3), 232–242.
- Wachendorf, M., Büchter, M., Volkert, K. C., Bobe, J., Loges, R., Rave, G., Taube, F., 2006b. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass understorey, slurry application and mineral N fertilization on nitrate leaching under maize for silage. Grass and Forage Science 61(3), 243–252.
- Wendling, U., Schellin, H. G., Thomae, M., 1991. Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Zeitschrift für Meteorologie 41, 468–475.
- Wessel-Bothe, S., Pätzold, S., Klein, C., Behre, G., Welp, G., 2000. Adsorption von Pflanzenschutzmitteln und DOC an Saugkerzen aus Glas und Keramik. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 53–56.
- Wiermann, C., 2003. Betriebsumfrage auf Praxisbetrieben in Schleswig-Holstein (unveröff.).
- Wilson, J. D., Evans, J., Brown, S. J., King, J. R., 1997. Territory distribution and breeding success of skylarks *Alauda arvensis* on organic and intensive farmland in southern England. Journal of Applied Ecology 34, 1462–1478.

- Winckler, C., Engels, H., Hund-Rinke, K., Luckow, T., Simon, M., Steffens, G., 2004. Verhalten von Tetrazyklinen und anderen Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. Umweltbundesamt, Berlin.
- Witte, J., 2006. Dauergrünland und Klee gras im ökologischen Landbau: Charakterisierung von Leistungsparametern im Projekt COMPASS. Masterarbeit, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Wittrock, A., 2001. Das integrierte Pflanzenschutzsystem (IPS-Weizen) im praktischen Betrieb Schleswig-Holstein – Implementierung und Validierung –. Dissertation, Universität Kiel.
- Zimmermann, G., Strass, F., 1989. Einfluss der Saatzeit auf Ertrags- und Qualitätseigenschaften neuerer Winterweizensorten. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 66, 493–499.
- Zwenger, P., Ammon, H. U., 2002. Unkraut – Ökologie und Bekämpfung. Eugen Ulmer, Stuttgart.

11. Danksagung

Dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR) des Landes Schleswig-Holstein sowie der Landwirtschaftlichen Rentenbank Frankfurt/Main ist hiermit für die Finanzierung des Projektes herzlich gedankt.