

Universität Kassel/Witzenhausen
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Agrartechnik
Prof. Dr. sc. agr. Oliver Hensel

**Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau -
Analyse einer Verfahrenstechnik
im Kontext der Bodenfruchtbarkeit**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Agrarwissenschaften

von
Birgit Wilhelm
aus Plattling

2010

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades „Doktorin der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 20.08.2010

Erster Gutachter: Prof. Dr. Oliver Hensel

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Jürgen Heß

Mündliche Prüfer: Prof. Dr. Ton Baars

Prof. Dr. Ulf Liebe

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Autors urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2010

Im Selbstverlag: Birgit Wilhelm

Bezugsquelle: Universität Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Agrartechnik
Nordbahnhofstr. 1a
37213 Witzenhausen

Vorwort

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts mit dem Titel „Förderung der Mulchsaat durch Entwicklung und Erprobung einer Sensor- und Verfahrenskombination zur Präzisionsbodenbearbeitung“, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Ziel dieses interdisziplinären Projekts in Zusammenarbeit mit der Firma Amazone-Werke, der Universität Kiel und der FH-Kiel war es, eine Präzisionsbodenbearbeitung für pfluglose Verfahren zu entwickeln. In Abhängigkeit von unterschiedlichen Bodenparametern, die mittels geeigneter Sensor- bzw. Informationssysteme erfasst werden, wird am Grubber die optimale Arbeitstiefe teilflächenspezifisch geregelt.

In diesem Projekt bestand meine primäre Aufgabe darin, mit Hilfe von pflanzenbaulichen Feldversuchen die geeignete Arbeitstiefe in Abhängigkeit von Strohmenge und Bedeckungsgrad unter Praxisbedingungen zu ermitteln. Die Ergebnisse sind Grundlage für ein Online-Verfahren, das mit Hilfe eines Sensorsystems den Strohbedeckungsgrad ermittelt (Pforte, 2010). Die Feldversuche wurden auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsbetrieb der Universität Kassel/Witzenhausen durchgeführt, der dem Fachbereich 11 der Ökologischen Agrarwissenschaften angegliedert ist.

Die Forschung im Ökolandbau ist in diesem speziellen Bereich der Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Agrarforschung noch nicht weit fortgeschritten. So entstanden eine grundsätzliche Auseinandersetzung mit der Bodenbearbeitung im Ökolandbau und der Kontakt zu Ökobauern, die ihren eigenen Weg in der Bodenbearbeitung gegangen sind. Die persönliche Begeisterung über die Vorstellung, so wenig wie möglich in den Boden einzugreifen und doch genügend zu ernten waren der Antrieb, sich intensiv mit der Thematik von angepassten, pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau zu beschäftigen und diese zu erforschen.

Der Text ist auf Grund der besseren Lesbarkeit im generischen Maskulin verfasst, dies ist keine geschlechtsspezifische Wertung. Die Arbeit ist allen Bäuerinnen und Bauern gewidmet, die weltweit den Boden zur Erzeugung von Lebensmitteln bearbeiten.

Danksagung

Bei dieser Arbeit habe ich von vielen Seiten Unterstützung und Hilfe erfahren. Dafür möchte ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen, Freundinnen und Freunden herzlich bedanken. Die Arbeit hat mir bis zum Schluss Freude bereitet, weil ich mit Euch zusammenarbeiten, diskutieren, streiten und feiern durfte!

Das freundschaftliche und sehr angenehme Arbeitsklima im Fachgebiet Agrartechnik waren eine gute Grundlage für meine Arbeit und meine Zeit in Witzenhausen.

Ohne Ökobäuerinnen und Ökobauern hätte es diese Arbeit nicht gegeben. Drei Bauern haben mich - im Rahmen dieser Arbeit- an ihrem Wissen teilhaben lassen. Dies ist für mich der wertvollste Teil meiner Arbeit.

Für die Möglichkeit am Fachgebiet Agrartechnik das Thema konservierende Bodenbearbeitung so umfassend und unkonventionell zu erforschen und für die ideale Betreuung möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Hensel herzlich danken. Ebenso Herrn Prof. Dr. Heß, Herrn Prof. Dr. Baars, Frau PD Dr. Kaufmann und Herrn Holtermann, für die vielen nützlichen Hinweise und Unterstützung, die sie mir während meiner Promotionsarbeit gegeben haben.

Einmal mehr ist mir in dieser Zeit bewusst geworden, welchen großen Rückhalt ich von meinen Eltern, meinen Brüdern und ganz besonders von Ludwig Krämer erhalte. Dies ist ein sehr kostbares Geschenk, das einen großen Teil zum Entstehen der Arbeit beigetragen hat.

*All reform will fail, that are not based on
a foundation of spiritual values.
(Edith Balfour in "The Living Soil")*

Inhalt

1	Einleitung	11
1.1	Problemstellung	12
1.2	Zielsetzung.....	13
2	Literaturübersicht	14
2.1	Bodenbearbeitung als Verfahrenstechnik.....	14
2.2	Klassifizierung von Bodenbearbeitungssystemen	15
2.3	Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung	17
2.4	Bodenbearbeitung und Bodenfruchtbarkeit	19
2.5	Aufgaben und Ziele der Bodenbearbeitung.....	21
2.5.1	Unkrautregulierung	21
2.5.2	Nährstoffmanagement	22
2.5.3	Schädlings- und Krankheitsregulierung	23
2.5.4	Erosionsschutz	23
2.5.5	Energieverbrauch.....	24
2.6	Langzeitversuche zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau.....	25
2.6.1	Aufbau der Versuche	25
2.6.2	Ergebnisse.....	29
2.6.2.1	Unkraut.....	29
2.6.2.2	Bodenbiologische und bodenphysikalische Parameter	31
2.6.2.3	Nährstoffverfügbarkeit und Erträge.....	32
3	Feldversuch.....	34
3.1	Material und Methode.....	34
3.1.1	Standortbeschreibung.....	34
3.1.2	Versuchsaufbau	37
3.1.3	Datenerhebung	39
3.1.3.1	Bodenbedeckungsgrad Stroh	39
3.1.3.2	Feldaufgang Ölrettich	40
3.1.3.3	Trockenmasse Ölrettich.....	40
3.1.3.4	Begleitende Bodenuntersuchungen.....	41
3.1.3.5	Spatendiagnose.....	41
3.1.3.6	Statistik.....	41
3.2	Ergebnisse	42
3.2.1	Bodenbedeckungsgrad Stroh	42
3.2.2	Feldaufgang Ölrettich.....	45
3.2.3	Trockenmasse Ölrettich	48
3.2.4	Bodenuntersuchungen.....	49
3.2.5	Spatendiagnose.....	51
4	Umfrage zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau	53
4.1	Material und Methode.....	53
4.2	Ergebnisse	55
4.2.1	Geräteeinsatz bei der Grundbodenbearbeitung.....	55
4.2.1.1	Verwendete Bodenbearbeitungsgeräte	56
4.2.1.2	Bearbeitungsgeräte und Standort der Betriebe	58

4.2.1.3	Bearbeitungsgeräte und Betriebsform.....	58
4.2.2	Bearbeitungstiefe.....	59
4.2.2.1	Bearbeitungstiefe und Bodenbearbeitungsgeräte	60
4.2.2.2	Bearbeitungstiefe und Betriebsform	61
4.2.3	Anteil gepflügter Ackerfläche.....	62
4.2.4	Pflugverzicht in der Fruchtfolge	63
4.2.5	Hauptgründe für den Pflugeinsatz	64
5	Experteninterviews zur konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau.....	67
5.1	Material und Methode	67
5.1.1	Auswahl der Landwirte	68
5.1.2	Datenerhebung.....	69
5.1.3	Datenbearbeitung und Auswertung	70
5.2	Ergebnisse.....	71
5.2.1	Fallbeispiel 1	72
5.2.1.1	Betriebsbeschreibung	72
5.2.1.2	Beweggründe und Motivation.....	74
5.2.1.3	Ziele der Bodenbearbeitung.....	76
5.2.1.4	Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen	79
5.2.1.5	Interpretation	82
5.2.2	Fallbeispiel 2	86
5.2.2.1	Betriebsbeschreibung	86
5.2.2.2	Beweggründe und Motivation.....	88
5.2.2.3	Ziele der Bodenbearbeitung.....	89
5.2.2.4	Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen	92
5.2.2.5	Interpretation	95
5.2.3	Fallbeispiel 3	98
5.2.3.1	Betriebsbeschreibung	98
5.2.3.2	Beweggründe und Motivation.....	100
5.2.3.3	Ziele der Bodenbearbeitung.....	101
5.2.3.4	Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen	103
5.2.3.5	Interpretation	107
6	Diskussion	109
6.1	Diskussion Literatur	109
6.2	Diskussion des Feldversuchs	110
6.3	Diskussion der Umfrage zur praktischen Bodenbearbeitung im Ökolandbau ...	114
6.4	Diskussion der Experteninterviews	117
7	Schlussfolgerung	121
8	Zusammenfassung	124
9	Summary	126
10	Literaturverzeichnis.....	128

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren nach Köller (2001).....	15
Abb. 2: Bodenbearbeitungsverfahren nach Intensität geordnet (eigene Darstellung)	17
Abb. 3: Schlagplan Frankenhausen mit Flächen des Feldversuchs 2007 - 2009	35
Abb. 4: Monatliche Niederschlagsmengen in mm von 2007 – 2009	36
Abb. 5: Kombinationsgrubber Centaur 3002 mit Wendelscharen	38
Abb. 6: Versuchsverlauf 2007, 2008 und 2009.....	39
Abb. 7: Einsatz des Kamerasensors im Feldversuch	40
Abb. 8: Schematische Darstellung eines Boxplot nach Köhler (2002).....	42
Abb. 9: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2007	43
Abb. 10: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2008	43
Abb. 11: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2009	44
Abb. 12: Veränderung des Bedeckungsgrad nach der 2. Bodenbearbeitung	45
Abb. 13: Feldaufgang 2007 und 2008	46
Abb. 14: Feldaufgang 2009, Ölrettich Sorte Rufus	47
Abb. 15: Trockenmasse Ölrettich in g/m (2007)	48
Abb. 16: Trockenmasse Ölrettich in g/m ² (2008)	48
Abb. 17: Trockenmasse Ölrettich in g/m ² (2009)	49
Abb. 18: N _{min} Analysen der Bodenproben vom 26.08.2009.....	50
Abb. 19: N _{min} Analyse der Bodenproben vom 27.10.2009	51
Abb. 20: Spatendiagnose am 23. Oktober 2009 Grubber falch mit 80 dt Stroh/ha.....	52
Abb. 21: Spatendiagnose am 23. Oktober 2009 Pflug mit 80 dt Stroh/ha	52
Abb. 22: Zusatzfragebogen Bodenbearbeitung	54
Abb. 23: Verteilung aller Betriebe und der Betriebe mit "anderen Geräten"	58
Abb. 24: Verteilung der Betriebsform innerhalb der einzelnen Bearbeitungskategorien....	59
Abb. 25: Angaben zur maximalen Bearbeitungstiefe.....	59
Abb. 26: Verteilung der Gerätekategorien in den unterschiedlichen Bearbeitungstiefen...	60
Abb. 27: Verteilung der Bearbeitungstiefen in den Betriebsformen	61
Abb. 28: Anteil der in 2009 gepflügten Ackerfläche	62
Abb. 29: Übersicht der Angaben zum Pflugverzicht in der Fruchtfolge.....	63
Abb. 30: Ausgewählte Angaben zum Zeitpunkt des Pflugverzichts in der Fruchtfolge	64
Abb. 31: Konzeptdarstellung nach Kaufmann (2008)	71
Abb. 32: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B1	74
Abb. 33: Ziele der Bodenbearbeitung von B1	78
Abb. 34: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B2	87
Abb. 35: Ziele der Bodenbearbeitung von B2.....	91

Abb. 36: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B3	99
Abb. 37: Ziele der Bodenbearbeitung von B3	103

Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Liste der Langzeitversuche zu Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau.....	27
Tab. 2: Informationen zu den Feldversuchsflächen	35
Tab. 3: Bodenbearbeitungsvarianten im Feldversuch 2007-2009	37
Tab. 4: Keimfähigkeit und Anzahl ausgesäter Pflanzen/m ² Ölrettich 2007-2009	40
Tab. 5: Mittelwerte des Bodenbedeckungsgrades nach 1. Bearbeitung.....	42
Tab. 6: Mittelwerte der N _{min} Bodenuntersuchungen in der Krumme im Versuchsverlauf...	49
Tab. 7: Übersicht über Rücklauf des Fragebogens	54
Tab. 8: Verwendete Geräte für die Grundbodenbearbeitung.....	55
Tab. 9: Am häufigsten verwendete Gerätegruppen, in der Kategorie "andere Geräte"	56
Tab. 10: Am häufigsten verwendete Gerätegruppen in der Kategorie "Pflug und andere Geräte"	57
Tab. 11: Hauptgründe für den Pflugeinsatz	65
Tab. 12: "andere Gründe" für Pflugeinsatz	65
Tab. 13: Datenquellen der drei Fallbeispiele	69
Tab. 14: Betriebsbeschreibung B1	72
Tab. 15: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B1	76
Tab. 16: Betriebsbeschreibung B2	86
Tab. 17: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B2.....	89
Tab. 18: Betriebsbeschreibung B3	98
Tab. 19: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B3.....	101

1 Einleitung

Die Bodenbearbeitung wird als die „hohe Kunst“ im Ackerbau bezeichnet. Mit unterschiedlichsten Geräten und Verfahrenstechniken wird gelockert, gewendet, zerkrümelt und gemischt, um die besten Voraussetzungen für eine gute Ernte zu schaffen. Im Mittelpunkt der Bodenbearbeitung steht der Boden, die oberste belebte Schicht der Erdrinde. Er entsteht durch Verwitterung des mineralischen Ausgangsgesteins und durch Ablagerung und Einmischung organischer Substanz durch das Bodenleben (Scheffer et al., 2002). Das Zusammenspiel der biologischen, chemischen und physikalischen Bodenprozesse spiegelt sich im natürlichen Ertrag des Bodens wider und wird als Bodenfruchtbarkeit bezeichnet. Die organische Substanz im Boden spielt eine sehr wichtige Rolle bei den komplexen Bodenprozessen. Durch die Zersetzung von organischer Substanz durch Bodenlebewesen werden die gebundenen Nährstoffe für Pflanzen verfügbar. Gleichzeitig können bei einem Überangebot von Nährstoffen, diese wieder an organische Substanz gebunden und somit vor Auswaschung geschützt werden (Scheffer et al., 2002). Durch Gründüngung, Mulchen, Kompostgaben, jede Form von organischer Düngung oder auch durch Einarbeitung von Ernteresten wird organische Substanz im Boden gespeichert (Baeumer, 1992). Mit den Entdeckungen des Chemikers Justus von Liebig (1803 – 1873) zur Mineraldüngung und mit der einseitigen Zielsetzung der Agrarforschung auf Produktionssteigerung nahm die Bedeutung der organischen Substanz im Boden und die damit zusammenhängenden Bodenprozesse in den Agrarwissenschaften stark ab. Jahrzehntlang übernahm die rein chemische Sichtweise der Pflanzenernährung in den Agrarwissenschaften die Führungsrolle (Uekötter, 2007). Der Boden wurde wie ein inaktives Substrat behandelt, ein Produktionsfaktor wie Kapital und Arbeit, unbegrenzt verfügbar und ausschließlich Standort von Pflanzen (Amberger, 1996).

Heute ist der Boden weltweit bedroht. Zu den wesentlichen Ursachen der Bodendegradation gehören neben der Entwaldung mit einem Degradationsanteil von 30 %, die Überweidung (35 % Degradationsanteil) und landwirtschaftliche Aktivitäten (27 %) (WBGU, 1994). Allein in Deutschland gehen den Bäuerinnen und Bauern jährlich acht Tonnen pro Hektar fruchtbarer Boden verloren. Dem gegenüber steht ein jährlicher Bodenaufbau von etwa einer Tonne pro Hektar. Bereits 25 % der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche kann als degradiert bezeichnet werden (Uphoff et al., 2006). Diese problematische Entwicklung ist schon lange bekannt und gehört zu den großen Herausforderungen der Weltgemeinschaft (FAO, 1981). Bereits 1972 ist die lebenswichtige Bedeutung des Bodens für den Menschen und Prinzipien zum Bodenschutz in der Europäischen Bodencharta fest geschrieben worden (Europarat, 1972). In Deutschland mündete die gesellschaftliche Diskussion 1999 in das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), das den Boden mit seinen vielfältigen Funktionen für die Gesellschaft gesetzlich schützen soll (Loll, 2003). Die Vorsorgepflicht nach §7 BBodSchG wird in der Landwirtschaft bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis erfüllt, die im §17 BBodSchG näher definiert wird (Holzwarth et al., 2000). Im Mittelpunkt steht der Boden als Produktionsstandort, der erhalten bleiben soll. Mit dem Fokus auf den Bodenschutz wird die Entwicklung und zunehmende Verbreitung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen und Direktsaat vorangetrieben (Derpsch et al., 2009).

In den 50er Jahren formierte sich die organisch-biologische Landbaubewegung (Schaumann et al., 2002) unter anderem als Gegenbewegung zu der rein chemischen Sichtweise des Bodens. Die Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit standen im Mittelpunkt der sich organisierenden Bauern. Dabei wurden die theoretischen Grundlagen zur ökologischen Bodenbewirtschaftung von verschiedensten Blickwinkeln ausführlich behandelt. Die natürlichen Bodenprozesse sollten für die landwirtschaftliche Produktion erforscht und entsprechen genutzt werden (Balfour, 1956; Rusch, 1980; Pfeiffer, 1969; Sekera, 1984). In diesem Sinne definierten die Pioniere des Ökolandbaus den Begriff „Bodenfruchtbarkeit“ als „Viele-Elemente-Ansatz“, dem eine Ganzheitsvorstellung zu Grunde liegt (Patzel et al., 2000). In allen Richtlinien der europäischen und internationalen ökologischen Anbauverbände und Vereinigungen finden sich Anforderungen zum Erhalt und zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit (IFOAM, 2006; Naturland e.V., 2007, Bioland e.V., 2008; Soil Association, 2009). Auch im Artikel 12 (1) der EU Gesetzgebung zum Ökolandbau wird gefordert, die Fruchtbarkeit und biologische Aktivität des Bodens zu erhalten und zu steigern.

In den letzten Jahren wird deutlich, dass viele in den Richtlinien des Ökolandbaus theoretisch festgelegten Prinzipien aus einer bestimmten Wertevorstellung zum Umgang mit der Natur und den Tieren entstanden sind (de Wit et al., 2007). Dies gilt auch für die Umsetzung des Prinzips der Bodenfruchtbarkeit in die praktische Ökologische Landwirtschaft. Eine Voraussetzung dafür ist eine persönliche Wertschätzung des Bodens, die traditionell bei Bäuerinnen und Bauern vorhanden ist und aus der täglichen Arbeit mit dem Boden resultiert. Diese Wertschätzung steht möglicherweise in Konkurrenz zu Fortschritt und Technik (Abt, 1983) und in diesem Spannungsfeld befindet sich der Ökolandbau, wie die Konventionalisierungsdebatte zeigt (Lindenthal et al., 2007).

1.1 Problemstellung

Obwohl seit Gründung der ökologischen Landbaubewegung über eine angepasste Bodenbearbeitung diskutiert wird, ist nach wie vor der Pflug das häufigste Gerät zur Grundbodenbearbeitung (Köpke, 2003). Konservierende Bodenbearbeitungssysteme werden hauptsächlich aus Gründen der ungenügenden Unkrautregulierung für den Ökolandbau als nicht geeignet eingeschätzt. Die vielfältigen Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung wie unter anderem der geringere Energiebedarf (Tabatabaeefar et al., 2009), die Zeit- und Geldersparnis (Verch et al., 2009) und die Förderung des Bodenlebens, sowie eine verstärkte Humusbildung (Jacobs et al., 2009; Chen et al., 2009), die sich für konventionelle Landwirte als positiv erwiesen haben (Holland, 2004), sind auch für Ökolandwirte von großem Interesse. Im Rahmen der "Cross Compliance" Verpflichtungen ist der Einsatz des Pfluges in Deutschland seit 2004 aus Gründen des Bodenschutzes reglementiert. Landwirte, die weiterhin ihre einzelbetriebliche Direktzahlung erhalten wollen, dürfen 40% der erosionsgefährdeten Flächen im Zeitraum vom 1. Dezember bis 15. Februar nicht mehr pflügen (StMELF, 2010). Daher muss sich insbesondere die Forschung im Ökolandbau den Herausforderungen einer konservierenden Bodenbearbeitung stellen, um auch in Zukunft dem Anspruch eines umweltfreundlichen und bodenschonenden Bewirtschaftungssystems gerecht zu werden. Die Vielfalt der Ökologischen Landwirtschaft und der Erhalt und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit sind dabei zu berücksichtigen.

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit ist ein Beitrag zu der – immer noch aktuellen – Diskussion über eine angepasste Bodenbearbeitung im Ökolandbau. Bislang wird in Forschungsarbeiten zur konservierenden Bodenbearbeitung hauptsächlich der Feldversuch als Methode angewendet. In dieser Arbeit werden insgesamt vier Methoden berücksichtigt, um die verschiedenen Aspekte der Bodenbearbeitung zu untersuchen:

- Literaturrecherche
- Feldversuch
- Umfrage
- Experteninterviews

Im Literaturteil werden die Entwicklungen in der Grundbodenbearbeitung im Bezug auf den theoretischen Anspruch der Förderung der Bodenfruchtbarkeit analysiert, sowie die praktischen Aufgaben, die die Bodenbearbeitung im Ökolandbau zu erfüllen hat (Kapitel 2). Hierzu zählen auch die Ergebnisse der Langzeitprojekte zu Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau, die im Kapitel 2.4 ausführlich vorgestellt werden. Die Ergebnisse eines eigenen dreijährigen Feldversuchs, der das Mulchsaatverfahren nach Getreide mit zwei verschiedenen Bearbeitungstiefen zur Zwischenfrucht mit dem Pflugeinsatz vergleicht, werden in Kapitel 3 vorgestellt. Um einen Überblick über die aktuelle Situation der Bodenbearbeitung auf Ökobetrieben in Deutschland zu erhalten, wurde eine Umfrage durchgeführt (Kapitel 4). Die Erkenntnisse des Feldversuchs und die Ergebnisse der Umfrage werden im Kapitel 5 um praktische Erfahrungen von Ökobauern ergänzt, die seit über zehn Jahren auf ihren Betrieben nur noch konservierende Bodenbearbeitung betreiben (Experteninterviews). Mit dieser Vielzahl von Methoden und Ergebnissen wird ein umfassender Einblick in die Bodenbearbeitung im Ökolandbau gegeben. Die Chancen und Risiken und der weitere Forschungsbedarf der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau werden abschließend diskutiert (Kapitel 6 und 7).

2 Literaturübersicht

Die Literaturübersicht ist das Ergebnis einer intensiven Recherche in klassischen Standardwerken zur Bodenbearbeitung, in wissenschaftlichen Fachzeitschriften, Projektberichten und in Konferenz- bzw. Seminarberichten zum Thema Bodenbearbeitung im Ökolandbau.

2.1 Bodenbearbeitung als Verfahrenstechnik

Die ackerbaulichen Aufgaben der Bodenbearbeitung sind seit Jahrhunderten gleich geblieben und unabhängig von der Bewirtschaftungsmethode (Estler et al., 1996):

- (1) Herstellen einer lockeren Bodenoberfläche für die Aussaat
- (2) Beseitigen von Pflanzen, die mit den Kulturpflanzen konkurrieren
- (3) Verbessern des Wasser-, Luft- und Wärmehaushalts des Bodens für ein optimales Wachstum der Pflanzen
- (4) Einmischen von organischer Substanz

Die Schwerpunkte sind je nach Bearbeitungsgang unterschiedlich. In der Verfahrenstechnik werden Stoppelbearbeitung (4) Grundbodenbearbeitung (2, 3, 4) und Saatbettbereitung (1) unterschieden. Die Bodenbearbeitung in der Ökologischen Landwirtschaft unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht von der Bearbeitung im konventionellen Anbau. Allerdings hat in der konventionellen Landwirtschaft die Unkrautregulierung durch Bodenbearbeitung (2) an Bedeutung verloren, weil im Gegensatz zum Ökolandbau Herbizide zur Bekämpfung eingesetzt werden (Feuerlein, 1971).

Im Gegensatz zu Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz gibt es keine verbindlichen Richtlinien zur ökologischen Bodenbearbeitung. Im Hinblick auf die Förderung und den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit wurden einige praktische Anforderungen formuliert (Hampl et al., 1995):

- kompakte Böden wieder beleben
- eine schichterhaltende Bodenbearbeitung durchführen, wenn möglich ist auf den Pflug zu verzichten (um Bodenleben zu schonen)
- tief lockern (wenn nötig) und flach wenden
- keine Lockerung ohne sofortige Ansaat
- regenwurmschonend arbeiten





















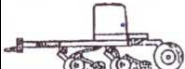
Ambitionierte ökologisch arbeitende Ackerbauern versuchten zum Teil mit eigenen Umbauten von Maschinen diesen Anforderungen gerecht zu werden (Weichel, 1981; Bugge et al., 2005). Der generelle Pflugverzicht war seit Beginn der ökologischen Bodenbearbeitung ein viel diskutiertes Thema. Einzelne Ökobauern entwickelten ihre eigenen pfluglosen Systeme, die sie zum Teil seit über fünfzehn Jahren auf ihren Betrieben erfolgreich einsetzen (Klöpfer, 2007; Wilhelm et al., 2009).

2.2 Klassifizierung von Bodenbearbeitungssystemen

In der Diskussion um Bodenbearbeitungssysteme werden eine Vielzahl von Begriffen und Definitionen verwendet. Baeumer (1992) gliederte als einer der ersten in Deutschland die Bearbeitungssysteme nach folgenden Kriterien: (1) Anzahl der Verfahrensschritte, (2) Art und Intensität der Bearbeitung und (3) Zweckbestimmung des Verfahrens. Auf Grundlage dieser Überlegungen unterscheidet er eine Lockerbodenwirtschaft, eine Lockerboden-Mulchwirtschaft, eine Festboden-Mulchwirtschaft und eine extreme Festboden-Mulchwirtschaft (Baeumer, 1992).

Die bekannteste Einteilung der Bodenbearbeitungssysteme ist die Darstellung der KTBL-Arbeitsgruppe „Bodenbearbeitung und Bestellung“ von 1993, die auf der Basis einer Systematik von Köller (1981) erarbeitet wurde (Abb.1).

Abb. 1: Einteilung der Bodenbearbeitungsverfahren nach Köller (2001)

Bodenbearbeitungs- u. Bestellverfahren	Arbeitsabschnitte			Arbeitsgänge
	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat	
Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug		 oder 		getrennt
		 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
				reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert
Konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug mit Lockerung	 oder 	 oder 		getrennt
	 oder 	 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
	 oder 			reduziert alle Arbeitsgänge kombiniert
ohne Lockerung		 oder 		reduziert Saatbettbereitung u. Saat kombiniert
Direktsaat keine Bodenbearbeitung				nur Saat

Hier wird zwischen konventioneller Bodenbearbeitung (mit Pflug), konservierender Bodenbearbeitung (ohne Pflug) und Direktsaat (keine Bodenbearbeitung) unterschieden. Die konservierende Bodenbearbeitung wird in zwei Intensitätsstufen unterteilt: mit Lockerung und ohne Lockerung. Bei einer Bearbeitungstiefe von maximal 10 cm wird von konservierender Bodenbearbeitung ohne Lockerung gesprochen (Voßhenrich et al., 2008).

Um Übersetzungsfehler und Missverständnisse in der internationalen Kommunikation zu vermeiden, hat Loibl (2006) die Einteilung an die nordamerikanische Definition angepasst und erweitert. Neben der Bearbeitungsintensität wird dabei vor allem der Bedeckungsgrad bei der Aussaat berücksichtigt. Er unterscheidet zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung. Die konventionelle Bodenbearbeitung wird in „wendend“ und „nicht wendend“ unterteilt. Ab einem Bedeckungsgrad von mindestens 30 % bei der Aussaat, bzw. bei einer der Einarbeitung von mindestens 112 dt organische Substanz/ha wird der Begriff konservierender Bodenbearbeitung verwendet. Hierbei wird zwischen Mulchsaat, Streifensaar und Direktsaat unterschieden. Diese Systematik hat sich im europäischen Raum bislang nicht durchgesetzt (DLG e.V., 2008; Herlitzius et al., 2010).

In einigen Veröffentlichungen wird der Begriff reduzierte Bodenbearbeitung („reduced tillage“) als Synonym für konservierende Bodenbearbeitung verwendet. In der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik wird unter reduzierter Bearbeitung die Einsparung von Arbeitsgängen durch Gerätekombinationen, oder auch der Verzicht einzelner Prozessabschnitte, wie zum Beispiel der Stoppelbearbeitung verstanden. Eine reduzierte Bearbeitung kann somit auch in konventionellen Bearbeitungsverfahren (mit Pflug) erfolgen (Köller, 1985).

Nach wie vor weit verbreitet, besonders im Ökolandbau ist die Unterscheidung zwischen „wendender“ und „nicht-wendender“ Bodenbearbeitung. Dabei wird „nicht-wendend“ als Synonym für die konservierende Bodenbearbeitung gebraucht. Nicht berücksichtigt ist dabei die neueste Pflugtechnik der Schälplüge bzw. des Stoppelhobels, die ein sehr flaches Wenden (unter 10 cm) ermöglicht. Bei dieser Bearbeitungstiefe wird von konservierender Bodenbearbeitung gesprochen (Voßhenrich et al., 2008).

Als weiteres Bodenbearbeitungssystem, das vor allem im Ökologischen Gartenbau, bzw. im Feldgemüsebau eingesetzt wird, hat sich in den letzten Jahren das Dammkultursystem verbreitet. Die Technik wird für alle Kulturen verwendet. Eigens entwickelte Säaggregate ermöglichen eine Aussaat auf der Dammkrone. Die Dämme werden für jede Vegetationsperiode oder Kultur neu angehäufelt, mit einer Arbeitstiefe von 20 cm bis 35 cm. Die Pflegearbeiten und die Lockerung erfolgen in maximal 5-7 cm Tiefe. Die Bearbeitungsintensität der Dammkultursysteme liegt zwischen der Intensität von konservierenden Bearbeitungsverfahren und den konventionellen Verfahren mit dem Pflug, die - im Vergleich - die höchste Intensität aufweisen (Müller et al., 2009).

Die verschiedenen Begriffe zur Bodenbearbeitung lassen sich in folgender Hierarchie darstellen:

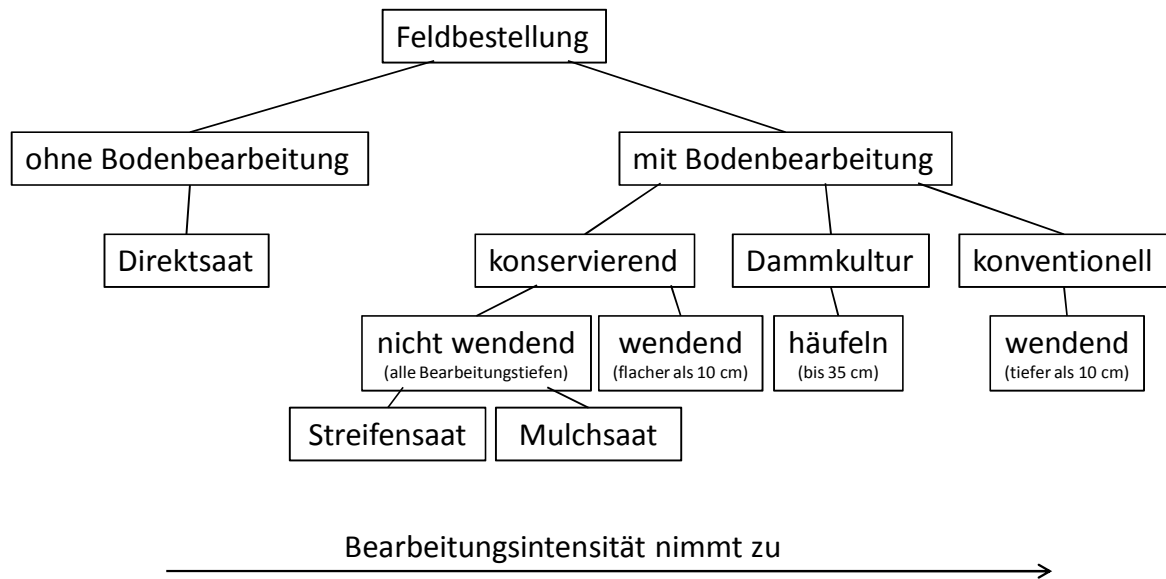


Abb. 2: Bodenbearbeitungsverfahren nach Intensität geordnet (eigene Darstellung)

2.3 Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung ist eine der ältesten Verfahrenstechniken in der Landwirtschaft. Von der reinen Handarbeit mit der Hacke hat sich die Bodenbearbeitung innerhalb eines halben Jahrhunderts in Mitteleuropa über das Ochsen- und Pferdegespann zur satellitengesteuerten, teilflächenspezifischen Bearbeitung mit modernstem Gerät („precision farming“) entwickelt. Diese Veränderung beschreibt der Landwirt Kussel mit folgenden Worten (Beste, et al., 2001): „Einer der markantesten Unterschiede war jedoch zweifellos die veränderte Pflugarbeit. Hatte man doch beim Gespannpflug noch den direkten Kontakt zum Boden, das „Reh“ des Pfluges mit seinen Handgriffen übertrug die Bodenstruktur und ihre Veränderung direkt zu den Händen des Bauern. Das Wenden und Krümeln des Pflugbalkens hatte man ständig im Auge.“ Mit der Einführung der Traktoren und zunehmender Zugkraft werden die angehängten Maschinen und Gerätekombinationen größer und effizienter, die Bearbeitung tiefer und der Abstand des Bauern zum Boden größer (Uekötter, 2007).

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts, als geometrische Streichblechformen aus Stahl entwickelt wurden, war eine tiefe, vollständig wendende Bodenbearbeitung mit Pferdegespann möglich (Söhne, 1992). Eine weitere Steigerung der Bearbeitungsintensität erfolgte ab dem Einsatz von Dampfpflügen, die auf Grund der hohen Kosten hauptsächlich auf großen landwirtschaftlichen Gütern eingesetzt wurden (Söhne, 1992). Max Eyth beschreibt den Einsatz von Dampfpflügen auf den Baumwoll- und Zuckerrohrplantagen in Louisiana 1868 und die damals möglichen Bearbeitungstiefen (Eyth, 2006): „Unter der 10“ (25 cm) tiefen Schicht ausgenützten Boden liegt im Mississippital eine andere unerschöpfliche Schicht des besten dunklen Lehmboden (...) und alles was nötig ist, besteht darin diese

Erde an's Tageslicht zu bringen. Ein Dampfpflug speziell für die Bedürfnisse des Landes konstruiert, rettet allein die Zuckerkultur Louisiana's. (...) und legt seine 16 Zoll (40 cm) tiefen Schollen für die nächste Zuckerrohrernte zurecht, (...) während in ein paar Wochen ein zweiter Untergrundpflug, der 24" (61 cm) tief gehen wird, von England ankommen muss.“

Etwa 60 Jahre nach dem Einsatz der ersten Dampfpflüge in den USA gab es erste Überlegungen zu Alternativen in der Bodenbearbeitung (Faulkner, 1943), ausgelöst durch die extreme Winderosion und Sandstürme, die fruchtbare Ackerböden zerstörten (Köller et al., 2001). Sie führten in den 50er Jahren zu den ersten wissenschaftlichen Direktsaatversuchen. Ab 1962 ist dieses Bearbeitungssystem unter US-amerikanischen Bedingungen in der Praxis getestet worden (Derpsch et al. 2008). Seit dieser Zeit hat sich vor allem die Sätechnik deutlich verbessert. Heute werden weltweit ca. 95 Million Hektar mit Direktsaatssystemen bewirtschaftet (Derpsch et al., 2009). Seit den 90er Jahren unterstützt die FAO (Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen) Kleinbauern mit zahlreichen Projekten in Entwicklungsländern bei der Umstellung zu konservierenden Bodenbearbeitungssystemen (FAO, 2010). Vor allem in tropischen und subtropischen Klimazonen sind die Vorteile einer ständigen Bodenbedeckung, kombiniert mit einer diversifizierten Fruchtfolge schnell durch steigende Erträge erkennbar (FAO, 2010).

Voraussetzung für eine Verbreitung der Direktsaat in die Praxis war eine umfangreiche Weiterentwicklung und Zulassung von Herbiziden (Kuipers, 1970). Zu den ersten Wirkstoffen zählten 2,4-DB (1958), Atrazine (1959) und der Wirkstoff Paraquat, der 1962 unter dem Handelsnamen Gramaxone als Totalherbizid auf den Markt kam (Timmons, 2005). Der am weitesten verbreitete Wirkstoff ist heute Glyphosat, der in dem Totalherbizid mit dem Handelsnamen „Roundup“ enthalten ist (Smolka, 2005). Neben der Entwicklung der Totalherbizide steht auch die Entwicklung von gentechnisch veränderten Pflanzen im Zusammenhang mit Direktsaatssystemen. USA, Brasilien und Argentinien gehören zu den Ländern, in denen die Direktsaat am meisten verbreitet ist (Derpsch et al., 2009), insbesondere Sojabohnen werden in Direktsaatssystemen angebaut. Die drei Länder sind führend im Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (Clive, 2008). GV-Soja ist seit 2003 in Brasilien zugelassen, 2007 betrug der Anteil an GV-Soja in Brasilien schon 65 %. In den USA und Argentinien beträgt der GV-Anteil am Gesamtsojaanbau 90 % bzw. 98 %. Die Resistenz, gegen das Herbizid mit dem Wirkstoff Glyphosat ist bei GV-Sojabohnen das kommerziell wichtigste Merkmal (TRANSGEN, 2010). Diese erfüllen somit die besten Voraussetzungen für den Einsatz in Direktsaatssystemen.

In Deutschland wurden die ersten Versuche zu konservierenden Bodenbearbeitungssystemen Ende der 60er Jahre durchgeführt. 1966 wurden von Kahnt in Hohenheim (Kahnt, 1976) und 1967 von Baeumer in Göttingen (Baeumer, 1970) Feldversuche angelegt. Es wurde die Bodenbearbeitung mit Pflug mit den damaligen Direktsaatssystemen unter Verwendung von Totalherbiziden verglichen. Seit Anfang der 80er Jahre bewirtschaften Landwirte an besonders erosionsgefährdeten Standorten vor allem im Zuckerrübenanbau und im Maisanbau ihre Böden in Deutschland mit Mulchsaatssystemen (Brunotte, et al., 2008). Im Vergleich zu den USA, Brasilien und Argentinien hat sich die konservierende Bodenbearbeitung in Europa bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts in der praktischen Landwirtschaft langsamer durchgesetzt (Garcia-Torres, 2003). 2005 wurden in Europa laut European Conservation Agriculture Federation

(ECAF) drei Millionen Hektar mit Direktsaatsystemen und 12 Millionen Hektar mit konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet (ECFA, 2005).

Im Ökologischen Landbau startete 1992 der erste Langzeitversuch im Kloostergut Scheyern (Bayern). In einem Feldversuch wurde untersucht, welche Art der Grundbodenbearbeitung in einem ökologischen Gemischtbetrieb zu den besten Ergebnissen bei den Erträgen, der Wirtschaftlichkeit und im Bereich des Bodenlebens führt (Kainz et al., 2003) (siehe Kapitel 2.6).

2.4 Bodenbearbeitung und Bodenfruchtbarkeit

„Bodenfruchtbarkeit“ ist ein Begriff aus der landwirtschaftlichen Praxis. Seit Beginn der Sesshaftigkeit der Menschen wird der Boden systematisch zur Pflanzenerzeugung genutzt. Die tatsächliche „Kulturwirtschaft“ beginnt mit der Entwicklung von Maßnahmen, die die Bodenfruchtbarkeit fördern, um möglichst hohe Erträge pro Fläche zu erzielen (Winkel, 1991). Die Ertragsfähigkeit des Bodens war lange Zeit einer der wichtigsten Kenngrößen für die Bodenfruchtbarkeit (Patzel et al., 2000).

Der Erhalt und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit sind zwei der wichtigsten Ziele der Ökologischen Landwirtschaft. Die Pioniere des Ökolandbaus definierten den Begriff "Bodenfruchtbarkeit" als "Viele-Elemente-Ansatz", dem eine Ganzheitsvorstellung zu Grunde liegt (Patzel 2003). Das heißt, es wird eine Vielzahl von Eigenschaften, Prozessen und Faktoren des Bodens bei der Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit berücksichtigt. Die EG-Verordnung 2092/91, die seit 1992 europaweit die Richtlinien für die Produktion von ökologischen Produkten festlegt, nennt folgende Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (EG-Öko-Basisverordnung 834/2007 Art. 12, 2007):

- mehrjährige Fruchtfolge, u.a. auch mit Leguminosen und anderen Gründüngungspflanzen,
- Einsatz von Wirtschaftsdüngern aus ökologischer/biologischer Tierhaltung oder organischen Substanzen, die vorzugsweise kompostiert sind

Für alle genannten Maßnahmen ist eine angepasste Bodenbearbeitung notwendig. Um die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf den Boden wissenschaftlich zu quantifizieren, werden die biologischen, chemischen und physikalischen Veränderungen des Bodens in den jeweiligen Spezialgebieten untersucht. Baeumer (1991) forderte mit dem Ziel einer umweltgerechten Bodennutzung, eine Zusammenarbeit aller Spezialisten, um im Rahmen einer Ökosystemforschung die Auswirkungen von Bodennutzungssystemen auf die Agrarökosysteme zu untersuchen. In diesem Sinne vereint der Begriff Bodenfruchtbarkeit alle wissenschaftlichen Teilbereiche miteinander und repräsentiert in einem Wort den interdisziplinären Anspruch der landwirtschaftlichen Forschung.

Im englischsprachigen Raum wird in diesem Zusammenhang verstärkt der Begriff „Bodenqualität“ (soil quality) verwendet, der die verschiedenen Leistungen eines Bodens in einem Begriff vereint. Dabei definieren je nach Konzept unterschiedliche Bodenparameter die entsprechende Bodenqualität (Fry, 2001). In der Forschung zum Ökolandbau, die dem ganzheitlichen Ansatz dieses Anbausystems gerecht zu werden versucht, gibt es verschiedene Überlegungen welche verschiedenen Bodenparameter bei der Auswahl zu berücksichtigen sind (Heß et al., 1990; Kahnt, 1997). Insbesondere biologische Bodenpa-

parameter spielen bei der Diskussion um die Auswirkungen von ökologischen Anbaumethoden auf den Boden eine wichtige Rolle. Die Nutzung der vielfältigen, biologischen Zusammenhänge im Boden wird von Wissenschaftlern als Schlüssel zur nachhaltigen Landwirtschaft beurteilt (Abbott, et al., 2007). Die Intensität und der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung haben einen Einfluss auf die biologischen Bodenprozesse (Young et al., 2000; Anken et al., 2004; Joergensen et al., 2006;). Um den Langzeiteffekt der Landwirtschaft auf das Bodenleben beurteilen zu können, favorisieren Bodenbiologen eine Kombination von Indikatoren basierend auf mikrobieller Aktivität und mikrobieller Biomasse, die auch zu ökophysiologischen Quotienten zusammengefasst werden können (Joergensen et al., 2006). Das Ziel ist ein stabiles Ökosystem im Boden. Mäder et al. (2002) sehen in der Zunahme an mikrobieller Vielfalt bei gleichzeitiger Abnahme des metabolischen Quotienten eine effizientere Nutzung der Ressourcen bei ökologischer Bewirtschaftung. Dies ist ein Merkmal für „reife“ Ökosysteme.

Einen weiteren Ansatz zum Begriff „Bodenfruchtbarkeit“ beschreibt Patzel et al. (2000), indem er vom „Phänomen der Bodenfruchtbarkeit“ spricht. Seiner Meinung nach lässt sich die Bodenfruchtbarkeit nicht als rein naturwissenschaftlicher Fachbegriff erfassen, da der Boden einen Wert an sich hat. Dieser Aspekt wird insbesondere dann wichtig, wenn in die Beurteilung der Bodenbearbeitungsverfahren der Mensch als „mit dem Boden arbeitender“ einbezogen wird. Nur wenn sich der Mensch den „Wert des Bodens“ bewusst macht, kann er nachhaltig handeln (Voigt et al., 2007). Grundlage dafür ist eine kritische Auseinandersetzung mit dem vorherrschenden Weltbild des Anthropozentrismus, das den Mensch und seine technologischen Entwicklungen in den Mittelpunkt stellt. Voigt et al. (2007) beschreiben wie Ökolandwirte in einem Seminar zur Bodenfruchtbarkeit einerseits die Wichtigkeit der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit betonen, andererseits aber fast alle mit schweren Maschinen ihre Felder befahren. Das Gefühl mit dem Boden vorsichtig umzugehen ist vorhanden, geht aber in den täglichen Sachzwängen der modernen Landwirtschaft unter. Der Agrarsoziologe Theodor Abt beschreibt im ländlichen Raum der Schweiz die Veränderungen der Beziehung Mensch und Natur, die der technische Fortschritt mit sich bringt. In diesem Sinne stehen der Fortschritt und die Mechanisierung in der Bodenbearbeitung im Gegensatz zur traditionellen inneren Verbundenheit mit dem Boden. In diesem Spannungsfeld arbeiten die Bauern (Abt, 1983). Das Prinzip der Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau setzt eine Wertvorstellung in der Arbeit mit dem Boden voraus, die sich aus einer Beziehung zum Boden und Bodenleben entwickelt. Im Rahmen eines transdisziplinären Forschungsprojekts zur Direktsaat in der Schweiz wird diese Beziehung im Hinblick auf die Bodenbearbeitung untersucht (Schneider, 2008). Durch intensive Gespräche mit den Bauern wurde deutlich, dass die Einführung einer neuen Bearbeitungstechnik (hier Direktsaat) eine komplette Veränderung der bisherigen Lebenswelt der Bauern darstellt. Für eine erfolgreiche Umsetzung bedarf es somit mehr, als die praktische Eingliederung der Technik in den Arbeitsalltag (Schneider et al., 2008). Die Bodenbearbeitung hat daher nicht nur Einfluss auf die Bodenqualität, sondern auch eine Auswirkung auf die Beziehung zwischen Mensch und Boden.

2.5 Aufgaben und Ziele der Bodenbearbeitung

Für den ackerbaulichen Erfolg, besonders in der Ökologischen Landwirtschaft, ist das Zusammenspiel zwischen Fruchtfolge und technischer Bodenbearbeitung eine der wichtigsten Maßnahmen (Kahnt, 1997; Bärberi, 2006). Die Bodenbearbeitung ist im Ökolandbau eine der wenigen direkten Maßnahmen, um Unkraut zu regulieren, den Nährstoffhaushalt im Boden zu beeinflussen und auch Krankheitserreger und Schädlinge zu bekämpfen. Darüber hinaus spielen bei der Frage nach einer angepassten Bodenbearbeitung im Ökolandbau der Bodenschutz und der Energieverbrauch eine wichtige Rolle.

2.5.1 Unkrautregulierung

Erfolgreiches Unkrautmanagement im Ökologischen Landbau berücksichtigt eine Vielzahl von direkten (z.B. Hacken) und indirekten Maßnahmen (z.B. Fruchtfolge) (Bärberi, 2002). Ziel ist es, eine Ausgewogenheit zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen, zum Vorteil der Kulturpflanzen herzustellen (Bond et al., 2001). In der Praxis zählt die Bodenbearbeitung immer noch zu den wichtigsten Maßnahmen der Unkrautregulierung (Verschwele, et al., 2004), neben der Fruchtfolge (Häusler et al., 2004). Dabei werden verschiedene Strategien zur Regulierung des Unkrautpotentials im Ackerboden verfolgt und genutzt: (1) Unkrautsamen vergraben, (2) Unkrautpflanzen verschütten und zerschneiden, oder (3) Unkraut zur Keimung anregen (Mohler, 2001). Da der Pflug die ersten beiden Aufgaben am wirkungsvollsten umsetzt, wird er nach wie vor als zuverlässigste Unkrautregulierungsmaßnahme angesehen (Hakansson et al., 1998; Kouwenhoven, 2000). Ein Schwerpunkt von Forschungsprojekten ist die Bekämpfung von Wurzelunkräutern (Kranzler et al., 2002; Landbauforschung Völkenrode, 2003; Engelke T. und Pallutt B., 2004). Bereits die Durchführung einer Stoppelbearbeitung in Kombination mit dem Pflug zeigt positive Effekte bei der Regulierung von Wurzelunkräutern (Pekrun et al., 2006). Lukashyk et al. (2007) empfehlen, für eine effektive Bekämpfung von *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel) in viehlosen Ökobetrieben eine Kombination von mehrmaliger Stoppelbearbeitung, mit zunehmender Bearbeitungstiefe (6 cm, 12 cm 15 cm) und den Anbau von konkurrenzstarken Zwischenfrüchten. Die Grundbodenbearbeitung in dieser Untersuchung erfolgte mit dem Pflug auf 30 cm Tiefe. Diese Methoden, wie auch der Anbau von zweijährigem Klee gras mit viermaligem Schnitt und Umbruch auf 30 cm Tiefe mit dem Pflug, erzielten gute Erfolge. Diese Maßnahmen stehen in direkter Konkurrenz zu den Anforderungen des Ökologischen Landbaus, den Boden so flach wie möglich zu wenden und so wenig wie möglich zu bearbeiten, um das Bodenleben zu schützen (Hampl et al., 1995).

Maßnahmen der Bodenbearbeitung, die die Entwicklungsphasen und -zyklen der einzelnen Unkräuter berücksichtigen, sind zum Beispiel das „falsche Saatbett“. Hierbei wird mit Hilfe einer flachen Bodenbearbeitung eine feinkrümelige Bodenstruktur hergestellt, um für die im Boden vorhandenen Unkrautsamen und/oder das Ausfallgetreide optimale Keimbedingungen zu schaffen. Bei einer Untersuchung zum Anbau von Winterweizen konnte in Kombination von „falschem Saatbett“ und einer späteren Aussaat der Unkrautdruck um 50 % und die Unkrautsamenbank im Boden deutlich reduziert werden (Rasmussen, 2004). Die Bodenbearbeitung im Dunkeln, zur Vermeidung des zur Keimung von

Lichtkeimern notwendigen Lichtimpulses bei der Bearbeitung hat sich in der Praxis (noch) nicht durchgesetzt (Hartmann et al., 2004).

2.5.2 Nährstoffmanagement

Die Nährstoffverfügbarkeit in ökologisch bewirtschafteten Böden ist abhängig von biologischen Bodenprozessen, insbesondere der Umsetzung von organischer Substanz (Stockdale et al., 2002), sowie des Stickstoff-(N-)Stoffwechsels des Bodens (Scheller, 1993). Ausschlaggebend für die biologischen Bodenprozesse sind ein hoher Anteil von organischer Substanz im Boden bei gleichzeitig hoher Aktivität der mikrobiellen Biomasse (Kaiser, 1994; van den Bossche et al., 2009;) und eine vielfältige Artenzusammensetzung der Bodenorganismen (Micro- und Macroorganismen) (Postma-Blaauw et al., 2006). Für die Stickstoffversorgung ist von Bedeutung, dass der nachgelieferte Bodenstickstoff von den Pflanzen vorrangig verwertet wird (Scheller, 1993). Durch die Bewirtschaftung kann die Stickstoff-(N-)Versorgung der Pflanzen aus dem N-Stoffwechsel des Bodens gesteuert werden, wenn gleichzeitig die natürlichen Veränderungen der mikrobiellen Biomasse berücksichtigt werden (Scheller, 1993). Die biologische Aktivität kann durch Bodenbearbeitung gefördert, aber auch behindert werden.

Für eine optimale Stickstoff-(N-)Ausnutzung ist die N-Verfügbarkeit zum richtigen Zeitpunkt des Pflanzenwachstums ausschlaggebend (Berry et al., 2002). Im Herbst muss eine Auswaschung von Stickstoff vermieden werden, im Frühjahr soll durch Mineralisierung ausreichend Stickstoff für das Wachstum der Pflanzen vorhanden sein (Reents et al., 2001). Intensive Bodenbearbeitung kann durch Mineralisierung die Auswaschung von Stickstoff begünstigen. Große Stickstoff-(N-)Mineralisierungsraten mit hohem Auswaschungspotential werden gemessen, wenn Böden nach jahrelanger reduzierter Bodenbearbeitung wieder mit dem Pflug bearbeitet werden (Stockfisch et al., 1999; Catt et al., 2000).

Der Anbau von Leguminosen (meist Luzerne- oder Klee gras) spielt in der Fruchtfolge eine zentrale Rolle. Der Umbruch von Klee gras wird im Ökolandbau vor allem auf sandigen Böden als mögliche Quelle der Nitratauswaschung gesehen (Berntsen et al., 2006; Böhm et al., 2009). Zwar sind im Vergleich zu konventionellen Anbausystemen die Auswaschungsraten im Ökolandbau niedriger (Hansen et al., 2000; Haas, 2001; Kelm et al., 2007), aber mit einer angepassten Bodenbearbeitung lassen sich die Stickstoff-Verluste noch weiter verringern (Pekrun et al., 2003). Ein Klee grasumbruch im frühen Herbst mit nachfolgender Schwarzbrache ist besonders auf sandigen und flachgründigen Böden zu vermeiden (Djurhuus et al., 1997). Der Anbau von Zwischenfrüchten oder Untersaaten ist auf Standorten mit ausreichend Niederschlag eine Lösung, um Stickstoffverluste im Herbst zu verhindern (Moller Hansen et al., 1997; Berg et al., 2003; Hauggaard-Nielsen et al., 2009). Auch der Verzicht einer Stoppelbearbeitung der Klee grasnarbe konnte auf leichten Böden nachweislich den Stickstoffaustrag vermindern, ohne die Folgefrucht Winterweizen zu beeinträchtigen (Heß et al., 1992). Die Rispenhirse bringt bei Mulchsaat ohne Saatbettbereitung bessere Erträge als bei Pflugeinsatz im Herbst mit unmittelbarem Anbau einer Zwischenfrucht. Durch die konservierende Bodenbearbeitung ist eine kontinuierliche N-Mineralisierung gegeben, die dem N-Bedarf der Rispenhirse entspricht (Lux et al., 2009).

2.5.3 Schädlings- und Krankheitsregulierung

Die Populationsdynamik und Epidemiologie von Schädlingen und Krankheitserregern im Ackerbau wird durch unterschiedliche pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst. Die Bodenbearbeitung hat hauptsächlich Auswirkungen auf den Lebensraum der Schädlinge und/oder Krankheitserreger (Garbe, 2001). Besonders Schaderreger (vor allem Pilzsporen), die auf Stoppel- und oder Mulchresten überdauern, können bei konservierenden Bodenbearbeitungssystemen begünstigt werden. Untersuchungen zeigen jedoch, dass hierbei vor allem die Witterungsverhältnisse und die Fruchtfolge einen bedeutenden Einfluss auf das Krankheitspotential haben (Kahnt, 1995; Garbe, 2001). Ein Überblick über Untersuchungen zu Auswirkungen von konservierender Bodenbearbeitung auf Krankheiten konnte nicht bestätigen, dass unter konventionellen Anbausystemen ein generell höherer Krankheitsbefall zu verzeichnen ist (Sturz et al., 1997). Versuchsergebnisse zum Drahtwurmbefall bei Kartoffeln im Ökolandbau zeigen, dass der Drahtwurmbesatz bei nichtwendender und bei geringerer Intensität der Bodenbearbeitung niedriger ist, als bei der Bearbeitung mit dem Pflug (Schepl et al., 2003).

Schnecken und Mäuse finden auf Feldern mit konservierender Bodenbearbeitung oftmals geeignete Lebensräume vor und können beträchtliche Schäden verursachen (Kahnt, 1995; Köller et al., 2001). Spezifische Untersuchungen zu Schäden von Schnecken und Mäusen in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung liegen nicht vor. Bei Feldmäusen (*Microtus arvalis*) kommt es zu periodischen Massenvermehrungen. Die höchsten Dichten werden dabei in großräumigen Grünland- und Ackerbausteppen festgestellt, die niedrigsten in „aufgelockerten“ Räumen mit Baumbewuchs (Lauenstein, 2008). Bei einer Bekämpfung ist eine rechtzeitige Erkennung der Massenvermehrung ausschlaggebend. Durch die Bodenbearbeitung werden die Mäusenester auf den Feldern zerstört, die sich in einer Tiefe von 10 -30 cm befinden. Effektiv eingesetzt hat diese Maßnahme einen Populationseinbruch zur Folge. Dies gilt auch bei einer konservierenden Bodenbearbeitung. Hierbei wird beobachtet, dass auf Grund des kompakteren Untergrunds der Nesterbau nicht bis in eine Tiefe von 30 cm erfolgt und somit eine flache Bearbeitung zur Zerstörung ausreicht (Schwinge, 2008).

2.5.4 Erosionsschutz

Die konservierende Bodenbearbeitung wird vor allem im konventionellen Ackerbau als Schutzmaßnahme gegen die Bodenerosion durch Wind und Wasser eingesetzt und gefördert (Schmidt et al., 2004). Erosion ist ein natürlicher Vorgang und die Höhe des Bodenabtrags wird von unterschiedlichen Einflussgrößen bestimmt. In der allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) sind sechs Faktoren definiert, die den jährlichen Bodenabtrag durch Wasser, einer ackerbaulich genutzten Fläche beeinflussen (Wischmeier et al., 1978).

Diese Gleichung wurde, anhand von langjährigen Untersuchungen zur Bodenerosion durch Wasser in den USA entwickelt (Schwertmann et al., 1987):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A: Bodenabtrag in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$

R: mittlerer jährlicher Regenfall- und Oberflächenabflußfaktor, als Maß für die gebiets-spezifische Erosionskraft der Niederschläge

K: Bodenerodierbarkeitsfaktor, jährlicher Abtrag eines Bodens pro R-Einheit, der durch die fünf Bodeneigenschaften: Gehalt an der Korngröße Schluff und Feinstsand, Gehalt an der Korngröße Sand abzgl. Feinstsand, Gehalt an organischer Substanz, Aggregatklasse und Durchlässigkeitsklasse bestimmt wird

L: Hanglängenfaktor

S: Hangneigungsfaktor

C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P: Erosionsschutzfaktor

Die Faktoren R, L, S und P sind durch die Bodenbearbeitung nicht beeinflussbar. Der Faktor K wird langfristig durch die Bodenbearbeitung verändert. Der Faktor C berücksichtigt unmittelbar die Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Fläche (Schwertmann et al., 1987). In den Faktor C fließt unter anderem der Bodenbedeckungsgrad mit ein. Je höher die Bodenbedeckung, umso geringer der Bodenabtrag. Bei einer Bodenbedeckung von 30 % verringert sich der relative Bodenabtrag bis zu 50 % (Scheffer et al., 2002; Lindstrom et al., 2003). Weitere Nutzungsfaktoren, die kurzfristige Auswirkungen auf die Erosionsgefährdung von landwirtschaftlichen Flächen haben, sind neben der Bodenbedeckung, die Wasseraufnahmefähigkeit, die Bodenverdichtung, die Aggregatstabilität und die aktuelle Bodenfeuchte (Frielinghaus et al., 2004). Auf Grund der unterschiedlichen Einflussgrößen ist der Bodenabtrag regional sehr unterschiedlich. Für Deutschland wird im langjährigen Mittel eine Bodenerosion von 8 t/ha und Jahr angenommen (Auerswald, 1998).

Untersuchungen zur Bodenerosion im Ökolandbau haben gezeigt, dass im Vergleich zu konventionellen Betrieben der Bodenabtrag im ökologischen Anbausystem geringer ist (Auerswald et al., 2003), bzw. dass konventionell bewirtschaftete Flächen anfälliger für Bodenerosion sind (Siegrist et al., 1998). Dies wird unter anderem auf die Unterschiede in der Fruchtfolge, Düngung und dem Pflanzenschutzmitteleinsatz zurückgeführt (Kainz et al., 2009). Trotzdem sieht man die Notwendigkeit, sich auch im Ökolandbau mit konservierenden Bodenbearbeitungssystemen auseinander zu setzen, als einen weiteren Faktor der den Bodenabtrag beeinflusst (Kainz, 2010).

2.5.5 Energieverbrauch

Die landwirtschaftliche Erzeugung in Industrienationen ist abhängig von fossiler Energie. Der Anteil am Endenergieverbrauch für den Sektor Landwirtschaft beträgt in Europa 2,5 %, dies entspricht etwa 28,5 Mio t Rohöleinheiten pro Jahr (Europäische Gemeinschaft, 2007). Mit Hilfe von Modellrechnungen wird der direkte und indirekte Energieaufwand in den verschiedenen Bereichen der Landwirtschaft berechnet (Halberg, 2008). Die direkte Energie im Ackerbau ist der Energieaufwand für den Einsatz von Maschinen (Öl und Diesel), Bewässerung und Trocknung auf dem Betrieb. Der indirekte Energieaufwand beinhaltet die Energie für die Maschinenherstellung, Saatgut, Düngemittelherstellung und weitere externe Betriebsmittel (Dalgaard et al., 2001). In ökologischen Anbausystemen ist

der Energieverbrauch pro Hektar je nach Kultur bis zu 50 % geringer als in konventionellen Systemen. Die Einsparungen werden vor allem durch den Verzicht von Pestiziden und synthetische Düngemittel erreicht, die dem indirekten Energieaufwand zugerechnet werden (Cormack, 2000). Der direkte Energieverbrauch ist in beiden Systemen annähernd gleich, wenn das gleiche Bodenbearbeitungsverfahren verglichen wird. Die Bodenbearbeitung hat in der gesamten landwirtschaftlichen Produktion den höchsten direkten Energieverbrauch (Moitzi et al., 2009). Der Anteil von Dieselmotorkraftstoff am Energieverbrauch im Beispiel eines Langzeitfeldversuchs in Deutschland im ökologischen Anbausystemen beträgt 46 %, im Vergleich zu 29 % im konventionellen System (Deike et al., 2008). Hieraus ergibt sich ein hohes Energieeinsparpotential in der Bodenbearbeitung. Der Kraftstoffverbrauch kann bereits durch einfache Wartungsmaßnahmen am Motor bis zu 15 % gesenkt werden, sowie durch Anpassung der Motorenleistung an die Betriebsfläche (Moitzi et al., 2009). Mit konservierender Bodenbearbeitung oder einer Reduzierung des Pflugeinsatzes in der gesamten Fruchtfolge kann der Kraftstoffverbrauch noch weiter gesenkt werden. In den USA konnte in der ökologischer Maisproduktion im Vergleich zum Pflugeinsatz bei ökologischer Direktsaat 30 % Kraftstoff/ha eingespart werden (LaSalle et al., 2008).

2.6 Langzeitversuche zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau

Das erste wissenschaftliche Langzeitprojekt, das verschiedene Bodenbearbeitungsgeräte unter ökologischen Anbaubedingungen untersuchte, war der Versuch des Wissenschaftszentrums Weihenstephan auf Flächen des Klostersgut Scheyern von 1992 bis 2004. Weitere Projekte folgten in Deutschland in Rommersheim, Rheinhessen von 1994 bis 2004, sowie Versuche der Universität Gießen (seit 1998), Hohenheim (seit 1999) und Kassel (seit 2002). Die deutschen Landesanstalten in Brandenburg (seit 1993), Sachsen Anhalt (seit 1994) und Nordrhein-Westfalen legten eigene Langzeitversuche zu verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau an. In den USA wurde von 1999 bis 2004, neben zwei konventionellen Varianten zur konservierenden Bodenbearbeitung, auch eine Variante unter ökologischen Bedingungen untersucht: Seit 2006 wird am Rodale Institute auf verschiedenen Standorten konservierende Bodenbearbeitung unter ökologischen Richtlinien erforscht. In der Schweiz gibt es zwei Langzeitversuche zur Bodenbearbeitung. Ein Versuch wird von der Agroscope in Tänikon durchgeführt und enthält auch konventionelle Varianten. Der zweite Versuch läuft seit 1998 am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Der bislang einzige Langzeitversuch mit einer Direktsaatvariante unter ökologischen Bedingungen ist der Versuch von der ISARA Lyon (Ecole d'Ingénieurs en Alimentation, Agriculture, Environnement et Développement Rural) in Frankreich, der seit 2003 durchgeführt wird. In Tabelle 1 sind die Langzeitversuche zu Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau aufgelistet, deren Ergebnisse oder Teilergebnisse wissenschaftlich veröffentlicht wurden. Die Übersicht erfasst die einzelnen Versuche mit ihrer Versuchsfrage, Standort, Bodenart, Laufzeit und Bearbeitungsvariante (Tab.1).

2.6.1 Aufbau der Versuche

Die Versuche sind Feldversuche als Block- oder Spaltenanlage mit 2–4 Wiederholungen. Bei den Versuchen auf dem Klostersgut Scheyern und auf dem Eichenhof wurden die Flä-

chen mit Versuchsbeginn auf ökologische Bewirtschaftung umgestellt. Alle anderen Versuche finden auf bereits im Vorfeld ökologisch bewirtschafteten Flächen statt. Der Langzeitversuch in Frankreich kombiniert klassische Feldversuche mit Versuchen unter praktischen Bedingungen auf landwirtschaftlichen Betrieben. Ziel aller Versuche ist es, die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf Kulturpflanzen (Ertrag) und Boden (Bodenfruchtbarkeit, Bodengesundheit, Bodenleben) zu untersuchen. Die Wirtschaftlichkeit der Grundbodenbearbeitung war im Versuch in Scheyern ein weiteres Kriterium.

In den Versuchsanlagen wird der Pflugeinsatz als Standardgerät mit Grubber, Zweischichtenpflug und weitere Gerätekombinationen verglichen. Als Auswahlkriterien für die verwendeten Bodenbearbeitungsgeräte werden die aktuelle Verwendung in der Praxis, die Umsetzung der Forderung „flach wenden, tief lockern“ und die Einführung von konservierenden Bearbeitungstechniken im Ökolandbau genannt (Hampl et al., 2005; Schmidt et al., 2006; Vian et al., 2009). Die Arbeitstiefe der Pflugvarianten liegt zwischen 25 cm und 30 cm. Die Langzeitversuche in der Schweiz und in Frankreich arbeiten mit flacheren Pflugtiefen von 15 cm bzw. 17 cm. In drei Versuchen wird ein Zweischichtenpflug verwendet. Dieses Gerät wendet den Boden auf ca. 15 cm Tiefe und lockert gleichzeitig die darunter liegende Bodenschicht zwischen 10-15 cm tief, daraus ergibt sich eine Gesamtbearbeitungstiefe von 25-30 cm (Hampl et al., 2005; Schmidt et al., 2006; Gruber et al., 2009). Diese Bearbeitung entspricht der Idee von „flach wenden, tief lockern“. Die Grubbergeräte werden in den Versuchen in unterschiedlichen Ausführungen und Scharkörpern mit Arbeitstiefen von 10-30 cm eingesetzt. Im Langzeitversuch der Universität Gießen auf dem Gladbacherhof wurden ab 2004 auf Grund der schwierigen Bodenverhältnisse zu Beginn der Vegetation die zwei Bearbeitungsvarianten mit Grundbodenbearbeitung im Frühjahr angepasst. Ab 2004 erfolgt in diesen Varianten auch eine Grundbodenbearbeitung im Herbst, es wird zwischen 15 cm tief wenden (mit Zweischichtenpflug) bzw. 15 cm tief lockern (mit Schichtengrubber) unterschieden (Schmidt et al., 2006). Im Systemvergleich der Universität Kassel (Brandt et al., 2003) wurde neben der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug und einer Variante mit einem Schälppflug das Dammkultursystem nach Turiel untersucht, um konkrete Lösungsansätze für die Praxis zu erarbeiten. Nach der Definition von konservierender Bodenbearbeitung (siehe 2.1) kann auf Grund der Bearbeitungstiefe und der verwendeten Geräte keine Variante als konservierende Bodenbearbeitung bezeichnet werden. Dies ist bei den vorgestellten Ergebnissen unter 2.4.2 zu berücksichtigen. Im Dammkultursystem werden alle Kulturen auf Dämmen angebaut. Die Dämme werden nach jeder Kultur wieder versetzt und mehrmals neu aufgeschüttet. Die Bearbeitungsintensität ist im Dammkultursystem im Vergleich zum Pflug jedoch niedriger (Müller et al., 2009). Schälppflüge ermöglichen nach Herstellerangaben die exakte Einstellung einer flachen Pflugtiefe (7-10 cm), können aber auch bis 25 cm tief arbeiten. Im Systemversuch der Universität Kassel wurde der Ecomat der Firma Kverneland auf einer Arbeitstiefe von 15 cm getestet (Brandt et al., 2003).

Tab. 1: Liste der Langzeitversuche zu Bodenbearbeitungssystemen im Ökolandbau bzw. mit ökologischen Anbauvarianten, chronologisch nach Versuchsbeginn geordnet (eigene Darstellung)

Ort/Projekt/Institut	Zeitraum	Bodenart/Bodentyp	Bearbeitungsgerät (Bearbeitungstiefe)	Referenz
Klostergut Scheyern, Bayern Deutschland/ Wissenschaftszentrum Weihenstephan	1992 - 2002	uL (schluffiger Lehm) Braunerde aus sandig-kiesigem Molassematerial mit Lössbeimengung	onland Pflug (28 cm) Schichtengrubber (20cm) und Fräse (10 cm) 3 Mal Pflug in sieben Jahren (max. 20 cm) 2 Mal mischende Gerte (10-15 cm)	(Kainz et al., 2005) (Kainz et al., 2003)
Eichenhof, Rommersheim, Rheinhessen Deutschland/PB/SOEL und Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Mainz	1994 - 2004	schluffiger Lehm bis schluffiger Ton Lössboden über tertiärem Mergel, Pararendzina auf Löss	Pflug (30 cm) Zweischichtenpflug : wendend (15 cm), Bodenlockerung (30 cm) Schichtengrubber (30 cm)	(Hampl et al., 2005) (Bassemir, 2005) (Plümer, 2005) (Weber et al., 2005) (Vakali, 2004) (Emmerling, 2001) (Emmerling et al., 1997)
Beltsville, MD, USA/ USDA-ARS Beltsville Agriculture research Center	1994 - 2002	Lehm	Konventionelle Direktsaat, Herbizideinsatz Konventionelle Direktsaat mit Deckfrucht, POST- Herbizideinsatz Konventionelle Diektsaat mit Kronwicke, PRE- und POST-Herbizideinsatz Grubber im Ökoanbauverfahren (Bodenbearbeitung, nur zur Einarbeitung von organischen Dünger und zur Unkrautregulierung)	(Teasdale et al., 2007) (Teasdale et al., 2000) (Lu et al., 2000)
Gladbacher Hof, Hessen, Deutschland/ Universität Gießen	Seit 1998	lehmiger Schluff 25 % Ton 71 % Schluff 4 % Sand	Pflug (30cm) im Herbst Zweischichtenpflug (15 cm wendend, 15-30 cm Bodenlockerung) im Herbst Zweischichtenpflug (15 cm wendend, 15-30 cm Bodenlockerung) Frühling; neu seit 2004: 15 cm wendend im Herbst Grubber (15 -30 cm) Frühling, neu seit 2004: 15 cm Bodenlockerung im Herbst	(Schulz et al., 2009) (Schmidt et al., 2006) (Schmidt et al., 2005) (Schmidt et al., 2003) (Schmidt et al., 2003)

Ort/Projekt/Institut	Zeitraum	Bodenart/Bodentyp	Bearbeitungsgert (Bearbeitungstiefe)	Referenz
Kleinhohenheim, Baden-Württemberg, Deutschland/ Universität Hohenheim	Seit 1999	Lehm-Lösslehm	Pflug (25 cm) Zweischichtenpflug (15 cm wendend, 15-25 cm Bodenlockerung) Pflug (15 cm) Grubber (10 cm)	(Gruber et al., 2009) Experiment 3 (Gruber et al., 2007)
Tänikon, Schweiz/ Forschungsanstalt Agroscope	Seit 1999	22 % Ton 35 % Schluff 43 % Sand	Pflug (konventionell) (25 cm) Flach Grubbern (konventionell) (8 cm) Pflug und flache Bearbeitung in Kombination (kologisch) (25 cm + 8 cm)	(Anken et al., 2000) (Anken et al., 2009) (Anken et al., 2005)
Frankenhausen, Hessen Deutschland/ Universität Kassel FB11	Seit 2002	Ut3 (toniger Schluff), Ton 16,8 %, Schluff 81 %, Sand 2 % Parabraunerde	Pflug (25 cm) Ecomat (15 cm) Dammkultur mit Häufelpflug: Turielsystem (35 cm)	(Müller et al., 2009) (Metzke et al., 2007) (Brandt et al., 2003)
Frick, Schweiz/ Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)	Seit 2002	45 % Ton, 33 % Schluff, 22 % Sand Braunerde (Stagnic Eutric Cambisol)	Pflug (15 cm), in Kombination mit Rotortiller (5 cm) Grubber (15 cm), in Kombination mit Rotortiller (5 cm)	(Krauss et al., 2010) (Berner et al., 2008) (Berner et al., 2006) (Berner et al., 2005)
Thil, Rhône-Alpes, Kreguehennec, Bretagne Angers, Pays de Loire, Frankreich/ ISARA Lyon	Seit 2003	20 % Ton, 48 % Lehm 32 % Sand	Pflug (20 cm), Pflug (17 cm) Grubber(15 cm) Direktsaat oder sehr flache Bearbeitung (5-7 cm)	(Vian et al., 2009) (Peigné et al., 2008) (Peigné et al., 2007)

2.6.2 Ergebnisse

Je nach Zielsetzung wurden die entsprechenden Parameter untersucht und ausgewertet. Im Folgenden sind die veröffentlichten Ergebnisse unter den Gliederungspunkten Unkraut, bodenbiologische und bodenphysikalische Parameter und Nährstoffverfügbarkeit und Erträge zusammengefasst.

2.6.2.1 Unkraut

Erhebungen zum Unkrautbesatz sind nicht in allen Langzeitversuchen durchgeführt bzw. veröffentlicht. Oftmals werden die Aussagen zur Unkrautproblematik der verschiedenen Bearbeitungsvarianten in Relation zu den Ertragsentwicklungen gesetzt.

Im Bodenbearbeitungsversuch Scheyern wurde in den ersten Jahren eine stärkere Verunkrautung von *Galeopsis segetum* (Hohlzahn) und *Galium aparine* (Klettenlabkraut) in den Pflugparzellen beobachtet. Im weiteren Versuchsverlauf, ab 1996, vier Jahre nach Versuchsbeginn nahmen die Probleme mit *Cirsium arvense* (Ackerkratzdisteln) und Kulturgräsern in den pfluglosen Parzellen zu. Bei dem nicht wendenden Umbruch von Klee-gras trieben die Soden der Kulturgräser in der Folgefrucht teilweise wieder aus. Das verstärkte Vorkommen von Elymus-Arten (Quecken) wird auch auf die Versuchsanlage mit den kleineren Versuchspartellen zurückgeführt. Da die Quecken durch die Bearbeitungsgeräte von den Trennstreifen in die Parzellen hineingetragen werden (Kainz et al., 2003).

Im zehnjährigen „Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung PÖB“ auf den Eichenhof in Rheinhessen nimmt in allen Flächen die Artenvielfalt und Anzahl der Ackerunkräuter zu. Die unkrautunterdrückende Wirkung des Pfluges ist in den ersten Jahren noch deutlich an Hand des niedrigeren Unkrautbedeckungsgrades zu messen. Der Bedeckungsgrad steigt aber mit der Versuchsdauer kontinuierlich an. Zum Versuchsende ist kein signifikanter Unterschied mehr feststellbar (HAMPL et al., 2005).

Im Bodenbearbeitungsversuch Gladbacherhof konnten erst im dritten Versuchsjahr zwischen den Bearbeitungsvarianten Unterschiede im Unkrautbedeckungsgrad festgestellt werden. Ein signifikant höheres Wachstum von *Cirsium arvense* wurde im Vergleich zu den Pflugparzellen in der Versuchsvariante mit der Grundbodenbearbeitung Grubber und Zinkenrotor gemessen (Schmidt et al., 2006). Fünf Jahre nach Versuchsbeginn reichten mechanische Bekämpfung und die Bestandsdichte der Kulturpflanzen zur Unkrautregulierung aus (Schmidt et al., 2005).

Die bisher ausführlichsten Untersuchungen und Ergebnisse zur Unkrautentwicklung stammen aus dem Langzeitversuch an der Universität Hohenheim. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Stoppelbearbeitung (mit Stoppelhobel, 7 cm tief) ab 2005 als weitere Variante neben der Grundbodenbearbeitung in das Versuchsdesign eingeführt wurde. Seit 2004, fünf Jahre nach Versuchsstart wird die Anzahl der einjährigen Unkräuter in zwei Zählungen erfasst (außer 2006). Die Zählung erfolgt einmal im Frühjahr im Bestand und ein zweites Mal im August/September, kurz nach der Ernte. Seit Versuchsbeginn wird einmal im Jahr die Anzahl von *Cirsium arvense* nach der Ernte erfasst. 2002 nach der Ernte von Triticale wurden die meisten Disteltriebe/m² in der Grubbervariante gezählt. Nach zweijährigem Luzernegrass wurden im Winterweizen in allen Bearbeitungsvarianten weniger als fünf Disteltriebe/m² gezählt. Im darauffolgenden Jahr gab es in der flachen Pflugvariante und in

der Grubbervariante signifikant höhere Trockenmasseerträge der Disteltriebe/m². Dabei wurde beobachtet, dass in diesen Varianten der Durchwuchs des Luzernegrases den Aufwuchs der Kulturpflanze stark beeinträchtigte und die Distel sich dadurch ungestört ausbreiten konnte (Gruber et al., 2008). Im Frühling 2005 erfolgte eine Auswertung der Anzahl der Unkrautsamen im Boden. Mit etwa 37.000 Samen/m² zeigte die Grubbervariante die höchsten Zahlen und signifikante Unterschiede zu den anderen drei Bearbeitungsvarianten, bei denen die Anzahl im Bereich um die 20.000 Samen/m² lagen (Gruber et al., 2009). Bereits 2001 konnte diese deutliche Differenzierung im Bodensamenvorrat (0-30 cm Tiefe) zwischen der Grubbervariante und den übrigen Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt werden (Gruber et al., 2007). Die Anzahl der Distelsamen lag 2005 mit 5.500 Samen/m² in der Grubbervariante, mehr als zehn Mal so hoch wie in der Pflugvariante. Die Frühjahrsauszählung 2005 (Winterweizen) und 2007 (Erbsen) der Monokotylen und Dikotylen einjährigen Samenunkräuter ergaben in der Grubbervariante die höchsten Anzahlen mit signifikanten Unterschieden zu den anderen drei Bearbeitungsverfahren. Die Anzahl der Monokotylen Unkrautarten wurde 2005 in den Varianten mit Stoppelbearbeitung im Vergleich zu den Varianten ohne Stoppelbearbeitung um 80 – 100 % reduziert (Gruber et al., 2009).

Im ersten Jahr des Feldversuchs der Universität Kassel in Frankenhausen, wurde die Besatzdichte des prioritären Samenunkrauts *Chenopodium album* (weißer Gänsefuß) in den drei Bearbeitungsvarianten untersucht. In der Besatzdichte wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Bearbeitungsvarianten ermittelt (Brandt et al., 2003).

Im Versuch des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) in der Schweiz lag der Unkrautbedeckungsgrad im ersten Jahr (2003) bei Winterweizen in den pfluglosen Parzellen bei 13 % im Vergleich zu 9 %. Die Unkrautregulierung von *Cirsium arvense* und *Convolvulus arvensis* (Ackerwinde) erfolgte im Folgejahr in allen Versuchspartellen per Hand. Dies war in den pfluglosen Parzellen mit deutlich mehr Arbeitsstunden pro Hektar verbunden (Berner et al., 2005). Nach dem Anbau von zweijährigem Klee gras war 2008 in der Folgekultur Mais das Unkraut aufkommen in den Parzellen mit konservierender Bodenbearbeitung zwei bis fünf Mal so hoch wie in den Pflugparzellen. Hauptsächlich *Convolvulus* Arten und *Chenopodium polysperum* L. (vielsamiger Gänsefuß) bedeckten intensiv den Boden (54 % Bodendeckung bei der Ernte), hatten aber geringe Biomassen (Krauss et al., 2010).

In Frankreich ist in den ersten zwei Versuchsjahren ein signifikant höheres Unkraut aufkommen in den Direktsaatparzellen beim Anbau von Wintererbsen und Sojabohnen zu beobachten. Bislang ist eine mechanische Bekämpfung zur Unkrautregulierung ausreichend (Peigné et al., 2008).

2.6.2.2 Bodenbiologische und bodenphysikalische Parameter

Die Auswertung von bodenbiologischen Parametern ist je nach Fragestellung des Langzeitversuches in unterschiedlicher Intensität erfolgt. Die Regenwurmpopulation wurde in fast allen Versuchen untersucht, sowie die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse. Im Langzeitversuch der Schweiz wurden 2008 Untersuchungen zu arbuskulären Mykorrhiza eingeführt.

Bei konservierender Bodenbearbeitung werden höhere Mengen organischer Substanz, vor allem in den oberen Bodenschichten (0-10 cm) gemessen. Im Vergleich zu den Werten bei Versuchsbeginn konnten beim C_{org} (organischer Kohlenstoff) Steigerungen von 7-10 % gemessen werden (Hampl et al., 2005; Berner et al., 2008; Vian et al., 2009). Im Langzeitversuch Scheyern ergibt sich für den Gesamtgehalt an C_{org} im Boden kein Unterschied, da bei der konservierenden Variante die C_{org} Konzentration in der Unterkrume abnimmt (Kainz et al., 2005). Im Langzeitversuch in Frankreich zeigen sich keine signifikanten Unterschiede im C_{org} Gehalt zwischen den Bearbeitungsvarianten (Vian et al., 2009).

In drei von fünf Langzeitversuchen, die Untersuchungen zur Regenwurmpopulation durchgeführt haben, zeigt sich eine signifikant höhere Anzahl von Regenwürmern in den konservierenden Bearbeitungsvarianten. In zwei Versuchen war auch die Biomasse in g/m^2 erhöht (Emmerling, 2001; Kainz, et al., 2005). Im Versuch des Fibl in der Schweiz erhöhte sich ausschließlich die Anzahl der endogeic (horizontal bohrenden) Regenwurmartarten (Berner et al., 2008).

Im Langzeitversuch der Universität Kassel wurde 2005 die Regenwurmpopulation untersucht. Auf Grund des Versuchsdesigns fand die Untersuchung in drei verschiedenen Kulturen, Sommerweizen, Klee gras und Ackerbohnen statt. Auf der gesamten Versuchsfläche war die Regenwurmpopulation gering (zwischen 0 und 84 Regenwürmer/ m^2). Sechs verschiedene Regenwurmartarten wurden erfasst. Die signifikant niedrigste Regenwurmanzahl und -biomasse sind, im Vergleich zu Pflug und Schäl pflug, in der Häufelpflugvariante gemessen worden (Metzke et al., 2007).

In Frankreich konnten in den verschiedenen Standorten innerhalb von drei Jahren nur in der Bearbeitungsvariante Direktsaat, bzw. sehr flache Bearbeitung signifikante Unterschiede in der Anzahl und/oder Biomasse der Regenwürmer gemessen werden. Diese Unterschiede sind über den Untersuchungszeitraum nicht konstant (J. Peigné, 2009).

2008 ist im Langzeitversuch des Fibl in der Schweiz die Anzahl der mit arbuskulären Mykorrhiza (AM) besiedelten Maiswurzeln untersucht worden. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen und eigenen Erwartungen war der Anteil der Maiswurzeln mit arbuskulären Mykorrhiza in der Pflugvariante tendenziell höher. Für eine Aussage über die möglichen Langzeitwirkung der Bearbeitungsmethoden auf die arbuskuläre Mykorrhiza sind weitere Untersuchungen notwendig (Krauss et al., 2010).

2.6.2.3 Nährstoffverfügbarkeit und Erträge

Die Auswertungen zum Nährstoffmanagement in den Langzeitversuchen konzentrieren sich vor allem auf Ertragsmessungen und einzelne Bodenanalysen zu Stickstoff, Phosphat und Kalium.

Im Versuch Scheyern zeigt sich, dass die höheren Stickstoffvorräte im Boden bei reduzierter Bodenbearbeitung nicht zwangsläufig die N-Verfügbarkeit verbessern (Kainz et al., 2003). Dies wird durch die tendenziell niedrigeren Erträge über den Versuchszeitraum von zwölf Jahren deutlich. Der Ertragsrückgang in den pfluglosen Parzellen im Bodenbearbeitungsversuch Scheyern wird zudem auf den hohen Besatz von Quecke, Ackerdistel und Kulturgrasdurchwuchs zurückgeführt (Kainz et al., 2005). Zusätzlich wird bei pfluglosem Klee grasumbruch eine niedrigere N-Mineralisierung aufgrund der kompakten Böden am Standort Scheyern vermutet. Die Ertragsausfälle und hohen Kosten der mechanischen Unkrautregulierung führten dazu, dass die pfluglose Bodenbearbeitung unter diesen Umständen, als ökonomisch nicht nachhaltig beurteilt wurde (Kainz et al., 2005).

In dem Versuch auf dem Eichenhof (PÖB) war die Stickstoffaufnahme von Sommergerste bei intensiver Bodenbearbeitung mit Wendepflug am höchsten. In Sommer- und Winterroggen wurden keine Unterschiede gemessen. Die weniger mobilen Nährstoffe wie Phosphor und Kalium wurden bei Anwendung des Wendepflugs homogener verteilt und somit die Nährstoffaufnahme über die Wurzeln unterstützt (Vakali, 2004). Die Wurzelentwicklung, gemessen an der Wurzel-Längen-Dichte, war ebenfalls in der Sommergerste bei Einsatz des Wendepfluges am höchsten (Vakali, 2004). Im gesamten Versuchszeitraum von zehn Jahren lagen die Durchschnittserträge der einzelnen Bearbeitungsvarianten auf ähnlichem Niveau, mit der Tendenz zu etwas höheren Erträgen in den Pflugparzellen, vor allem bei Sommerkulturen. Die niedrigeren Erträge in den pfluglosen Parzellen, besonders in Sommerkultur werden auf den höheren Samenunkrautdruck zurückgeführt (Hampl et al., 2005).

Im Versuch Gladbacherhof wurden bis 2003 keine Unterschiede in den N_{\min} Gehalten festgestellt. Die Erträge waren bei Winterweizen und Roggen in den Pflugvarianten am höchsten. In 2004 (Hafer) und 2006 (Winterweizen) wurden signifikant niedrigere Erträge in der Grubbervariante gemessen (Schulz et al., 2009). Der Minderertrag wird bei beiden Kulturen eher auf eine geringere Nährstoffverfügbarkeit zurückgeführt, und nicht auf den in diesen Jahren gemessenen höheren Unkrautdruck (Schulz et al., 2009). In den Jahren 2007 und 2008 (Kartoffel und Winterweizen) ergaben sich keine signifikanten Ertragsunterschiede.

In den ersten drei Versuchsjahren des Langzeitversuches in Frick ergaben sich keine Ertragsdepressionen in den pfluglosen Parzellen (Berner et al., 2008). Die tendenziell niedrigeren Erträge in Winterweizen (2003) und Dinkel (2005) im Vergleich zum Pflug, werden auf den hohen Stickstoffbedarf von Getreide im Frühjahr zurückgeführt, der bei reduzierter Bodenbearbeitung durch langsamere Mineralisierung auf dem schweren Boden nicht gegeben ist. Sonnenblumen und Zwischenfruchterträge (2004), mit späterem Stickstoffbedarf erreichen im Versuch bei konservierender Bodenbearbeitung jeweils höhere Erträge (Berner et al., 2008). Die Klee graserträge 2006 und 2007 in der reduzierten Variante lagen im Mittel zwischen 20 bis 30 % höher als in der Pflugvariante. Die sehr trockenen Wetterverhältnisse nach der Klee grasaussaat im Herbst 2005 dezimierten den

Aufwuchs des Kleegrases besonders in den Parzellen, die mit dem Pflug bearbeitet wurden (Krauss et al., 2010). Der Ertrag der Maissilage lag im Mittel bei 14 t Trockenmasse/ha in den Parzellen mit konservierender Bodenbearbeitung und somit um 34 % höher als in den Pflugparzellen. Als Verfahrensbestandteil eines pfluglosen Kleegrasumbruchs wurde in den Parzellen mit reduzierter Bodenbearbeitung im Herbst - nach der Bearbeitung - Wintererbsen als Zwischenfrucht eingesät. Der Aufwuchs wurde gemulcht und auf den Parzellen belassen. Die Biomasse entsprach in etwa einer Nährstoffzufuhr von 61,5 kg N/ha. Die Pflugparzellen mit Klee gras wurden im Frühjahr vor der Maisaussaat umgebrochen (Krauss et al., 2010).

3 Feldversuch

Mulchsaatverfahren haben als wichtigster Teilbereich der konservierenden Bodenbearbeitung unter Umweltgesichtspunkten vielfältige und nachhaltige Vorteile gegenüber der nach wie vor vorherrschenden intensiven (konventionellen) Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Zu den wichtigsten Vorteilen im Rahmen des Bodenschutzes zählt der Erosionsschutz durch Mulchsaatverfahren. Dabei ist die schützende Wirkung des Mulchs auf den Boden umso größer, je mehr davon auf der Bodenoberfläche verbleibt. Ausschlaggebend für einen effektiven Erosionsschutz ist der Bodenbedeckungsgrad. Bereits bei 30 % Bodenbedeckung kann der Bodenabtrag im Vergleich zu unbedeckten Boden um 50 % verringert werden (Brunotte, 2003). Gleichzeitig ist für den Landwirt eine sehr gute Einmischung der Ernterückstände von großer Bedeutung, damit für die ausgesäte Folgefrucht ein guter Bodenschluss und hohe Auflaufraten erreicht werden können. Die Landtechnikindustrie hat entsprechend in den letzten Jahren die Geräte im Bezug auf Durchmischungsqualitäten optimiert.

Die Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung, die sich für konventionelle Landwirte als positiv erwiesen haben, sind auch für Ökolandwirte von großem Interesse. Auch der Erosionsschutz wird durch die Ausbreitung des Ökolandbaus in erosionsgefährdete Lagen immer wieder hervorgehoben (Kainz, 2010). Daher wurde ein eigener Feldversuch angelegt, der unter Praxisbedingungen des Ökologischen Landbaus die Auswirkung von Bearbeitungstiefe und Bodenbedeckungsgrad auf das Auflaufverhalten von Zwischenfrüchten nach Getreide untersucht.

3.1 Material und Methode

3.1.1 Standortbeschreibung

Die Feldversuche wurden von 2007 bis 2009 auf Flächen der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, dem Versuchsbetrieb der Universität Kassel-Witzenhausen angelegt (Abb. 3). Der Versuchsbetrieb wird seit 1998 nach Richtlinien der Ökologischen Landwirtschaft bewirtschaftet und ist Mitglied der Anbauverbände Bioland und Naturland. Der Betrieb liegt ca. 10 km nördlich von Kassel in der Gemeinde Grebenstein in der Hofgeismarer Rötzenke. Die Betriebsfläche beträgt insgesamt 321 ha, davon werden 268 ha als Ackerland und 43 ha als Grünland genutzt. Der Feldversuch war in die normale Fruchtfolge des Wirtschaftsbetriebs integriert. Der Betrieb liegt auf 210-260 Höhenmeter, mit einer mittleren Jahrestemperatur von 8,5 °C und einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 650 mm.

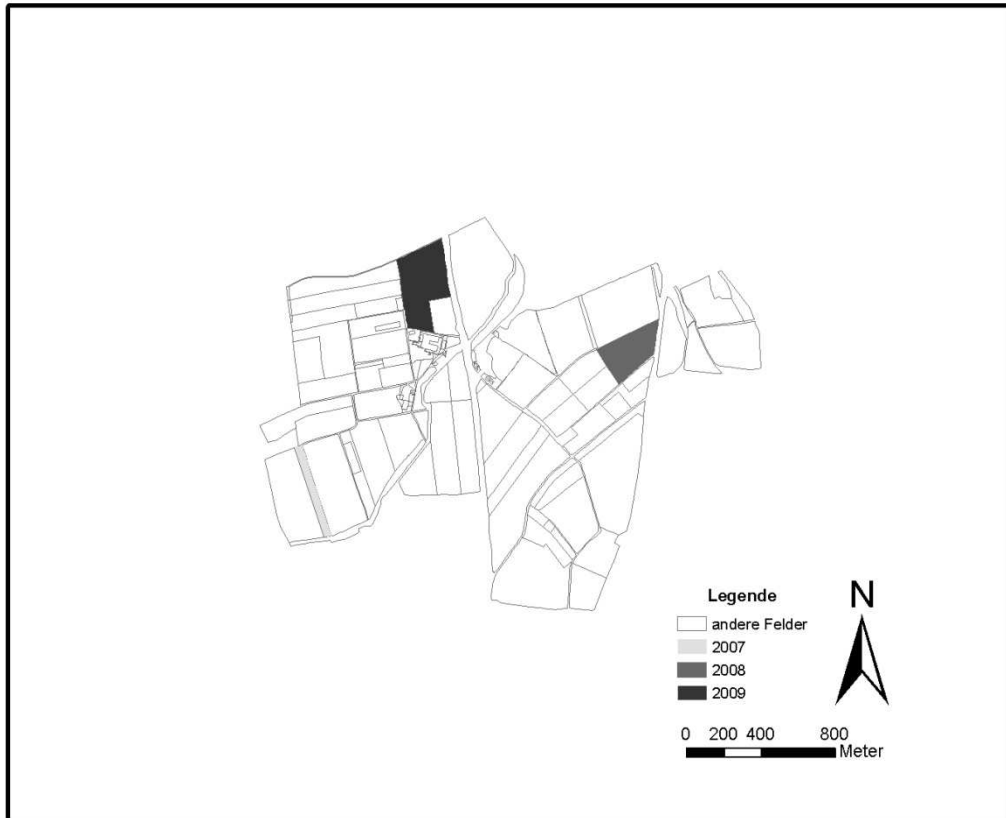


Abb. 3: Schlagplan Franckenhausen mit Flächen des Feldversuchs 2007 - 2009

Die Versuche wurden in einer randomisierten Spaltanlage mit einer Parzellengröße von 12 m x 30 m in vier Wiederholungen (2007: drei Wiederholungen) angelegt. Die Bodenarten der drei unterschiedlichen Versuchsflächen und Informationen zu den Vorfrüchten sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Alle drei Versuchsflächen liegen auf leicht hängigen Lössflächen der Domäne Franckenhausen. Bodentyp und Bodenart sind für alle Flächen in einem flächendeckenden Bodenmonitoring 2001 erfasst worden (Brandt et al., 2001).

Tab. 2: Informationen zu den Feldversuchsflächen

Jahr	2007	2008	2009
Schlagbezeichnung	Holzbeck 3	Kiebitzbreite	Am Hasenloch
Bodentyp	Parabraunerde	Kolluvisol	Parabraunerde
Bodenart	Mittel toniger Schluff (Ut3)	Stark bis mittel toniger Schluff (Ut4 – Ut3)	Stark toniger Schluff (Ut4)
Fruchtfolge	Kleegras, Kleegras, Kartoffeln, Winterweizen	Luzerne, Luzerne, Triticale	Karotten, Wintererbse/ Triticalegemenge, Triticale
Vorfruchtertrag	Winterweizen: 51 dt/ha	Triticale: 81 dt/ha	Triticale: 53 dt/ha

Bei der Auswahl der Versuchsflächen wurde darauf geachtet, dass innerhalb der Flächen eine Homogenität der Bodenart besteht. Um diese Homogenität auch in den einzel-

nen Versuchspartellen zu gewährleisten wurden die Flächen anhand einer Bodenleitfähigkeitsmessung mit einem EM 38 durch die Universität Kiel überprüft. Die Ergebnisse wurden bei der Flächenbelegung der einzelnen Wiederholungen der Feldversuche in 2008 und 2009 berücksichtigt, indem in den Randbereichen, in denen eine Bodenleitfähigkeit mit mehr als 30 mS/m gemessen wurde, keine Versuchspartellen angelegt wurden.

Im Rahmen des flächendeckenden Bodenmonitorings wurde für die Flächen des Betriebs eine Gefahrenstufenkarte zur Bodenerosion erstellt (Brandt et al., 2003). Laut dieser Karte wird die Versuchsfläche 2007 überwiegend mit der Gefahrenstufe „gering“ bis „mittel“ eingestuft. An beiden Feldenden ist die Gefährdung auf Grund einer leichten Hangneigung mittel bis stark. Die Flächen 2008 und 2009 werden mit der Gefahrenstufe „stark“ eingestuft. In beiden Flächen liegt in der Feldmitte ein Teilbereich mit der Gefahrenstufe „mittel“.

Als Zwischenfrucht wurde Ölrettich ausgewählt, da er im Keimblattstadium gut zu erkennen ist und sich auch noch für eine späte Aussaat bis Ende August eignet. Der Versuchszeitraum liegt zwischen der Getreideernte (Ende Juli) und den ersten Bodenfrösten (Anfang November). In 2007 fielen 931 mm Gesamtniederschlag. Wie die Grafik (Bild 4) zeigt, verteilten sich die Niederschläge nach einem sehr trockenen April, auch in die Versuchsphase (Juli, August, September, Oktober). In diesen vier Monaten fielen insgesamt 307 mm Niederschlag.

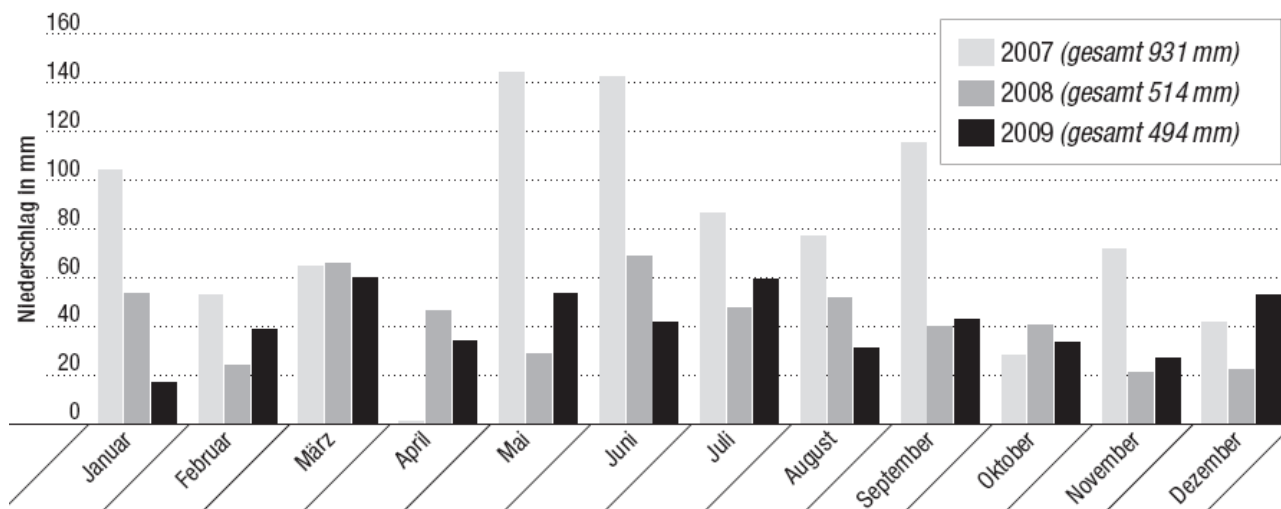


Abb. 4: Monatliche Niederschlagsmengen in mm von 2007 – 2009, Wetterstation Frankenhausen

Insbesondere bei der Versuchsanlage musste die Fläche zum Teil bei zu feuchten Bodenbedingungen befahren werden. Das Jahr 2008 liegt mit 514 mm Gesamtniederschlag etwas unter dem langjährigen Mittel von 650 mm Niederschlag. Im Versuchszeitraum (Juli bis Oktober) waren die Niederschläge gut verteilt (total: 180 mm). Die Ernte und die Bodenbearbeitung konnte unter trockenen Bodenbedingungen durchgeführt werden. Zur Aussaat der Zwischenfrucht gab es eine kurze Trockenperiode, der ausreichender Niederschlag Ende August folgte. Die Niederschlagsmengen im Versuchsjahr 2009 sind vergleichbar mit den Bedingungen in 2008. Die Bodenbearbeitung konnte bei trockenen Bodenverhältnissen durchgeführt werden, somit erfolgte die Aussaat des Ölrettichs ohne wetterbedingte Verzögerungen.

3.1.2 Versuchsaufbau

In dem zweifaktoriellen Feldversuch werden drei Bearbeitungsvarianten und vier Strohvarianten miteinander kombiniert und untersucht. Die Bodenbearbeitung ist mit betriebsüblichem Pflugeinsatz (1), flach Grubbern (2) und tief Grubbern (3) definiert (Tabelle 3). Die Strohmenngen sind 0 dt/ha (= nur Stoppel), 40 dt/ha, 60 dt/ha und 80 dt/ha.

Tab. 3: Bodenbearbeitungsvarianten im Feldversuch 2007-2009

Bearbeitungsvarianten	(1)	(2)	(3)
Stoppelbearbeitung	Flache Bearbeitung auf der gesamten Versuchsfläche bei 6 cm		
Grundbodenbearbeitung	Pflug: 26 cm	Grubber: 7 cm	Grubber: 15 cm

Nach der Ernte, die im Lohn organisiert wird, wird das Stroh bei einem TS-Gehalt von 15 % mit betriebseigener Technik vom Feld gefahren. Das Stroh wird mit einer Rundballen-Presse Vicon Greenland RV 1901 mit variabler Presskammer in Ballen gepresst. Durch die variable Presskammer lässt sich die Ballengröße an die gewünschten Strohmenngen/Parzelle anpassen. Im Versuch ergab dies einen Ballenradius von 1,05 m. Die Ballen werden einzeln gewogen und entsprechend ihres Gewichts auf die Parzellen rückverteilt. Die ggf. benötigten Reststrohmengen werden entsprechend ausgewogen und ebenso verteilt. Das Einmessen der Versuchspartellen sowie der Messpunkte erfolgt mit einem GPS-Gerät „Leica GPS-System 500“ (Leica Geosystems AG, 1999). So können die sechs Messpunkte je Parzelle mit einer Genauigkeit von bis zu fünf Zentimetern nach jedem Bearbeitungsvorgang wieder gefunden werden.

Die Strohverteilung sollte möglichst praxisingerecht sein und eine genaue Verteilung der definierten Strohmenngen innerhalb der Versuchspartellen ermöglichen. Oftmals wird vorgeschlagen die definierten Strohmenngen mit einem Maishäcksler zu zerkleinern und dann mit Hilfe eines Miststreuers oder einer ähnlichen Vorrichtung auf die Parzellen zu verteilen, oder aber Grünlandtechnik einzusetzen. Diese Verfahren können jedoch die Bedingungen des Mähdeschers nur unzureichend nachstellen. Folgendes Verteilsystem mit Hilfe eines Mähdeschers wurde daher speziell für diese Feldversuche entwickelt: Die gewogenen Strohmenngen/Parzelle werden in zwei gleichmäßige Schwaden auf die Parzellen verteilt. Die Mähdescherbreite gibt die Lage der Schwaden innerhalb der Parzellen vor, um Überlappung in der Parzelle auszuschließen. Die Schwaden werden vom Mähdescher aufgenommen, das Stroh wird gehäckselt und auf der Parzellenfläche praxisähnlich verteilt. Der Mähdeschereinsatz zur Strohverteilung erfolgt über Lohnunternehmer. Im ersten Jahr wurde ein John Deere Mähdescher (1188 SII, Hydro 4) eingesetzt. 2008 und 2009 wurde das Stroh mit einem Massey Ferguson (7278 Cerea) gehäckselt und in den Parzellen verteilt.

Im Feldversuch werden zwei Bodenbearbeitungsgeräte eingesetzt, der Pflug und der Grubber. Der betriebseigene Pflug ist ein Vier-Schar-Volldrehpflug „Vario“ von Kverneland und wird wie in der betrieblichen Praxis in einer Arbeitstiefe von 25 cm eingesetzt. Der Kombinationsgrubber „Centaur 3002“ ist ein Leihgerät, dass von der Firma Amazonen-Werke zur Verfügung gestellt wird und während des Versuchszeitraums gemeinsam mit der Universität Kiel genutzt wird (Abb. 5).



Abb. 5: Kombinationsgrubber Centaur 3002 mit Wendelscharen

Für die Stoppelbearbeitung werden herzförmige Scharkörper eingesetzt, die in der zweiten Bodenbearbeitung durch Wendelscharen ersetzt werden. Im Versuchsjahr 2009 standen keine herzförmigen Schare zur Stoppelbearbeitung zur Verfügung. Der Grubber hat ein höhenverstellbares vierbalkiges Scharfeld, die Arbeitstiefe lässt sich durch einen von der Universität Kiel eingebauten Winkelsensor mit einer elektronischen Steuereinheit auf 7 cm bzw. auf 15 cm einstellen (Drücker et al., 2008). Der Pflug und der Grubber werden von einem betriebseigenen Schlepper John Deere 6920S mit 160 PS gezogen. Die Stoppelbearbeitung erfolgte in 2007 und 2009 auf der gesamten Versuchsfläche einheitlich bei einer Arbeitstiefe von fünf bis sieben Zentimetern, mit dem Kombinationsgerät "Centaur". Um den Versuchsablauf nicht zu unterbrechen und auf Grund der zeitgleichen Nutzung des „Centaur“ im Feldversuch der Universität Kiel, musste im Jahr 2008 die Stoppelbearbeitung auf ca. zehn Zentimetern Tiefe mit dem betriebseigenen zweibalkigen Flügelschargrubber der Firma Lemken durchgeführt werden. Dies entspricht der betrieblichen Praxis der Staatsdomäne Frankenhausen.

Nach etwa zehn Tagen erfolgte die 2. Bodenbearbeitung mit den in Tabelle 3 genannten Arbeitstiefen. Die Aussaat der Zwischenfrucht wurde im ersten Versuchsjahr mit dem betriebseigenen Mulchsaatgerät mit Scheibenscharen, Pneumatic KLX Accord von Kverneland durchgeführt. Im Frontanbau lief eine Sternwalze. 2008 und 2009 erfolgte die Aussaat im Lohn, mit einer Säkombination Solitair 9 mit Kreiselegge und Scheibensechscharen der Firma Lemke. Die Sätechnik wurde innerhalb der drei Bearbeitungsvarianten nicht verändert. Im Folgenden ist der Versuchsverlauf der drei Versuchsjahre grafisch dargestellt (Abb. 6).

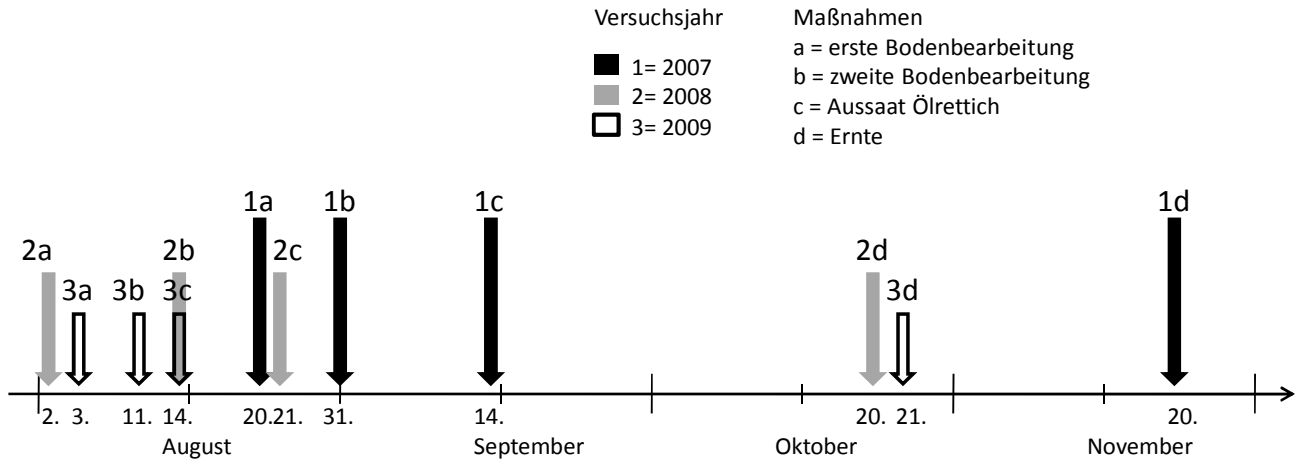


Abb. 6: Versuchsverlauf 2007, 2008 und 2009

Der Vergleich der Zeitabläufe der drei Feldversuche von der ersten Bearbeitung bis zur Ernte des Ölrettichs zeigen im Versuchsjahr 2007 eine deutlich spätere erste Bodenbearbeitung und dadurch bedingt auch eine späte Aussaat der Zwischenfrucht am 14. September 2007. Die Ernte war im Jahr 2007 Ende November möglich, da es bis zu diesem Zeitpunkt noch keinen Nachtfrost auf dem Versuchsfeld gegeben hatte. Im Winter 2007/2008 kam es nicht zum Abfrieren des Ölrettichs. Im Gegensatz dazu sanken die Temperaturen im Winter 2008/2009 ohne schützende Schneedecke auf bis zu -20 °C . Dies führte 2008 zu einem völligen Abfrieren des Ölrettichs. Im Vergleich zu den Versuchsjahren 2007 und 2008 erfolgte 2009, am 14. August die früheste Aussaat des Ölrettichs.

3.1.3 Datenerhebung

3.1.3.1 Bodenbedeckungsgrad Stroh

Für die Bestimmung des Bedeckungsgrads gibt es zwei Methoden: Bei der Standardmethode mit dem Gitternetz wird über den Messpunkt ein Gitter gelegt und anhand einer definierten Anzahl von Kreuzungspunkten (hier: 64) die Anzahl der Strohhalme gezählt, die sich direkt unter einem Kreuzungspunkt befinden. Das Verhältnis der Punkte mit Stroh zu der Gesamtzahl der Kreuzungspunkte ist der Bedeckungsgrad. Diese Methode weist jedoch subjektive Fehler und hohe Abweichungen bei geringer Stichprobenzahl auf, daher wurde eine neue Methode entwickelt (Pforte et al., 2008). Hierbei wird der Bedeckungsgrad mit einem Kamerasensor bestimmt. Mit der Bildverarbeitungssoftware optimas und den dafür entwickelten Algorithmen werden anhand der aufgenommenen Photos an den Messpunkten der Bedeckungsgrad errechnet (Pforte et al., 2008). Die dargestellten Ergebnisse sind mit dem Kamerasensor ermittelt worden.



Abb. 7: Einsatz des Kamerasensors im Feldversuch

3.1.3.2 Feldaufgang Ölrettich

Der Feldaufgang wird an den gleichen Messpunkten ermittelt, an denen der Bedeckungsgrad bestimmt wird. Es werden die aufgegangenen Ölrettichpflanzen in je vier Reihen auf einer Länge von 0,50 m von mindestens zwei Personen ausgezählt. Im Versuchsjahr 2007 konnte am 24.9.2007, zehn Tage nach der Aussaat zum ersten Mal der Auflauf gezählt werden. Im 2. und 3. Jahr wurde sieben Tage nach der Aussaat ausgezählt. Die Keimfähigkeit der Sorte Apoll wurde 2007 im Landesbetrieb Hessisches Landeslabor nach ISTA Vorschriften ermittelt. Im Jahr 2008 und 2009 wurden eigene Tests zur Keimfähigkeit im Gewächshaus angelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Keimfähigkeit und Anzahl ausgesäter Pflanzen/m² Ölrettich, 2007-2009

Jahr	2007	2008	2009
Sorte	Apoll	Apoll	Rufus
Keimfähigkeit	84 %	93 %	92 %
Pflanzen/m ²	193	193	178

3.1.3.3 Trockenmasse Ölrettich

Für die Bestimmung des Trockenmasseertrages werden alle oberirdischen Teile der Ölrettichpflanzen auf einer Fläche von 0,25 m² an den Messpunkten abgeerntet und mindestens vier Tage in einem Trockenschrank bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

3.1.3.4 Begleitende Bodenuntersuchungen

2008 und 2009 sind während des Versuchsverlaufs an drei Terminen Bodenproben zur N_{\min} Untersuchung gezogen worden. Die Bodenprobeentnahme erfolgte in zwei Tiefen, 0-15 cm und 15-30 cm. Die erste Probenentnahme erfolgte vor der ersten Bodenbearbeitung als Mischprobe in den Wiederholungen zur Erfassung der Situation vor Versuchsbeginn. Der 2. Termin fand nach der 2. Bodenbearbeitung statt (2008: vier Tage danach, 2009: 14 Tage). Die letzten Bodenproben wurden jeweils zur Ernte des Ölrettichs gezogen. In allen drei Bearbeitungsvarianten wurden die Parzellen mit 0 dt Stroh/ha und 80 dt Stroh/ha beprobt. Im Versuchsjahr 2009 sind bereits nach der zweiten Bearbeitung die Bodenproben in den einzelnen Versuchspartellen gezogen worden, um einen möglichen Unterschied der N-Mineralisierung in Abhängigkeit der Strohmenge/ha festzustellen. Die Probenentnahme erfolgte jeweils an den Messpunkten der Parzellen in der Tiefe 0-15 cm und 15-30 cm mit einem Pürckhauer Bohrstock. Die Analyse der Bodenproben auf N_{\min} wurde im Landesbetrieb Hessisches Landeslabor nach dem Prüfverfahren DIN ISO 14255 durchgeführt und in $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte in kg N/ha je Bodenschicht umgerechnet.

3.1.3.5 Spatendiagnose

Die Bodenstruktur nach dem Feldversuch ist mit einer einfachen Spatendiagnose (Beste et al., 2001) in den verschiedenen Bearbeitungsvarianten bei einer Strohmenge von 80 dt/ha erfasst worden, 2007 zusätzlich auch in der Variante mit 0 dt Stroh/ha. Für jede Spatenprobe ist ein Protokoll angefertigt worden und das Ergebnis ist fotografisch dokumentiert. Die Spatendiagnose erfolgte 2008 und 2009 kurz nach der Ernte der Ölrettichpflanzen, etwa zehn Wochen nach der letzten Bodenbearbeitung. Auf der Versuchsfläche von 2008 konnte im Frühjahr 2009 eine weitere Spatendiagnose durchgeführt werden, da die Fläche bis März vom Betrieb noch nicht wieder genutzt wurde.

3.1.3.6 Statistik

Die Daten wurden mit dem Datenverarbeitungsprogramm SPSS Version 17.0 von Windows bearbeitet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Boxplot-Diagrammen. Anhand dieser Graphiken können Lage- und Streuungsmaße mehrerer Verteilungen auf einen Blick miteinander verglichen werden (Köhler et al., 2002). Im Boxplot-Diagramm werden die Stichproben anhand von Rechtecken (Box) und Whisker dargestellt. Der untere und obere Rand der Box entsprechen dem unteren bzw. oberen Quartil. Die Ränder der Box begrenzen somit die zentralen 50 % der Stichprobenwerte (= Interquartilabstand). Die Whisker enden am kleinsten bzw. größten Wert der Stichprobe. Ausreißer oder Extremwerte werden in der Graphik mit einem Sternchen oder Kreis dargestellt. Ein Wert wird als Ausreißer gekennzeichnet, wenn er mehr als das 1,5-fache der Boxlänge vom oberen bzw. unteren Quartil entfernt liegt (Cleff, 2009). In diesem Fall kennzeichnen die Enden der Whisker nicht den Minimumwert, bzw. Maximalwert. Die Länge der Box mit Whisker stellt die Variationsbreite der Stichprobenwerte da. Die Querlinie in der Mitte der Box gibt den Median an. Anhand der Lage des Median in der Box wird die Verteilung der Werte deutlich.

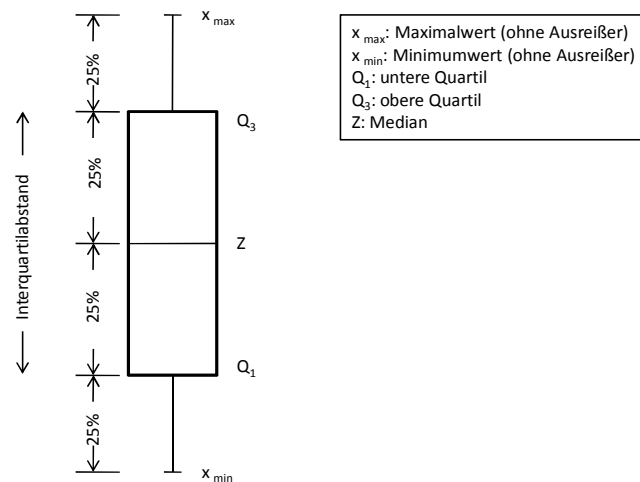


Abb. 8: Schematische Darstellung eines Boxplot nach Köhler (2002)

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Bodenbedeckungsgrad Stroh

Die Bodenbedeckungsgrade nach der ersten Bodenbearbeitung unterscheiden sich in den Versuchsjahren 2007 und 2008 kaum.

Tab. 5: Mittelwerte des Bodenbedeckungsgrades nach 1. Bearbeitung

	0 dt Stroh/ha	40 dt Stroh/ha	60 dt Stroh/ha	80 dt Stroh/ha
2007	21 %	32 %	35 %	41 %
2008	23 %	31 %	38 %	39 %
2009	31 %	58 %	66 %	69 %

Bei einer Bearbeitungstiefe von 5-7 cm liegen 2007 die mittleren Bodenbedeckungsgrade in den Strohvarianten 60 dt Stroh/ha und 80 dt Stroh/ha bei 35 % und 41 %. Bei der Strohvariante von 40 dt Stroh/ha werden im Durchschnitt 32 % Bodenbedeckung gemessen. Die mittleren Werte der Bedeckung nach der 1. Bearbeitung unterscheiden sich 2008 kaum. In beiden Jahren werden in den Varianten mit 0 dt/ha etwas mehr als 20 % Bodenbedeckung erreicht. Die Werte im Jahr 2009 unterscheiden sich deutlich von den beiden Vorjahren. Bereits in der Variante mit 0 dt Stroh/ha werden im Mittel über 30 % Bodenbedeckung erreicht. In den Strohvarianten 40-80 dt Stroh/ha werden Mittelwerte in den Bedeckungsgraden erreicht, die in den Vorjahren selbst bei der höchsten Strohmenge/ha nicht gemessen wurden (Tab. 5). In allen Ergebnissen ist zu erkennen, dass bei steigender Strohmenge wie erwartet die Bedeckungsgrade ansteigen. Dieser Trend setzt sich auch nach der zweiten differenzierten Bearbeitung fort, ist jedoch je nach Bearbeitungstiefen unterschiedlich stark ausgeprägt.

Nach der zweiten Bodenbearbeitung mit unterschiedlichen Arbeitstiefen ist im Versuchsjahr 2007 in der flachen Grubbervariante der Unterschied der Bedeckungsgrade

zwischen den Strohvarianten 40 dt/ha und 60 dt/ha höher als zwischen 60 dt/ha und 80 dt/ha (Abb. 9).

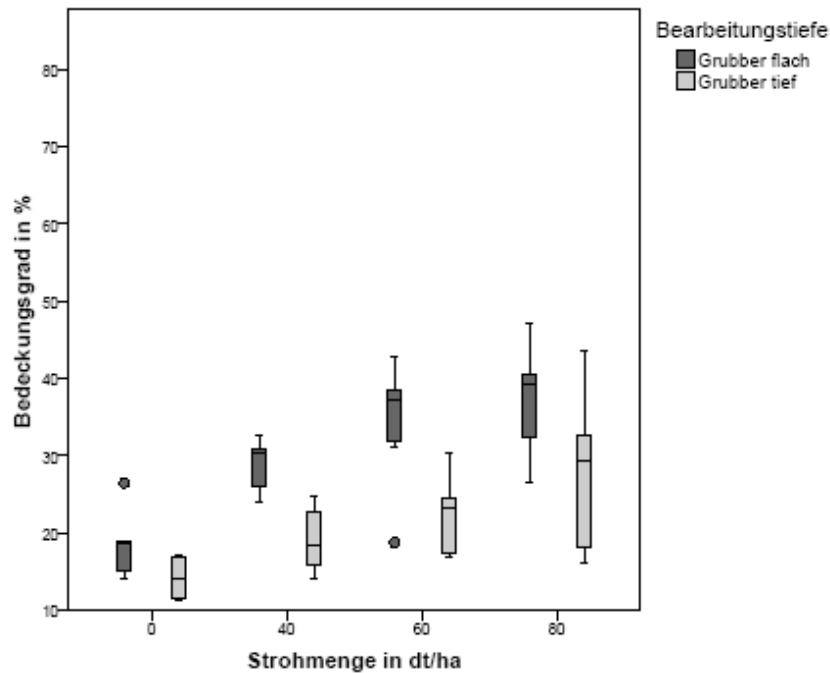


Abb. 9: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2007

Auch bei der tiefen Grubbervariante sind zwischen den einzelnen Strohvarianten Unterschiede erkennbar. Bei tiefer Bodenbearbeitung werden in 91 % der Messparzellen Bedeckungsgrade von weniger als 30 % gemessen. Bei flacher Bodenbearbeitung bleiben 33 % der Messparzellen unter einem Bodenbedeckungsgrad von 30 %. Im Feldversuch 2008 gibt es eine größere Schwankungsbreite der Bedeckungsgrade innerhalb der verschiedenen Strohmenngen (Abb. 10).

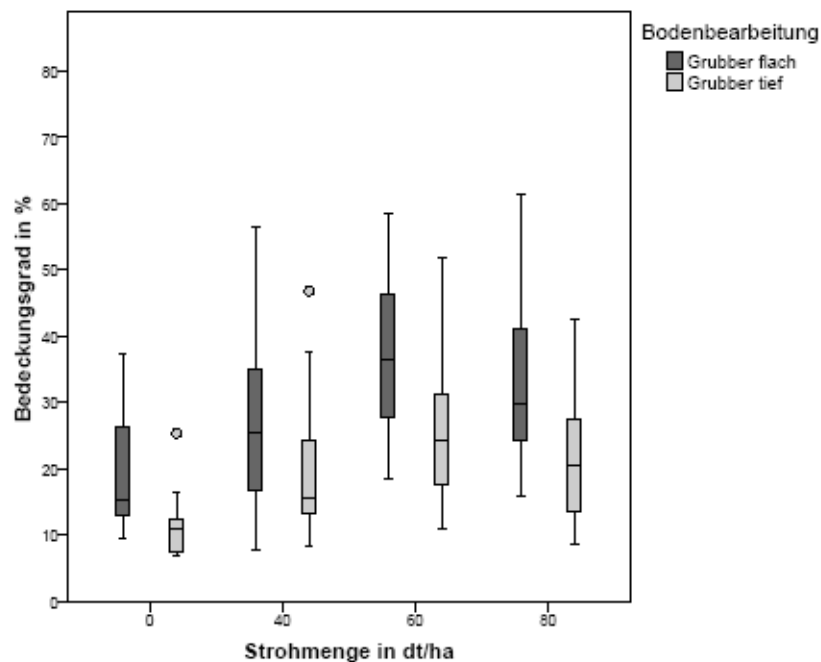


Abb. 10: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2008

Zwischen den Strohmenngen 40 dt/ha, 60 dt/ha und 80 dt/ha sind in der tiefen Grubbervariante kaum Unterschiede erkennbar, auch wird der Wert von 30 % Bodenbedeckung für einen minimalen Erosionsschutz nicht erreicht.

Die Bedeckungsgrade nach der zweiten Bodenbearbeitung im Jahr 2009 zeigen in den flachen Grubbervarianten größere Schwankungsbreiten als in der tiefen Grubbervariante (Abb. 11).

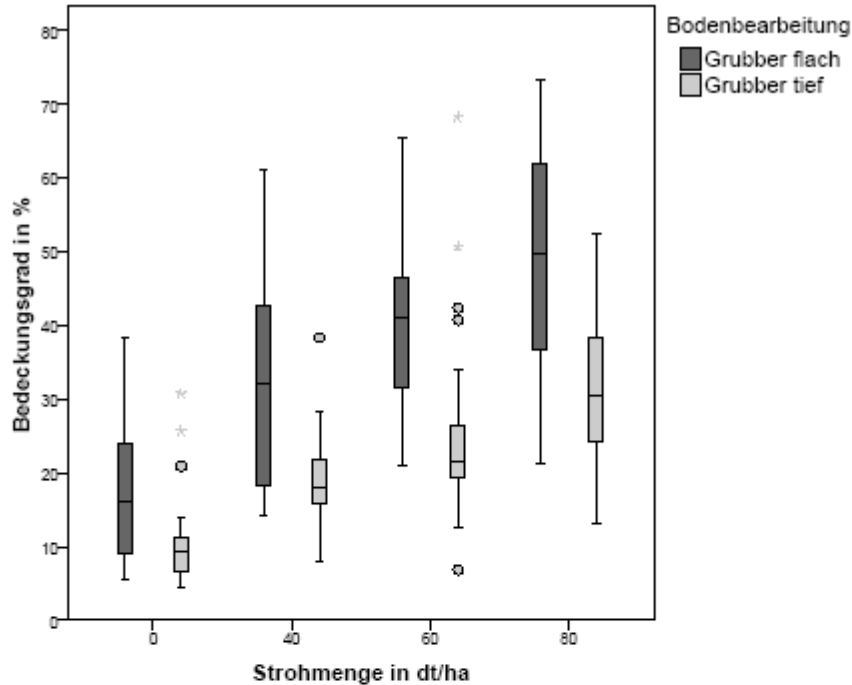


Abb. 11: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2009

Bei flachem Grubbern wird ab einer Strohmenge von 40 dt Stroh/ha im Mittel der Bedeckungsgrad von 30 % erreicht. In der tiefen Grubbervariante gibt es bei den Strohmenngen 0-60 dt Stroh/ha extreme Ausreißer, das heißt Messpunkte mit sehr hohen Bedeckungsgraden. Die Bedeckungsgrade bei tiefem Grubbern liegen deutlich unter der Bodenbedeckung der flachen Variante. Bei einer Strohmenge von 80 dt Stroh/ha wird, bei einer Bearbeitungstiefe von 13-15 cm, im Mittel ein Bedeckungsgrad von 30 % erreicht.

Da die Messpunkte mit Hilfe des GPS Geräts eingemessen wurden, kann die Veränderung des Bedeckungsgrades an den einzelnen Messpunkten nach der 1. und 2. Bearbeitung beobachtet werden (Abb. 12). Nach der 1. Bearbeitung, die in allen Parzellen auf gleicher Tiefe stattfindet, ist der Bedeckungsgrad in den jeweiligen Bearbeitungsvarianten auf einem ähnlichen Niveau (Punkte).

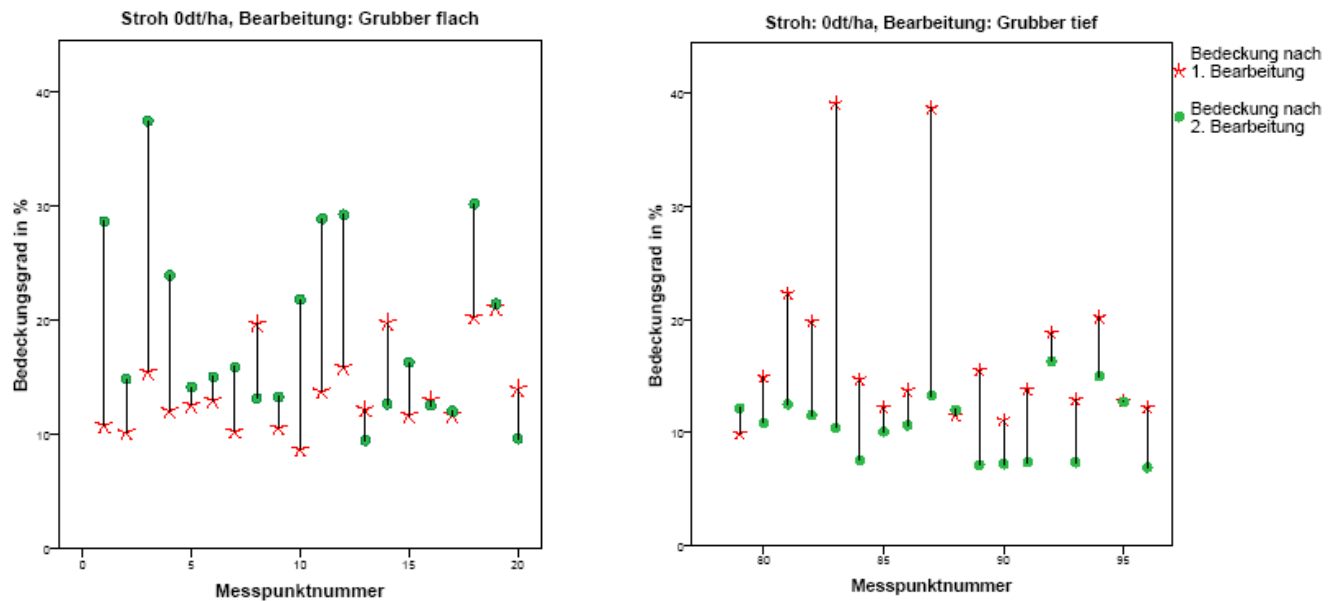


Abb. 12: Veränderung des Bedeckungsgrad nach der 2. Bodenbearbeitung bei 0 dt Stroh/ha

Nach der zweiten, differenzierten Bearbeitung unterscheiden sich die Bedeckungsgrade in der Strohvariante 0 dt Stroh/ha (= nur Stoppel) in den beiden Grubbervarianten (rote Sternchen). Nach einer zweiten flachen Bearbeitung steigt der Bedeckungsgrad an den einzelnen Messpunkten. Bei einer zweiten tiefen Bearbeitung sinkt der Bedeckungsgrad, bei gleicher Strohmenge.

3.2.2 Feldaufgang Ölrettich

Im Feldversuch 2007 sind die meisten Ölrettichpflanzen in den Pflugparzellen aufgelaufen. Im Feldversuch 2008 ist die Anzahl der Ölrettichpflanzen in allen Parzellen gleich (Abb. 13).

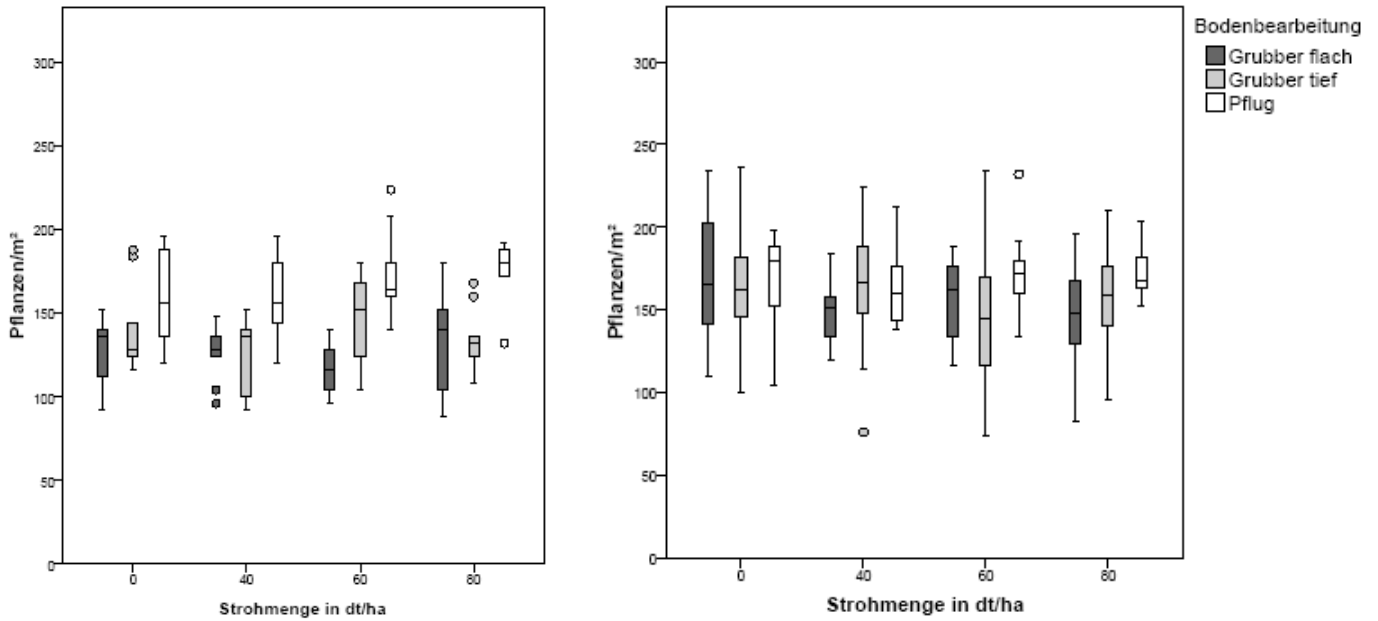


Abb. 13: links: Feldaufgang 2007 (Ölrettich Apoll) rechts: Feldaufgang 2008 (Ölrettich Apoll)

In beiden Versuchsjahren ist kein deutlicher Unterschied in der Auflafrate zwischen den unterschiedlichen Bearbeitungstiefen zu erkennen. Auch die unterschiedlichen Stroh-mengen zeigen in den beiden Versuchsjahren keinen Einfluss auf die Auflafrate der Öl-rettichpflanzen. Im Versuchsjahr 2007 werden die niedrigsten Auflafraten erreicht. Im Mit-tel liegen die Auflafraten in der flachen Grubbervariante zwischen 44 % und 55 %, in der tiefen Grubbervariante zwischen 57 % und 64 % und beim Pflug zwischen 72 % und 82 %. Im Versuchsjahr 2008 sind im gesamten Versuch deutlich mehr Ölrettichpflanzen aufge-laufen. In den Grubbervarianten werden Auflafraten von mehr als 80% erreicht.

Im Versuchsjahr 2009 sind in den Pflugparzellen die meisten Ölrettichpflanzen aufge-laufen (Abb. 14).

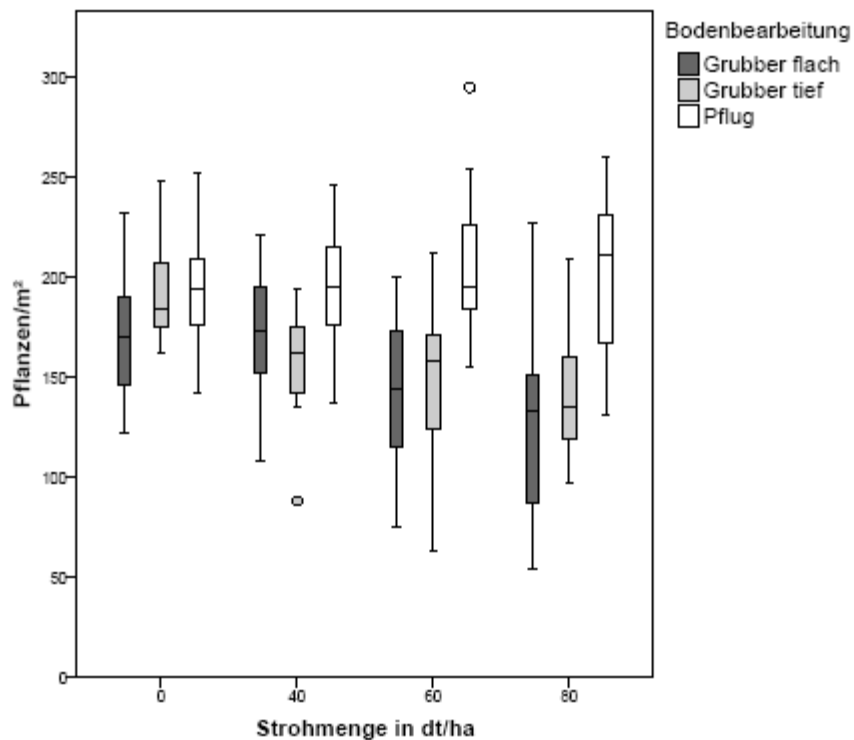


Abb. 14: Felddaugang 2009, Ölrettich Sorte Rufus

Der Unterschied im Felddaugang zwischen den Grubbervarianten und der Pflugvariante ist deutlich. Zwischen den flachen und tiefen Grubbervarianten sind - wie in den Vorjahren - keine Unterschiede im Felddaugang messbar. Die Streuung der Daten zum Felddaugang nimmt besonders in den Grubbervarianten mit zunehmender Strohmenge/ha zu. Im Mittel liegt die Auflauftrate in der flachen Grubbervariante zwischen 62 % und 86 %. Die Auflauftrate beim Pflug schwankt zwischen 97 % und 100 %. In den Grubbervarianten ist anhand der Grafik ein tendenziell etwas niedriger Felddaugang zu erkennen. Dieser Einfluss der Strohmenge auf den Felddaugang ist rechnerisch nicht belegbar.

3.2.3 Trockenmasse Ölrettich

In allen Versuchsjahren sind die höchsten Trockenmasseerträge in den Pflugvarianten ermittelt worden. Dieser Unterschied ist in allen drei Versuchsjahren anhand der Grafiken deutlich sichtbar.

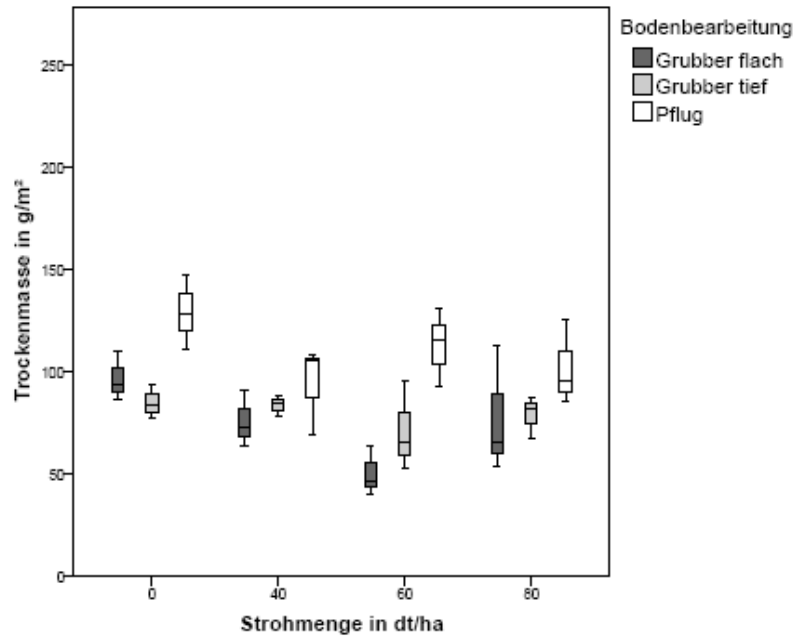


Abb. 15: Trockenmasse Ölrettich in g/m (2007)

2007 werden die höchsten Trockenmasseerträge innerhalb der Grubbervarianten in der flachen Variante bei 0 dt Stroh/ha gemessen und die niedrigsten Erträge in der flachen Variante bei 60 dt Stroh/ha.

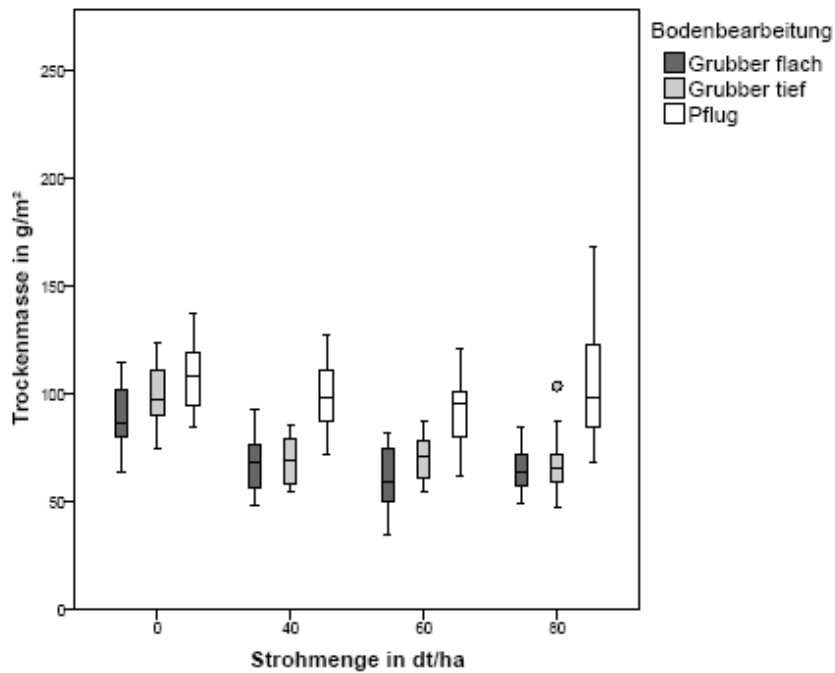


Abb. 16: Trockenmasse Ölrettich in g/m² (2008)

Im Feldversuch 2008 werden zwischen den beiden Grubbervarianten (flach und tief) auch bei sehr viel Stroh keine Unterschiede im Trockenmasseertrag gemessen. Bei 0 dt

Stroh/ha ergeben sich keine Ertragsunterschiede zwischen der Bearbeitung mit dem Grubber und dem Pflug. Ab einer Strohmenge von 40 dt/ha ist in keiner Bearbeitungskategorie ein Einfluss der Strohmenge auf den Trockenmasseertrag des Ölrettichs aufgetreten.

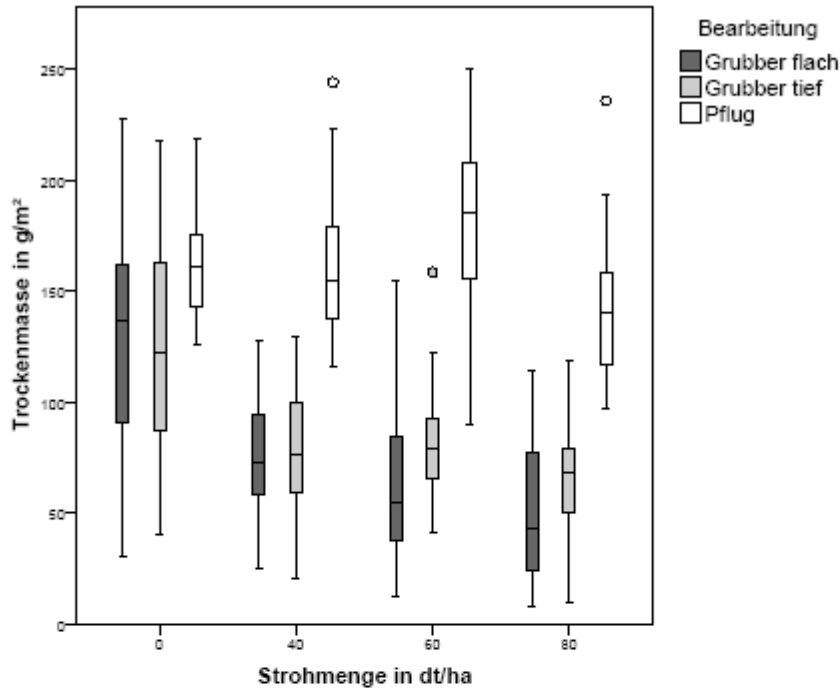


Abb. 17: Trockenmasse Ölrettich in g/m² (2009)

Die Ergebnisse der Trockenmassebestimmung in 2009 zeigen in allen Varianten eine große Streuung. Im Vergleich zu den Erträgen der Pflugvariante in den beiden Vorjahren sind die Trockenmassegehalte in der Pflugvariante 2009 deutlich höher. In den Grubbervarianten ist ein Abfall des Trockenmasseertrags zwischen der Strohvariante 0 dt/ha und 40 dt/ha erkennbar. Zwischen den Strohmenge 40 dt/ha, 60 dt/ha und 80 dt/ha gibt es in den Grubbervarianten keinen Unterschied in der Trockenmasse.

3.2.4 Bodenuntersuchungen

Zu Versuchsbeginn in 2008, nach der Ernte der Vorfrucht Triticale, werden in der Tiefe 0-30 cm im Mittel 15 kg N/ha gemessen. Der Vergleich der Mittelwerte der N_{min}-Untersuchungen im Versuchsverlauf zeigt am 18. August den höchsten Wert mit insgesamt 39 kg N/ha in der Bodenschicht 0-30 cm. Am 24. Oktober kurz nach der Ernte des Ölrettichs liegt der Mittelwert bei 14 kg N/ha und hat somit ein vergleichbares Niveau wie zu Beginn des Feldversuchs.

Tab. 6: Mittelwerte der N_{min} Bodenuntersuchungen in der Krumme im Versuchsverlauf

Datum der Bodenproben	5. August 2008 (nach der 1. Bearbeitung)	18. August 2008 (nach der 2. Bearbeitung)	24. Oktober 2008 (nach der Ernte des Ölrettichs)
Mittelwert Bodenprobe 0-15 cm	15 kg N/ha	24 kg N/ha	9 kg N/ha
Mittelwert Bodenprobe 15-30 cm	0 kg N/ha	15 kg N/ha	5 kg N/ha
Summe	15 kg N/ha	39 kg N/ha	14 kg N/ha

2009 wurde zu Versuchsbeginn in einer Mischprobe der Mittelwert von 19 kg N/ha für das gesamte Versuchsfeld erfasst. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen nach der 2. Bearbeitung sind in Abb. 18 dargestellt.

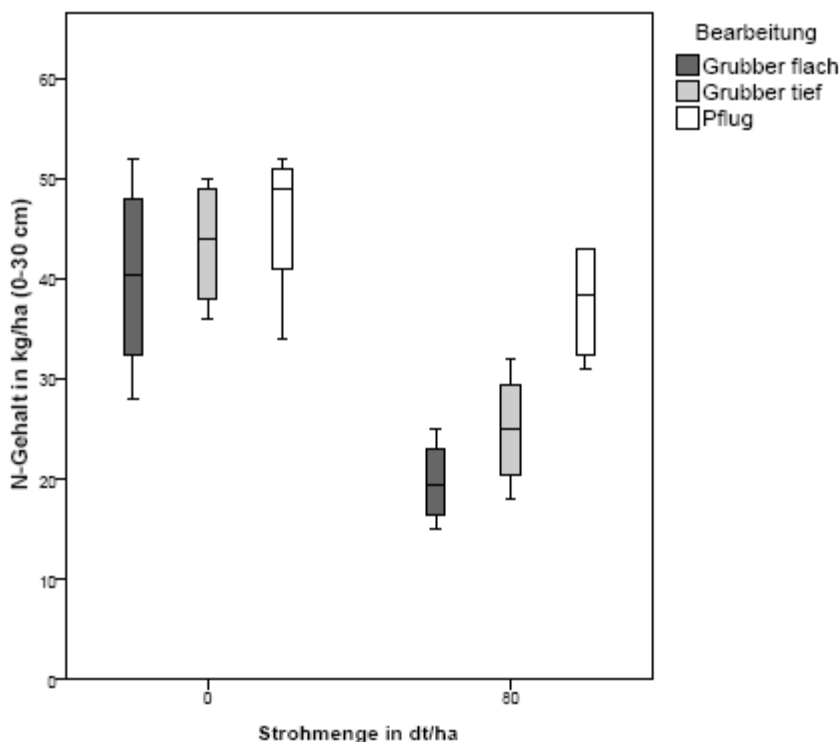


Abb. 18: N_{\min} Analysen der Bodenproben vom 26.08.2009 in Abhängigkeit der Bearbeitung bei 0 dt Stroh/ha und 80 dt Stroh/ha

Bei einer Strohmenge von 0 dt/ha sind keine Unterschiede in den N-Gehalten zwischen den Bearbeitungsvarianten erkennbar. In den Parzellen, die mit dem Grubber bearbeitet wurden sind in der Strohvariante mit 0 dt/ha Stroh höhere N-Gehalte im Boden gemessen worden, als bei 80 dt Stroh/ha. In der Variante mit 80 dt Stroh/ha liegen die N-Gehalte der tiefen Grubbervariante im Vergleich zur flachen Bearbeitung tendentiell höher.

Zum Zeitpunkt der Ernte der Ölertrichpflanzen Ende Oktober ist der Stickstoffgehalt im Boden mit 10 kg N/ha in allen Versuchsvarianten gleich niedrig (Abb. 19).

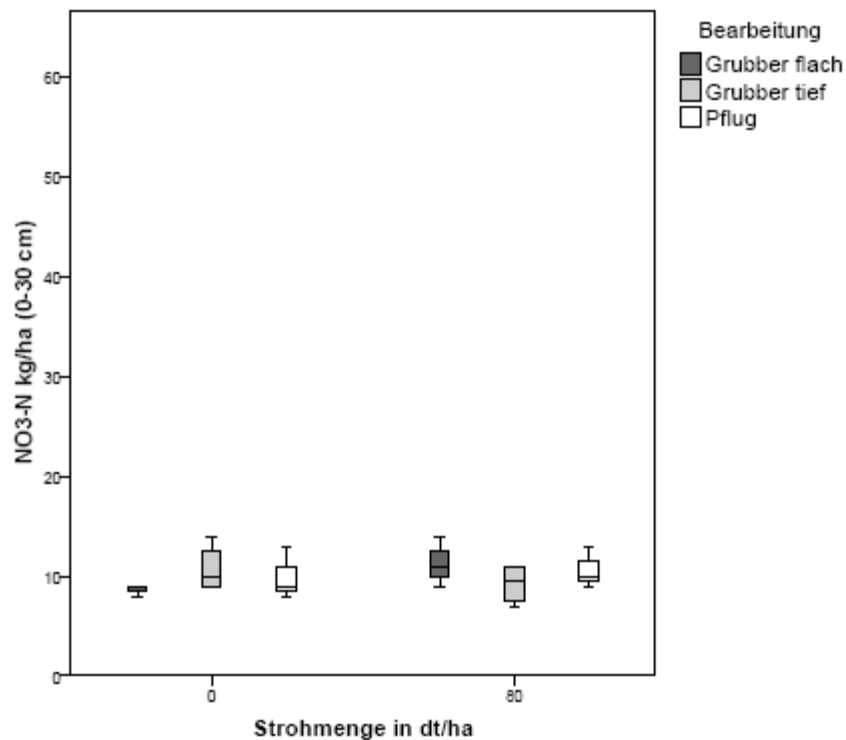


Abb. 19: N_{\min} Analyse der Bodenproben vom 27.10.2009 (0-30 cm) in Abhängigkeit der Bearbeitung bei 0 dt Stroh/ha und 80 dt Stroh/ha

3.2.5 Spatendiagnose

Erwartungsgemäß lassen sich bereits mit der einfachen Spatendiagnose sichtbare Unterschiede der Bodenstruktur beim Vergleich der drei Bearbeitungsvarianten erkennen. In allen Spatendiagnosen sind die Bearbeitungshorizonte in den jeweiligen Bearbeitungstiefen, sowie die Pflugsohle auf 24-25 cm Tiefe zu erkennen. Die bearbeiteten Horizonte haben in allen Varianten eine lockere Krümelstruktur. Darunter wird der Boden „fester“. Unterhalb der Pflugsohle ist der Boden „sehr fest“. Der Boden hat in diesen Bereichen eine plattige und kantige Struktur. Folgende zwei Bilder von 2009 zeigen im Vergleich das Profil bei jeweils 80 dt Stroh/ha in der flachen Grubbervariante (Abb. 20) und in der Pflugvariante (Abb. 21).



Abb. 20: Spatendiagnose am 23. Oktober 2009 in der flachen Grubbervariante mit 80 dt Stroh/ha

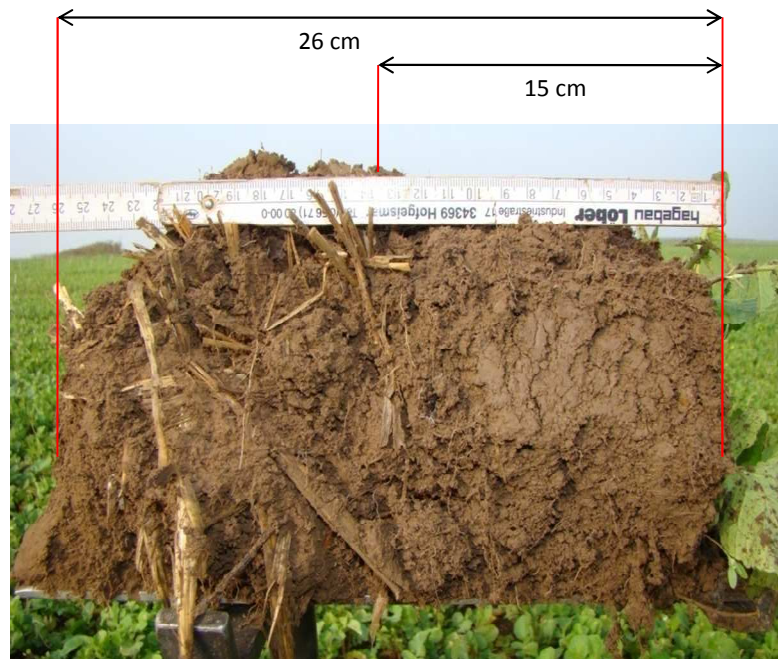


Abb. 21: Spatendiagnose am 23. Oktober 2009 in der Pflugvariante mit 80 dt Stroh/ha

In der Pflugvariante ist die gesamte Strohmenge bis in eine Tiefe von 26 cm vergraben worden. Laut Spatendiagnoseprotokoll ist noch keine Zersetzung des Strohs in dieser Schicht erkennbar. In der flachen Grubbervariante werden bis in einer Tiefe von 8 cm Strohrefte bzw. zum Teil bereits zersetzte Strohteile gefunden. Auf einer Tiefe von ca. 21 cm ist ein weiterer Horizont erkennbar, der eine mögliche Pflugfurche markiert. Bis in eine Tiefe von 10 cm sind die Feinwurzeln in der Grubbervariante gut ausgeprägt. In der Pflugvariante reichen die Feinwurzeln bis in eine Tiefe von ca. 15 cm.

4 Umfrage zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau

Über die in der landwirtschaftlichen Praxis durchgeführten Bodenbearbeitungsmaßnahmen gibt es wenig gesicherte Daten (Derpsch et al., 2009). In Deutschland veröffentlichte das statistische Bundesamt 2004 Daten zur „nicht wendenden Bodenbearbeitung“. Demnach nutzen 19,7 % der Ackerbaubetriebe in Deutschland zumindest teilweise nicht wendende Bodenbearbeitungsverfahren (BMELV, 2004). 2009 führte die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) eine E-Mail Befragung zur Stoppelbearbeitung bei 180 von der DLG ausgesuchten und innovationsfreudigen Landwirten durch. Laut dieser Befragung arbeiten 32 % der Betriebe ausschließlich mit nicht wendender Bodenbearbeitung (Hörner et al., 2009). In keiner dieser Darstellungen erfolgte eine Differenzierung zwischen Ökobetrieben und konventionellen Betrieben.

Die letzten Zahlen über Bodenbearbeitung im Ökolandbau stammen aus einer Befragung von Werland (1990), bei der 101 Ökolandwirte antworteten. Damals nutzten 95 % der Befragten den Pflug zur Grundbodenbearbeitung (Werland, 1990). Um einen Überblick über die aktuelle Situation der Bodenbearbeitung auf den Ökobetrieben zu erhalten, wurde 2009 eine Umfrage zur Bodenbearbeitung in Deutschland durchgeführt.

4.1 Material und Methode

Die schriftliche Befragung fand innerhalb des Projektes "Wirtschaftlichkeit des Ökologischen Landbaus in Deutschland unter veränderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen" vom Institut für Betriebswirtschaft des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) statt. Das Projekt steht unter der Leitung von Hiltrud Nieberg. Die Befragung diente vor allem zur Ermittlung der wirtschaftlichen Situation der Ökobetriebe und wurde an 3.000 Ökobauern in Deutschland verschickt. Dieser Befragung wurde ein Zusatzbogen, mit insgesamt fünf Fragen zur Bodenbearbeitung beigelegt (Abb. 22).

Zusatzbogen Bodenbearbeitung für Betriebe mit Ackerflächen

1. Welches Gerät setzen Sie für ihre Grundbodenbearbeitung ein? (mehrere Antworten möglich)
 Pflug andere Geräte (bitte angeben welche): _____

2. Wie tief bearbeiten Sie ihren Boden maximal?
 bis 10 cm 11-15 cm 16-20 cm 21-25 cm tiefer als 25 cm

Bitte die nächsten Fragen nur beantworten, wenn Sie auf ihrem Betrieb den Pflug einsetzen:

3. Ich pflüge jährlich ca. _____ % meiner Ackerfläche

4. Wann verzichten Sie (wenn möglich) in der Fruchtfolge (vor bzw. nach welchen Früchten?) auf den Pflug? (bitte kurz erläutern)

5. Was sind Ihre drei Hauptgründe für den Pflug als Gerät der primären Bodenbearbeitung?
 Organische Masse in den Boden bringen, "reiner Tisch"
 Unkrautbekämpfung
 Bodenverdichtungen lockern
 Mein schwerer Boden kann anders nicht gelockert werden
 Ertragssicherheit
 Habe schon viele Jahre gute Erfahrungen mit dem Pflug
 Pflügen ist zur Not auch bei schwierigen Bodenverhältnissen möglich
 Andere Gründe (bitte angeben): _____

Abb. 22: Zusatzfragebogen Bodenbearbeitung

Die speziellen Fragen zur Bodenbearbeitung für Betriebe mit Ackerflächen sind im Rahmen dieser Arbeit entwickelt worden. In den ersten beiden Fragen werden die eingesetzten Geräte für die Grundbodenbearbeitung und die maximale Bearbeitungstiefe ermittelt. Die anderen drei Fragen betreffen nur Betriebsleiter, die auf ihrem Betrieb den Pflug einsetzen. Es wird der Anteil der gepflügten Fläche an der Ackerfläche erfasst. Des Weiteren sollen die Landwirte darlegen unter welchen Umständen sie in der Fruchtfolge auf den Pflug verzichten und welches ihre Hauptgründe für den Pflugeinsatz sind. Die im allgemeinen Fragebogen erfassten Angaben zum Betrieb (wie u.a. Lage, Betriebsform) standen ebenfalls für eine Auswertung zur Verfügung.

Die zwei Fragebögen sind an 2.782 Ökobetriebe und an die 218 Ökobetriebe des Praxis-Forschungs-Netzes (PFN) des Johann Heinrich von Thünen-Institut verschickt worden. Die Ökobetriebe des PFN wurden innerhalb eines weiteren Projektes zufällig ausgewählt. Um sicher zustellen, dass nur vollständig umgestellte Betriebe in der Stichprobe enthalten sind, wurden die 2.782 Ökobetriebe aus der Liste aller 2004 kontrollierten Ökobetriebe in Deutschland zufällig ausgewählt.

Tab. 7: Übersicht über Rücklauf des Fragebogens

Anzahl	
verschickte Fragebögen	3.000
unzustellbar	36
erhaltene Antworten	734
auswertbare Fragebögen	563
Ackerbaubetriebe	394
beantwortete Zusatzfragebögen	367

Von den 3.000 verschickten Fragebögen waren 36 unzustellbar. Insgesamt haben somit 2.964 Ökobetriebe die Fragebogen erhalten. 734 Betriebsleiter haben darauf geantwortet,

dies entspricht einer Rücklaufquote von 24,8 %. Von diesen 734 haben 47 ihren Betrieb seit 2004 aufgegeben, 20 haben wieder auf konventionelle Landwirtschaft rückumgestellt und 104 waren der Meinung, dass die Befragung für sie nicht relevant sei, beispielsweise weil nur Ökostreuobstbau betrieben wird oder der Betrieb sehr klein ist, und haben deshalb den Fragebogen nicht beantwortet. Unter den insgesamt 563 auswertbaren Fragebögen waren 394 Ackerbaubetriebe. Von diesen 394 Betrieben haben 367 den Zusatzfragebogen ausgefüllt, dies entspricht 93 %.

Die Codierung und Zusammenfassung der eingegangenen Fragebögen in eine Datenbank erfolgte durch Mitarbeiterinnen des vTI. Die offenen Fragen (Nr. 1, 4 und 5) wurden anhand von eigenen Codierungen ausgewertet. Für die Darstellung und Verknüpfung der einzelnen Ergebnisse wurde das Softwareprogramm SPSS 17.0 verwendet.

4.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der fünf Fragen vorgestellt. Die Angaben der 367 Betriebe, die den Zusatzfragebogen beantwortet haben, sind die Grundlage der Auswertung.

4.2.1 Geräteeinsatz bei der Grundbodenbearbeitung

Die erste Frage des Zusatzfragebogens lautete: „Welches Gerät setzen Sie für Ihre Grundbodenbearbeitung ein?“ Als Ankreuzmöglichkeiten standen „Pflug“ oder „Andere Geräte“ zur Auswahl. Es konnten auch beide Antworten angekreuzt werden. Zusätzlich wurde darum gebeten, bei der Antwort „Andere Geräte“ die eingesetzten Geräte zu nennen.

Tab. 8: Verwendete Geräte für die Grundbodenbearbeitung

Kategorie	Relative Häufigkeit (n=367)	Absolute Häufigkeit (n=367)
Pflug	56 %	205
Pflug und andere Geräte	38 %	139
Andere Geräte	6 %	23

205 Betriebe (56 %) arbeiten nur mit dem Pflug. Ohne Pflug arbeiten 6 % der Betriebe. 139 Betriebe (38 %) nannten neben dem Pflug mindestens ein weiteres Bearbeitungsggerät.

4.2.1.1 Verwendete Bodenbearbeitungsgeräte

Die Auswertung der verwendeten Bodenbearbeitungsgeräte erfolgte getrennt in den Kategorien „andere Geräte“ und „Pflug und andere Geräte“. Die unterschiedlichen Bezeichnungen der Geräte sind soweit wie möglich in Gerätegruppen zusammengefasst.

Die 23 Betriebsleiter, die ausschließlich „andere Geräte“ angekreuzt haben, zählten insgesamt 28 Bodenbearbeitungsgeräte auf. Zwei Betriebe machten keine Angaben zu den verwendeten Geräten, sechs Betriebe nannten mehr als ein Gerät. Das am meisten verwendete Bodenbearbeitungsgerät unter den 23 Betriebsleitern ist der Grubber, mit neun Nennungen (siehe Tab. 9).

Tab. 9: Am häufigsten verwendete Gerätegruppen, in der Kategorie "andere Geräte"

Gerät	Anzahl (n=28)
Grubber	9
Stoppelhobel/Schälpflug	4
Dammkulturgeräte	3
Zapfwellenbetriebene Geräte	4
Keine Angaben	2
Andere Geräte (Einzelnennungen)	6

Vier Betriebe nannten weitere Geräte, wie Scheibenegge, Zinkenrotor und Federzahnegge, die sie in Kombination mit dem Grubber verwenden. Drei Mal und damit am zweithäufigsten wurde der Stoppelhobel genannt. Zur selben Kategorie zählt ein Schälpflug, der von einem Betrieb genannt wurde. Drei Betriebe arbeiten mit Dammkulturgeräten, einer dieser Betriebe nutzt gleichzeitig einen Schichtengrubber. Die Fräse wurde zweimal genannt. Zwei Betriebe, die ohne Pflug arbeiten machten keine Angaben mit welchen Geräten sie alternativ ihren Boden bewirtschaften.

Im Folgenden werden die Geräte aufgelistet, die keiner Gerätekategorie zugeordnet wurden:

- Hakenpflug (wird auch zum Häufeln verwendet)
- Mulchsaatgerät
- Parapflug (Gerät aus England, nicht wendende Tiefenlockerung (Köller, 1985))
- Spatenmaschine (Zapfwellengerät, nicht wendende Bodenlockerung (Köller, 1985))
- Zwei Untergrundhaken + Kombination
- Scheibenegge

Von den 139 Betrieben die „Pflug und andere Geräte“ angekreuzt haben, wurden 184 Bodenbearbeitungsgeräte aufge zählt. Ein Betrieb machte keine weiteren Angaben zu den verwendeten Geräten, 90 Betriebe nannten ein Bodenbearbeitungsgerät und 48 Betriebe beschrieben mehr als ein Gerät.

Tab. 10: Am häufigsten verwendete Gerätegruppen in der Kategorie „Pflug und andere Geräte“

Gerät	Anzahl (n=184)
Grubber	120
Scheibenegge	15
Fräse	11
Weitere zapfwellenbetriebene Geräte	11
Egge	9
Stoppelhobel/Schälpflug	7
Dammkulturgeräte	3
Spatenmaschine	2
Andere Geräte (Einzelnennungen)	6

Die am häufigsten verwendete Gerätegruppe bei den Betrieben, die „Pflug und andere Geräte“ angekreuzt haben, ist der Grubber mit 120 Nennungen. Erfasst sind die verschiedenen Gerätegruppen und nicht die tatsächliche Anzahl der aufgezählten Grubber. Ein Betrieb der angibt mit zwei verschiedenen Grubbertypen zu arbeiten wird nur einmal in der Kategorie Grubber erfasst. Ein Betrieb der „Scheibenegge“ und „Grubber“ verwendet, wird in der Gruppe „Grubber“ und in der Gruppe „Scheibenegge“ gelistet. Die Scheibenegge ist nach dem Grubber mit 15 Nennungen das zweithäufigste Gerät. An dritter Stelle steht die Kreiselegge, bzw. Kreiselgrubber mit elf Nennungen, gefolgt von der Gruppe der Eggen mit neun Nennungen. Der Stoppelhobel bzw. Schälpflug wird sieben Mal als weiteres Gerät neben dem Pflug genannt. Die Fräse wird elf Mal genannt. Drei Betriebe arbeiten mit Dammkulturen. Einer gab allgemein „Dammkulturgeräte“ an und zwei nannten den Häufelpflug. Im Folgenden werden die Geräte aufgelistet, die keiner Gerätekategorie zugeordnet wurden und nur einmal genannt wurden:

- Dyna Drive
- Zwei-Schichten-Pflug
- Untergrundlockerer
- Paragrubber
- Hackstriegel
- Mulcher

4.2.1.2 Bearbeitungsgeräte und Standort der Betriebe

Die Verteilung der Betriebe, die ohne Pflug arbeiten, ergibt für das Bundesgebiet folgendes Bild (Abb. 23).

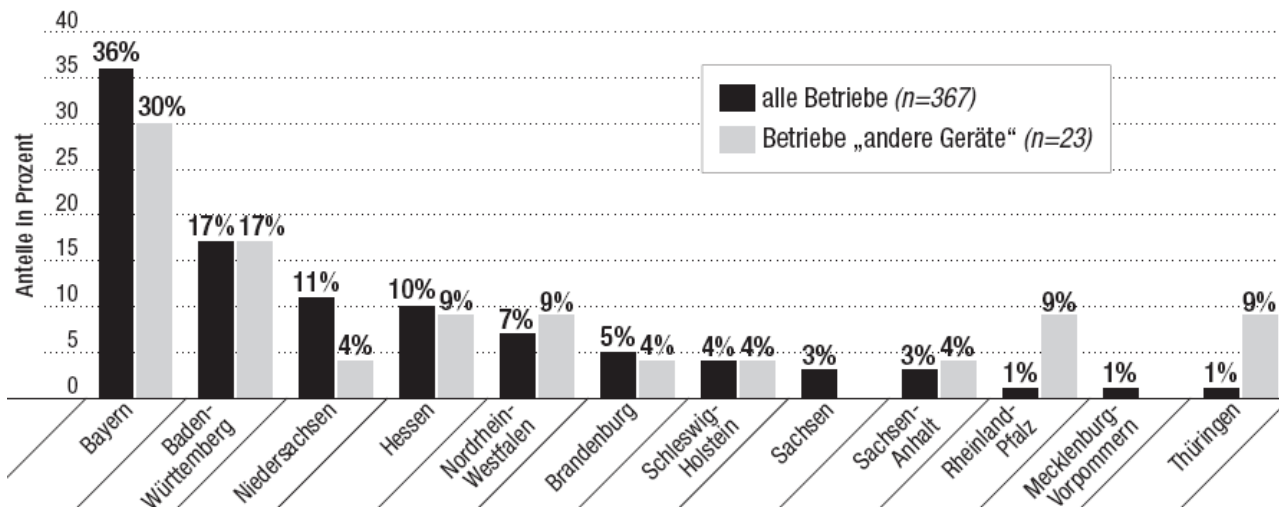


Abb. 23: Verteilung aller Betriebe und der Betriebe mit „anderen Geräten“ in Deutschland

Die Verteilung der Betriebe in der Kategorie „andere Geräte“ entspricht der Verteilung aller 367 Betriebe. In den Bundesländern mit den meisten Betrieben sind auch tendenziell mehr Betriebe, die keinen Pflug für ihre Bodenbearbeitung einsetzen. 30 % der Betriebe mit „anderen Geräten“ bzw. „ohne Pflug“ liegen in Bayern. In dieser Umfrage wurden keine Betriebe in Sachsen und in Mecklenburg-Vorpommern erfasst, die bei der Bodenbearbeitung auf den Pflug verzichten. In Rheinland-Pfalz und in Thüringen, gibt es im Verhältnis zur Anzahl der erfassten Betriebe mehr Betriebe, die ihre Bodenbearbeitung ausschließlich mit anderen Geräten durchführen.

4.2.1.3 Bearbeitungsgeräte und Betriebsform

Im allgemeinen Teil des Fragebogens erfolgt die Einteilung in sechs Betriebsformen: Gemischtbetrieb, Ackerbau, Futterbau/Weidehaltung, Veredelung, Dauerkultur, Gartenbau und Bienenhaltung. Die Verteilung der Betriebsformen innerhalb der drei Bearbeitungskategorien „Pflug“, „andere Geräte“ und „Pflug und andere Geräte“ ist in Abb. 24 dargestellt.

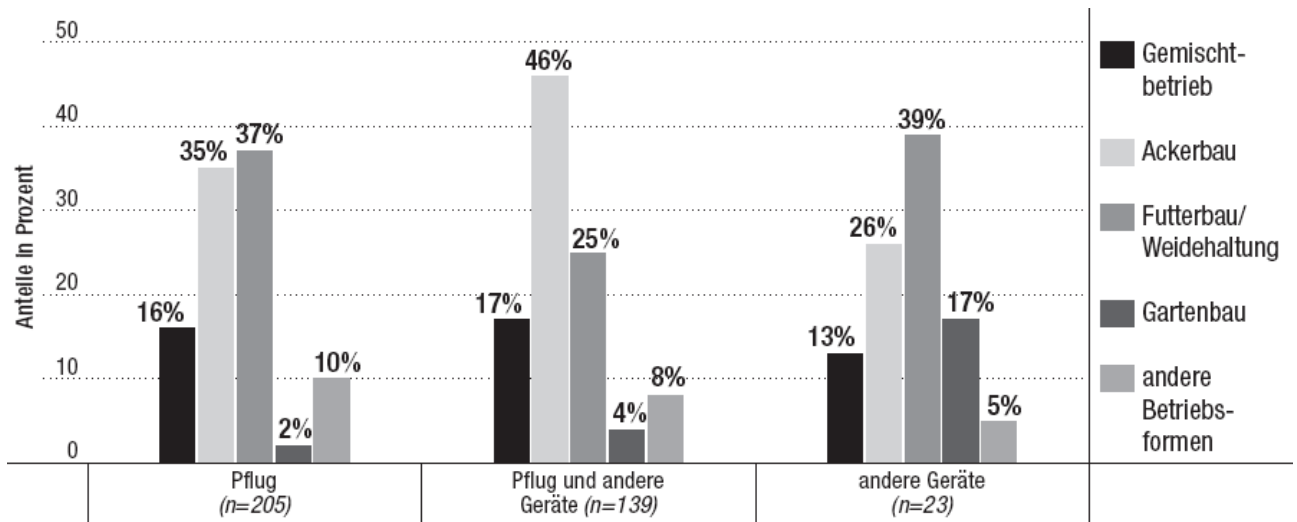


Abb. 24: Verteilung der Betriebsform innerhalb der einzelnen Bearbeitungskategorien

Futterbaubetriebe und/oder Betriebe mit Weidehaltung verzichten bei der Bodenbearbeitung am häufigsten auf den Pflug, gefolgt von Ackerbaubetrieben. 17 % der Betriebe, die nur „andere Geräte“ zur Bearbeitung einsetzen sind Gartenbaubetriebe. Diese Betriebe arbeiten mit Stoppelhobel, Grubber, Spatenmaschine oder Häufeltechnik. 46 % der Betriebe, die den Pflug in Kombination mit anderen Geräten nutzen sind Ackerbaubetriebe.

4.2.2 Bearbeitungstiefe

Als Zweites wurde gefragt, wie tief die Betriebe ihren Boden maximal bearbeiten. Zur Auswahl standen fünf Auswahlmöglichkeiten. Abbildung 25 zeigt die Verteilung der Antworten auf diese Frage.

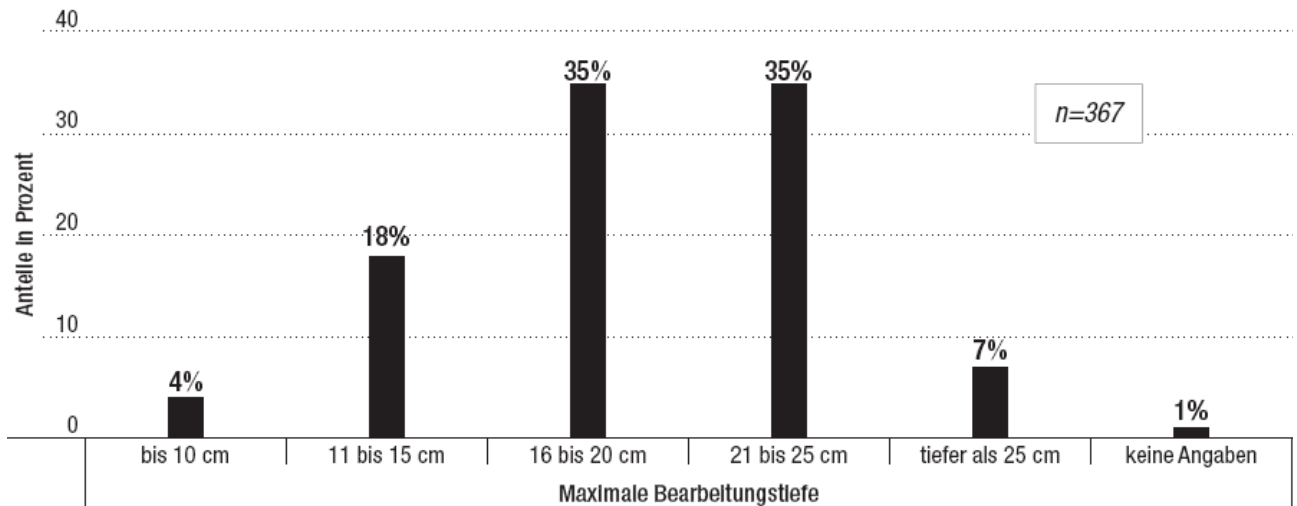


Abb. 25: Angaben zur maximalen Bearbeitungstiefe

42% der befragten Ökobetriebe in Deutschland bearbeiten den Boden tiefer als 20 cm. 22 % der Betriebe arbeiten maximal 15 cm tief, davon bleiben 4 % unter einer Bearbeitungstiefe von 10 cm.

4.2.2.1 Bearbeitungstiefe und Bodenbearbeitungsgeräte

Die Verteilung der drei Gerätekategorien „Pflug“, „Pflug und andere Geräte“ und „andere Geräte“ in den jeweiligen Bearbeitungstiefen ist in Abbildung 26 dargestellt.

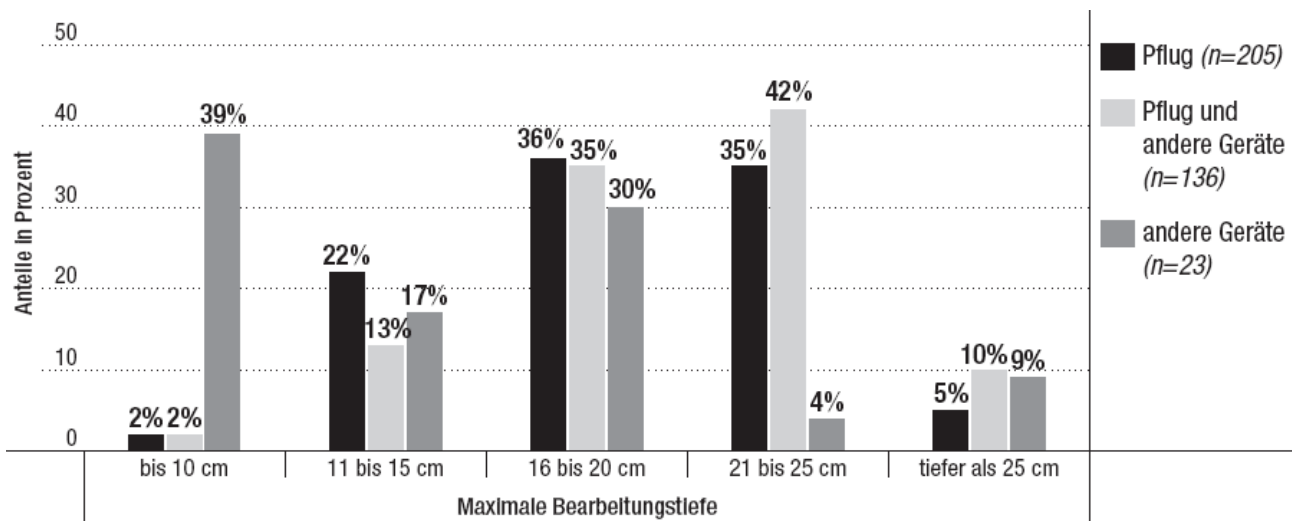


Abb. 26: Verteilung der Gerätekategorien in den unterschiedlichen Bearbeitungstiefen

40 % der Betriebe, die nur den Pflug genannt haben und 52 % der Betriebe in der Kategorie „Pflug und andere Geräte“, arbeiten tiefer als 20 cm. Im Vergleich dazu arbeiten die Betriebe der Kategorie „andere Geräten“ eher flacher. 39 % dieser 23 Betriebe arbeiten maximal zehn Zentimeter tief. Die 9 % der Betriebe, die „andere Geräte“ zur Bearbeitung genannt haben und tiefer als 25 cm arbeiten, benutzen Schichtengrubber und Hakenpflug zur Bodenbearbeitung.

4.2.2.2 Bearbeitungstiefe und Betriebsform

Der Vergleich der Bearbeitungstiefen innerhalb der unterschiedlichen Betriebsformen zeigt, dass Ackerbaubetriebe ihre Böden am intensivsten bearbeiten. 59 % der Ackerbaubetriebe arbeiten tiefer als 20 cm. In dieser Tiefe arbeiten 31 % der Gemischtbetriebe und 30 % der Futterbaubetriebe (Abb. 27).

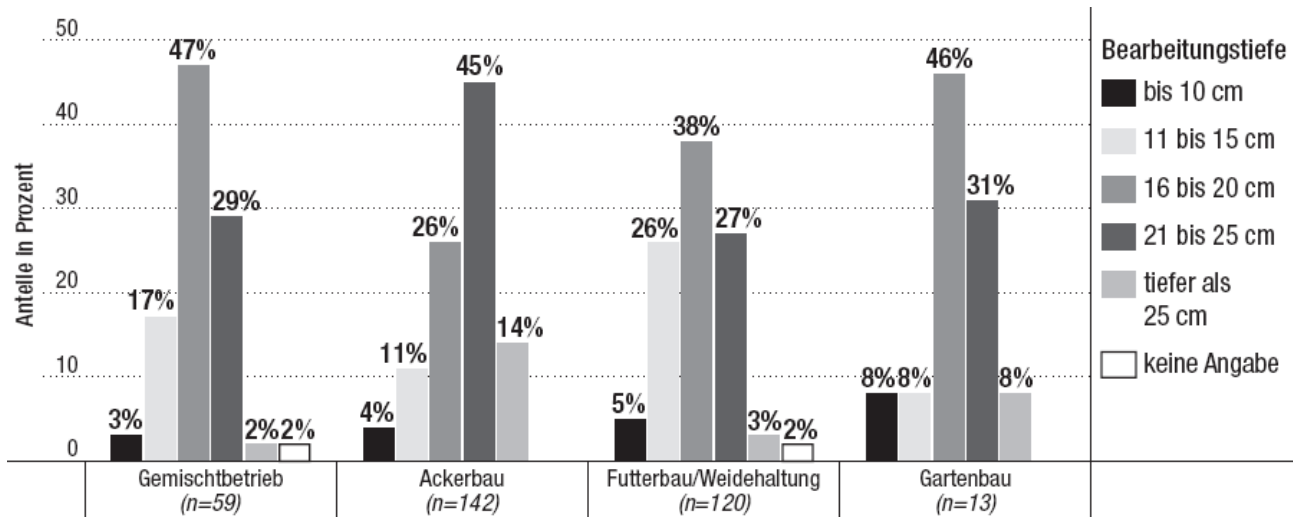


Abb. 27: Verteilung der Bearbeitungstiefen in den Betriebsformen Gemischtbetrieb, Ackerbau, Futterbau/Weidehaltung und Gartenbau

Bei den Betrieben mit Futterbau/Weidehaltung arbeiten 31 % flacher als 16 cm. Im Vergleich zu Ackerbau (15 %), Gemischtbetrieb (20 %) und Gartenbau (16 %) ist dies mit Abstand der größte Anteil an flacher arbeitenden Betrieben. Die Bearbeitungstiefe 16–20 cm ist bei den Betriebsformen Gemischtbetrieb, Futterbau/Weidehaltung und Gartenbau die am häufigsten genannte Bearbeitungstiefe.

4.2.3 Anteil gepflügter Ackerfläche

Im zweiten Teil des Fragebogens waren mit Pflug arbeitende Betriebe aufgefordert, die Fragen weiter zu beantworten. Dementsprechend verringert sich die Gesamtanzahl der ausgewerteten Betriebe auf 344. In Frage drei sollte der Anteil der Ackerfläche angegeben werden, der im Durchschnitt jährlich gepflügt wird. Zwei Betriebe machten hierzu keine Angabe. Als kleinster gepflügter Anteil wurden von einem Betrieb 5 % der Ackerfläche angegeben. 86 Betriebe gaben an 100 % zu pflügen. Zur Veranschaulichung der Verteilung der Antworten wurden in Abbildung 28 die Angaben in 20iger-Schritte unterteilt.

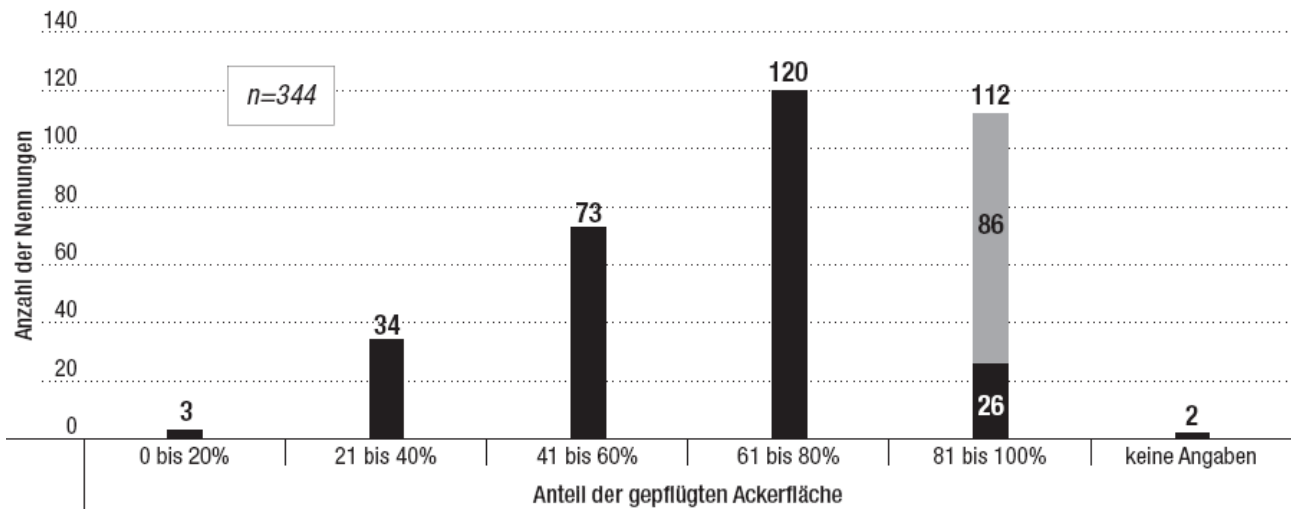


Abb. 28: Anteil der in 2009 gepflügten Ackerfläche

Die meisten Betriebe (35 %) pflügen zwischen 61 und 80 % ihrer Ackerflächen. An zweiter Stelle folgen 112 Betriebe (33 %) mit 81-100 % gepflügter Ackerfläche, wobei der Großteil dieser Betriebe (77 %) jedes Jahr ihre gesamte Fläche mit dem Pflug bearbeitet. Ein weiteres knappes Drittel der Betriebe gibt an, pro Jahr weniger als 61 % ihrer ackerbaulich genutzten Flächen zu pflügen.

4.2.4 Pflugverzicht in der Fruchtfolge

An dieser Stelle war gefragt, wann die Betriebe, wenn möglich, in der Fruchtfolge auf den Pflug verzichten, also vor bzw. nach welchen Früchten. Diese Frage war frei zu beantworten. 112 Landwirte von 344 machten keine Angaben. 232 Betriebsleiter beantworteten diese Frage (Abb. 29).

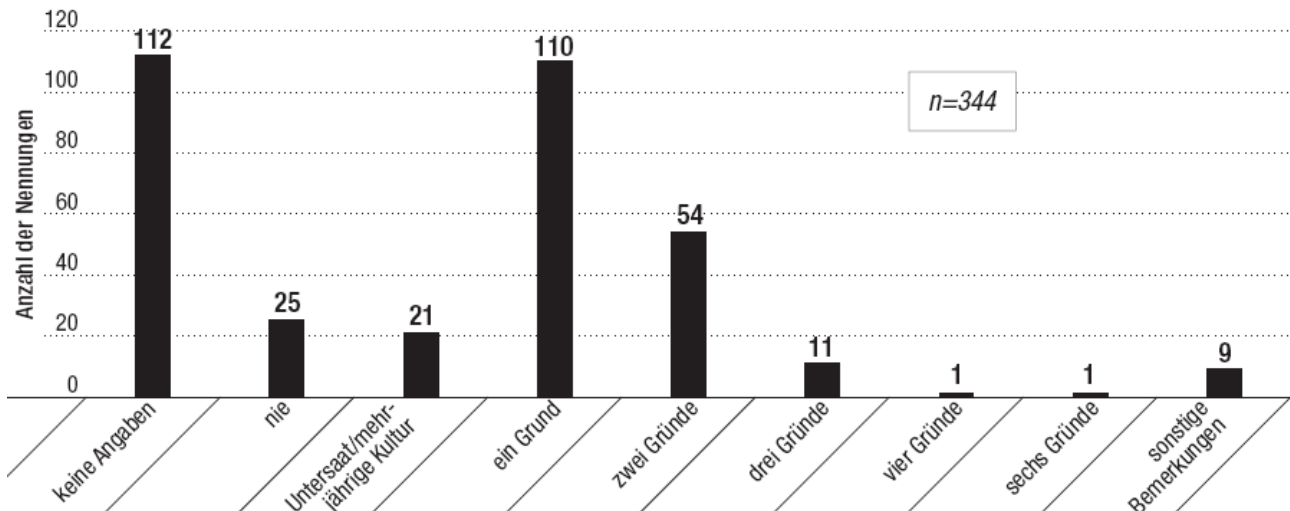


Abb. 29: Übersicht der Angaben zum Pflugverzicht in der Fruchtfolge

25 Betriebsleitern war es hier nochmal wichtig zu sagen, dass sie nie auf den Pflug verzichten. Zwei Betriebe begründeten diese Entscheidung. Einer gab an mit 1.200 mm zu hohe Niederschläge zu haben und der andere setzt aufgrund einer stark getreidebetonten Fruchtfolge ohne Hackfrüchte immer den Pflug ein.

Am häufigsten wurden ein oder zwei Gründe für den Pflugverzicht angegeben, ein Bauer machte sechs Angaben zum Pflugverzicht in seiner Fruchtfolge. 21 Mal wurde als einziger Grund die Untersaat bzw. der Anbau von mehrjährigen Kulturen (vor allem Klee-gras) als Zeitpunkt angegeben, bei dem kein Pflug eingesetzt wird. In diesen Fällen wird systembedingt keine Bodenbearbeitung durchgeführt und stellt im Sinne der Frage 4 keinen Pflugverzicht dar.

Neun Betriebsleiter nutzten die Frage um allgemeine Angaben über ihre Bodenbearbeitung zu machen. Zwei Betriebsleiter schreiben, dass sie „bald völlig auf den Pflug verzichten werden“. Andere erläuterten unter welchen Bedingungen sie den Pflug einsetzen, z.B. bei Klee-grasumbruch, zur Einarbeitung der Sommerzwischenfrucht vor Wintergetreide, bei festgefahrenen Böden oder ausschließlich im Frühjahr.

Von den 344 Bauern verzichteten 52 % bei der Grundbodenbearbeitung teilweise auf den Pflug und machen mindestens eine Angabe zum Zeitpunkt des Pflugverzichts in ihrer Fruchtfolge. Am Häufigsten wurden Ackerfutter (55), Zwischenfrüchte (46) und Hackfrüchte (46) im Zusammenhang mit dem Pflugverzicht in der Fruchtfolge genannt. Dabei spezifizierten die Befragten meistens den Zeitpunkt des Pflugverzichts mit „vor“ oder „nach“ der entsprechenden Kultur (Abb. 30).

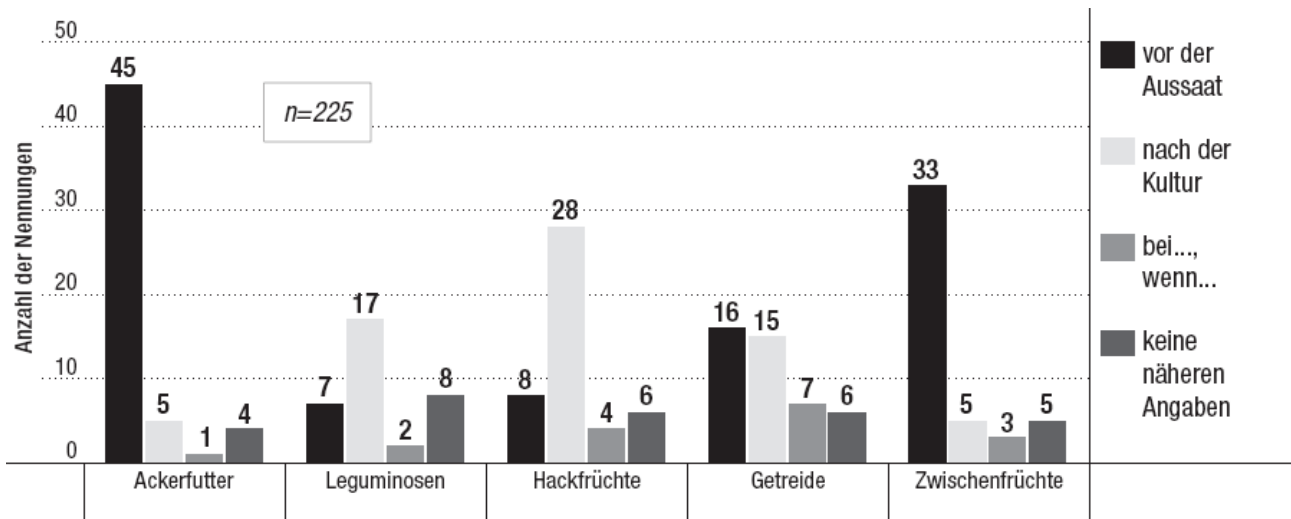


Abb. 30: Ausgewählte Angaben zum Zeitpunkt des Pflugverzichts in der Fruchtfolge

Als Ackerfutter wurde am meisten das Klee gras genannt. 19 % der Betriebe, die diese Frage beantwortet haben, verzichteten vor der Ackerfuttersaat auf den Pflug. 28 Betriebsleiter gaben an „nach Hackfrüchten“ nicht zu pflügen, dies ist meist nach Kartoffeln der Fall.

In einigen Fällen wird der Pflugverzicht in der Fruchtfolge noch weiter spezifiziert, diese Angaben sind in der Kategorie „bei/wenn“ zusammengefasst. Am häufigsten wird hier der Unkrautdruck genannt. Nur „bei geringem Unkrautbesatz“ auf dem Feld wird in der entsprechenden Kultur auf den Pflug verzichtet. Der Bodenzustand wird als weiterer Grund aufgeführt. „Wenn es nicht zu nass ist“ und/oder „der Boden nicht verdichtet ist“, dann wird auf den Pflug verzichtet.

4.2.5 Hauptgründe für den Pflugeinsatz

In der letzten Frage des Zusatzfragebogens Bodenbearbeitung sollten die drei Hauptgründe für den Pflug als Gerät der primären Bodenbearbeitung angegeben werden. Es gab sieben vorgefertigte Antworten zum Ankreuzen und ein Feld für eigene Angaben. Da viele Betriebsleiter oft mehr als drei Gründe angekreuzt haben, werden nicht die Dreierkombinationen ausgewertet, sondern die Anzahl der einzelnen genannten Gründe. In der Tabelle 11 werden die Hauptgründe aufgeführt mit dem Anteil der Betriebsleiter (n=344) die diesen Grund auswählten.

Tab. 11: Hauptgründe für den Pflugeinsatz

	Grund	Relative Häufigkeit (n=344)	Absolute Häufigkeit
1.	Unkrautbekämpfung	86 %	294
2.	Organische Masse in den Boden bringen, „reiner Tisch“	56 %	194
3.	Habe schon viele Jahre gute Erfahrungen mit dem Pflug	45 %	155
4.	Ertragssicherheit	31 %	106
5.	Bodenverdichtungen lockern	22 %	77
6.	Andere Gründe	19 %	65
7.	Mein schwerer Boden kann anders nicht gelockert werden	14 %	47
8.	Pflügen ist zur Not auch bei schwierigen Verhältnissen möglich	12 %	42

Die Unkrautbekämpfung ist mit Abstand der meist genannte Grund für den Pflugeinsatz auf den Betrieben. Für 56 % aller Betriebe sind „die Einarbeitung von organischer Masse“ und für 45 % „die guten Erfahrungen mit dem Pflug“ weitere ausschlaggebende Gründe. Für knapp ein Drittel der Betriebe ist die Ertragssicherheit beim Pflügen sehr wichtig. 22 % der Betriebe möchte mit dem Pflug Bodenverdichtungen lockern. Die Lockerung eines speziellen, schweren Bodens oder der Pflug als Notmaßnahme bei schwierigen Verhältnissen spielen eine vergleichsweise geringe Rolle bei der Entscheidung den Pflug einzusetzen. 65 Bauern spezifizierten ihre Aussagen für den Pflugeinsatz noch einmal unter „andere Gründe“. Diese freien Antworten sind kategorisiert worden (Tab. 12) und die am häufigsten genannten werden im Folgenden vorgestellt.

Tab. 12: „andere Gründe“ für Pflugeinsatz

	Anzahl (n=65)
Pflanzenbauliche Gründe	23
Technische Gründe	15
Bodenkundliche Gründe	13
Persönliche Gründe	9
Andere Angaben	5

Bei den pflanzenbaulichen Argumenten führen fünf Betriebe noch einmal spezielle Probleme mit Unkräutern (u.a. Ampfer) an. Die Bekämpfung von tierischen Schädlingen wie Schnecken und Mäuse, aber auch Pilzkrankheiten werden von einigen Betrieben genannt. Der Klee grasumbruch wird von fünf Betrieben als weiterer wichtiger pflanzenbaulicher Grund angegeben. Zu den technischen Gründen zählt die Aussage von fünf Betriebsleitern, dass eine Umstellung auf eine andere Bearbeitungstechnik zu hohe Investitionskosten verursachen würde. Ähnlich äußern sich vier weitere Betriebe, die „keine anderen Geräte zur Verfügung haben“. Zwei Betriebe geben, als Grund warum sie weiterhin mit dem Pflug arbeiten, eine zu geringe Traktorleistung an. Dreimal kam die Aussage, dass ohne Pflug die Einsatzbedingungen für die Striegel- bzw. Hacktechnik sehr schlecht sind.

Dreizehn Angaben beziehen sich auf die positiven Auswirkungen des Pfluges auf den Boden. Für vier Betriebe ist die Wasserführung, bzw. der Wasserhaushalt im Boden besser, wenn der Boden mit dem Pflug bearbeitet wird. Vier Betriebe wollen auf die krümelnde Wirkung der Frostgare nicht verzichten. Drei Betriebe wollen mit dem Pflug „mehr Sauerstoff in den Boden bringen“. Zwei sehen mit dem Pflug die Möglichkeit „Nährstoffe im Boden nach oben zu bringen“. Vier Betrieben schrieb, dass ihnen ohne Pflug „das Risiko zu hoch sei“. Drei Betriebe haben schon schlechte Erfahrungen ohne Pflug gemacht und ebenfalls drei Betriebsleiter gaben an, dass „Pflügen Spaß macht“. Für zwei weitere Betriebe ist Pflügen „einfach und zuverlässig“. Diese Angaben sind unter „persönliche Gründe“ zusammengefasst.

5 Experteninterviews zur konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau

Die konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau ist ein System, das sich in der technischen Entwicklung befindet. In Deutschland gibt es einige Ökolandwirte, die seit mehr als zehn Jahren ihre Böden erfolgreich und aus Überzeugung so flach wie möglich und ohne Pflug bearbeiten. Dieses Expertenwissen hat sich über Jahre entwickelt und basiert zu weiten Teilen auf praktischen Erfahrungen. Die Aufgabe ist es, die Erfahrungen und das daraus entwickelte Wissen der Landwirte systematisch zu erfassen, um die Zusammenhänge in diesen Bodenbearbeitungssystemen zu verstehen und den Erfolg dieser Experten nachvollziehbar zu machen (Baars et al., 2007). Dabei wird im besonderem auf das Verständnis der Landwirte, die Komplexität der Vorgänge und die Entwicklungsschritte des Verfahrens geachtet.

Der Fallserien-Untersuchung von erfolgreichen Ökobauern liegen folgende Hypothesen zu Grunde:

- bei der Bodenbearbeitung muss flexibel und unmittelbar auf die jeweilige Situation (z.B. Wetter, Bodenzustand) reagiert werden.
- die konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau erfordert komplexe und weitreichende Begleit-Abstimmungen im Gesamtbetrieb um den gewünschten Erfolg zu erzielen.
- mit Hilfe von Einzelfallbeschreibungen von erfolgreichen Ökobauern, die seit mehr als 10 Jahren das System einer konservierenden Bodenbearbeitung technisch weiter entwickeln und durchführen, können die einzelnen Erfahrungen (Maßnahmen, Handlungen, Anpassungen), die unter den jeweiligen Bedingungen zum Erfolg geführt haben, erfasst werden.
- durch die objektive Darstellung des Einzelfalls und der tatsächlichen Vorgänge ist eine wissenschaftliche Reflektion der bäuerlichen Erkenntnisse möglich. Die Erkenntnisse erfahren so eine Wertschätzung und bleiben für unabhängige Dritte erfahrbar und können beurteilt werden.

5.1 Material und Methode

Landwirt und Forscherin sind beide Experten. Der Landwirt ist ein Praxis-Experte, der sein System langjährig entwickelt hat. Seine Erkenntnis ist lokal und auf seinen Betrieb angepasst. Die Forscherin ist als Doktorandin Expertin im Rahmen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und Interpretationen. Mit Methoden der qualitativen Sozialforschung (Rosenthal, 2005) werden die praktischen Wissensbereiche des Landwirts und die theoretischen Wissensbereiche der Forscherin aufeinander bezogen. Das Wissen der Landwirte wird durch die Befragungen und durch die teilnehmenden Beobachtungen während der Bodenbearbeitung auf dem Feld von der Forscherin erfasst. Anhand einer qualitativen Textanalyse, bei der nach Schlüsselwörtern zum Thema Bodenbearbeitung gesucht wird, werden die einzelnen Maßnahmen strukturiert und kategorisiert. Die hier verwendete Methode basiert insbesondere darauf, dass ein Landwirt mit jeder Maßnahme ein bestimmtes Ziel er-

reichen will. Gleichzeitig hat er eine Hypothese dazu, wie dieses Ziel zu erreichen ist. In Expertensystemen werden daher Hypothesen und Handlungsregeln für einzelne Maßnahmen erfasst (Puppe, 1991). Grundlage für die Hypothesen als auch für die Einschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmen sind Beobachtungen bzw. bereits vorhandenes Wissen. Diese Zusammenhänge können für die einzelnen Maßnahmen systematisch unter Verwendung eines Regelkreismodells analysiert werden (Kaufmann, 2008). Wichtig dabei ist, dass ein Teil der Interviews während der tatsächlichen Arbeit des Landwirts gemacht wird (Methode: teilnehmende Beobachtung). Auf den Aspekt der Handlungsintuition, Novelty-Entwicklung und die Komplexität der Bearbeitungssysteme, wird besonders geachtet (Baars et al., 2007). Die Informationen in den Fallbeispielen beschreiben Handlungsstrategien und Entscheidungsprozesse der Bodenbearbeitung im Rahmen der Betriebsentwicklung und unter Beschränkung der systemökologischen Betriebsgrenzen. In der Erforschung von erfolgreichen Bodenbearbeitungssystemen geht es darum zu verstehen, wie die komplexen Zusammenhänge ineinander greifen und warum das System funktioniert. Einzelne Handlungen werden vor Ort verifiziert und auch selbst beobachtet.

5.1.1 Auswahl der Landwirte

Im ersten Schritt erfolgt die Identifizierung der Landwirte. Ziel ist es, Experten der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau in Deutschland zu finden, die langjährige Erfahrung mit dem System vorweisen können. Dabei werden vor allem Seminare und Tagungen für Praktiker zur Bodenbearbeitung und bereits bestehende Kontakte zu Betrieben genutzt, um sich einen Überblick über die „Szene“ zu schaffen. Im Rahmen des Hochschultages 2007 zum Thema Bodenbearbeitung an der Universität Kassel, stellten drei Landwirte ihre Betriebe und ihr System der Bodenbearbeitung vor. Der Landwirt B3, war einer von ihnen und im anschließenden gemeinsamen Gespräch wurde eine Einladung ausgesprochen, sich seine Bodenbearbeitung vor Ort anzuschauen. Nach diesem Besuch wurde er als ein Experte identifiziert.

Im Rahmen einer Exkursion zum Thema Ackerkratzdistel wurde der Landwirt B2, Anfang April 2008 ausgewählt. Es wurden drei Ökobauern besucht, die sich mit der Thematik der Unkrautregulierung bei konservierender Bodenbearbeitung beschäftigen. B2 hatte die längste Erfahrung mit der Problematik und sich intensiv mit dem verwendeten Bodenbearbeitungsgerät auseinandergesetzt.

Der Name von B1 wurde in Diskussionen und bei Veranstaltungen zum Thema „Bodenbearbeitung im Ökolandbau“ immer wieder als Beispiel erwähnt. Der erste Kontakt fand im April 2008 statt. Beim ersten Interview wird am sehr professionellen Erzählstil von B1 deutlich, dass er bereits oft über sein Bodenbearbeitungssystem berichtet hat. Seine langjährige Erfahrung und seine konsequente Verfolgung dieser Bodenbearbeitung machen ihn zu einem wichtigen Experten für diese Untersuchung.

Für die Auswahl aller drei Fallbeispiele waren ausschlaggebend:

- eine mindestens zehnjährige erfolgreiche Anwendung des Bodenbearbeitungssystems unter ökologischen Landbaubedingungen
- Bereitschaft und Offenheit die persönlichen Erfahrungen mitzuteilen
- genügend Zeit für Gespräche

5.1.2 Datenerhebung

Die Befragungen fanden in Form eines offenen Interviews statt (Rosenthal, 2005). Es gab keinen Fragebogen mit Fragen, die abgearbeitet wurden. Die Bauern wurden ermutigt über ihre Bodenbearbeitung zu erzählen, bzw. es wurden bei der Bodenbearbeitung oder Feldbesichtigung Fragen zum Arbeitsverlauf und zu den Beobachtungen gestellt. Die Ergebnisse sind Auswertungen aus mehreren Gesprächen mit den drei Landwirten. Die Gespräche und Vorträge sind in Tabelle 13 für jedes Fallbeispiel dargestellt.

Tab. 13: Datenquellen der drei Fallbeispiele

	B1	B2	B3
Interview (aufgenommene Redezeit in Minuten)	20.05.2008 (66 min)	20.06.2008 (51 min)	05.12.2008 (80 min)
Interview und teilnehmende Beobachtung (aufgenommene Redezeit in Minuten)	28.08.2008 (215 min) bei der Aussaat der Zwischenfrucht/ Wintergetreide 9.04.2009 (82 min) Felderbegehung im Frühjahr	23.09.2008 (82 min) Felderbegehung zum Stoppelhobelversuch in Frankenhausen 19.03.2009 (77 min) Felderbegehung im Frühjahr	23.04.2008 (keine Aufnahme) Bodenbearbeitung im Frühjahr zur Haferausaat 5.06.2008 (keine Aufnahme) Exkursion, Universität Kassel 7.08.2008 (83 min) Stoppelbearbeitung nach der Haferernte
Telefonate	31.07.2008 Kleegrasumbruch 2.2.2009 Unkrautregulierung 12.12.2009 Verifizierung der Daten	15.09.2008 Unkrautregulierung 15.03.2010 Rotkleeumbruch, Verifizierung der Daten	11.12.2009 Geräteanschaffung, Weizenertrag, Hühnermist, Verifizierung der Daten,
Veranstaltungen: Erfahrungsbericht mit anschließender Diskussion		23.09.2008 Vortrag im Rahmen der Vorlesung „Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffkreisläufe“, Universität Kassel	01.12.2007 Vortrag am Hochschultag, Universität Kassel
		15.01.2009 Vortrag Stoppelhobeltags, Firma Zobel	
	15.09.2009 Referenten der Podiumsdiskussion zum Thema konservierende Bodenbearbeitung in Frankenhausen, Universität Kassel		
	10.10.2009 Referent der Arbeitsgruppe „Boden“ im Seminar „Zukunftsfähige Landwirtschaft“ in Hofgeismar, Agrarbündnis		04.11.2009 Vortrag und Diskussion auf der Beratertagung, SOEL

Im Fallbeispiel eins sind es drei Interviews mit 363 min Redezeit, die zwischen Mai 2008 und Oktober 2009 stattgefunden haben. Ende August konnte kurz nach der Bodenbearbeitung die Aussaat der Zwischenfrucht, mit dem Wintergetreide beobachtet werden und im Folgejahr wurden alle Felder im April besichtigt. Im Fallbeispiel zwei wurden zwischen Mai 2008 und Oktober 2009 zwei Interviews mit 210 min Redezeit aufgenommen. Im Jahr 2009 wurden Anfang März kurz vor der Frühjahrsbestellung alle Felder besichtigt. Im Fallbeispiel drei haben drei Gespräche zwischen Dezember 2007 und Oktober 2009 stattgefunden, von denen zwei Interviews mit 163 min Redezeit aufgenommen wurden. So war es möglich die erste Bearbeitung vor der Haferaussaat, den Aufwuchs des Feldes nach ca. drei Monaten und die Bearbeitung nach der Ernte im August mit zu verfolgen. Bei allen Gesprächen, war neben dem Betriebsleiter B3 auch der Mitarbeiter anwesend, der hauptsächlich die Bodenbearbeitung in Absprache mit B3 durchführt.

Die Gespräche auf den Betrieben wurden ergänzt durch Aussagen der Landwirte, die während verschiedener Veranstaltungen gesammelt wurden und bei denen die Landwirte als Referenten teilgenommen haben. Hierzu zählen unter anderem ein Vortrag und eine Exkursion im Rahmen der Vorlesung „Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffkreisläufe“ in Witzenhausen (2007 und 2008), eine Feldbegehung des Stoppelhobelversuchs in Frankenhäusen (2008), eine Podiumsdiskussion über konservierende Bodenbearbeitung am Feldtag der Universität Kassel in Frankenhäusen 2009, eine Beratertagung im September 2009 und das Seminar zur zukunftsfähigen Landwirtschaft in Hofgeismar 2009.

5.1.3 Datenbearbeitung und Auswertung

Mit einem Aufnahmegerät Olympus WS-311M wurden die Gespräche der Landwirte im Detail dokumentiert. Die Interviews wurden mit Hilfe des Softwareprogramms „f4“ transkribiert. Danach wurde der Text nach Schlagwörtern durchsucht und markiert, um relevante Textstellen im Bezug auf die Bodenbearbeitung heraus zu filtern. Nach dem Transkribieren und der Auswertung der Interviews wurden noch offene Fragen zu speziellen Sachverhalten telefonisch und/oder in Folgegesprächen geklärt. Alle Aufnahmen stehen als Audiodateien und alle transkribierten Texte als Textdateien zur Verfügung. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe folgender Fragestellungen:

Was macht der Landwirt?

Welches Ziel hat er?

Welches Ziel verfolgt er mit der Maßnahme?

Welche Beobachtungen macht er?

Welche Gründe nennt er für seine Handlung?

Dabei wird folgendes Konzept für die qualitative Handlungsanalyse von kontrollierten Systemen verfolgt (Abb.31):

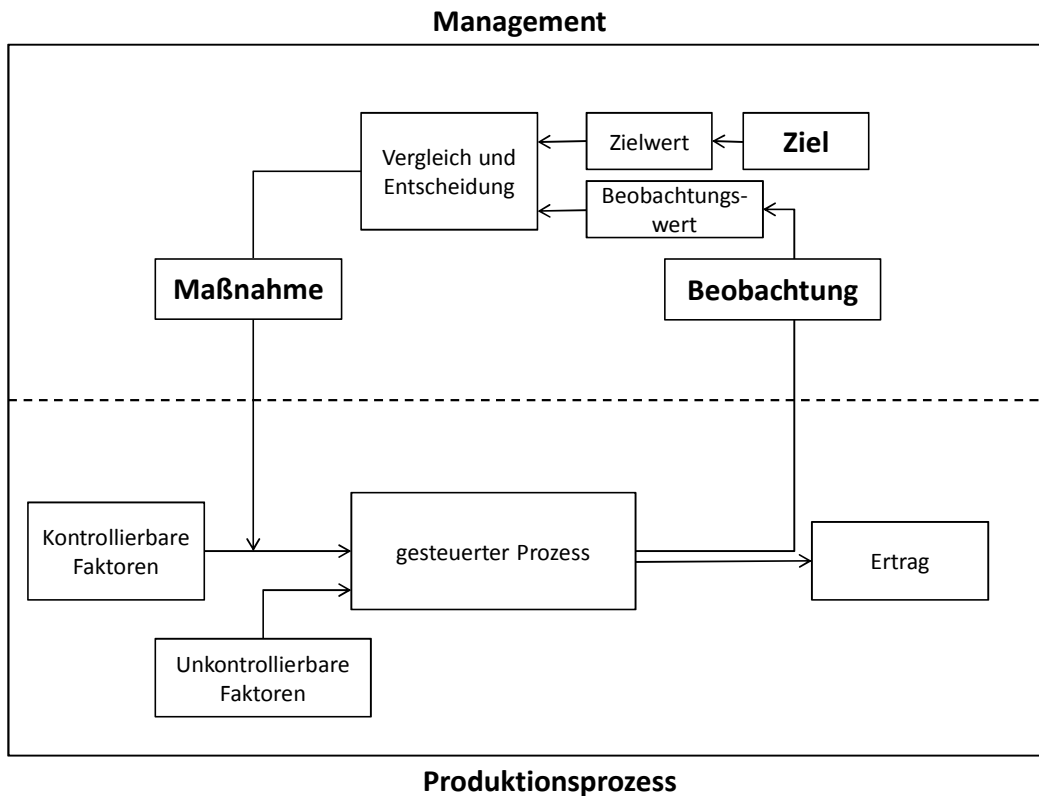


Abb. 31: Konzeptdarstellung nach Kaufmann (2008)

Die Fallbeispiele sind nach der Methode der Einzelfallbeschreibungen von Kienle et al. (2009) dargestellt, die von Ärzten und Therapeuten verwendet wird, um Einzelfallanalysen von Krankheitsverläufen bei Patienten zu dokumentieren. Die einzelnen Unterpunkte der Einzelfallbeschreibung sind der landwirtschaftlichen Thematik angepasst. Ziel ist es alle Informationen im Bezug auf das Hauptthema (hier: Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau) zu erfassen und für den Leser nachvollziehbar und logisch aufzubereiten. Bei der Darstellung wird darauf geachtet, die sich entwickelnde Sichtweise des Landwirts wiederzugeben, dass heißt die einzelnen Maßnahmen werden anhand des zu erreichenden Ziels und den Beobachtungen und Begründungen des Landwirts analysiert.

5.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der drei Fallbeispiele werden jeweils in folgende Unterkapitel gegliedert. Die Betriebsbeschreibung beinhaltet allgemeine Informationen über den Betrieb. Das Kapitel Beweggründe und Motivation stellt eine kurze chronologische Entwicklung des Betriebes mit dem Fokus auf der Bodenbearbeitung dar. Darauf folgen die Darstellung der vom Landwirt verfolgten Ziele und die Beschreibung der einzelnen Bodenbearbeitungsmaßnahmen, wie sie heute auf den Betrieben durchgeführt werden. In der Interpretation werden eigene Rückschlüsse gezogen und Zusammenhänge erläutert. Die Betriebsbeschreibungen, Beweggründe und die Maßnahmen zur Bodenbearbeitung sind von den Bauern überprüft und autorisiert. Die Fallbeispiele sind anonymisiert.

5.2.1 Fallbeispiel 1

Im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau ist B1 einer der ersten Landwirte in Deutschland, die seit Jahren konsequent auf den Pflug verzichten und ihre Böden nur noch flach bearbeiten. Er ist einer der Pioniere der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau. Der Landwirt bewirtschaftet seit 1982 selbstständig seinen Betrieb, den er seit 1988 auf Ökologischen Landbau umgestellt hat und seit dem Mitglied bei dem Anbauverband Bioland ist. B1 hatte vor der Umstellung seinen Betrieb intensiv konventionell bewirtschaftet und Höchstserträge erzielt. Im Folgenden wird das komplexe Betriebssystem mit Fokus auf der Bodenbearbeitung beschrieben, um die kausalen Zusammenhänge und Entscheidungsgründe des Landwirts darzustellen, die ausschlaggebend für das Bodenbearbeitungssystem sind.

5.2.1.1 Betriebsbeschreibung

Die allgemeinen Betriebsdaten sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tab. 14: Betriebsbeschreibung B1

Betriebsgröße	54 ha, davon 30 ha Ackerland
Höhenlage über NN	450 m
Jahresniederschlagsmenge	800 mm
Durchschnittstemperatur	7,5 °C
Bodenart	Lehmiger Sand bis anmooriger Lehm
Tierhaltung	22 Milchkühe mit Nachzucht, Heufütterung und Weidegang; Tretmiststall
Fruchtfolge	2 Jahre Klee gras (eigene Mischung siehe unten), Sommerung (Hafer), Winterung (Winterweizen), Klee gras, Sommerung (Hafer), Winterung (Winterroggen)
Klee gras Kräutermischung	45 kg/ha gesät Ende August (Prozentangaben entsprechen den Gewichtsanteilen des Saatguts in der Mischung): 90,5 % Leguminosen mit Luzerne, Esparsette, Rotklee, Gelbklee, Weißklee, Hornklee, 4,3 % Kräuter mit Wiesenkümmel, Spitzwegerich, Wilde Möhre, Scharfgarbe, Bibernelle, 5,2 % Gras (Wiesenrispe) weitere 50 kg/ha Mischung: 77,8 % Leguminosen mit Luzerne, Esparsette, Hornklee, Gelbklee, Weißklee, Hornklee, 4,7 % Kräuter mit Wiesenknopf, Spitzwegerich, Wilde Möhre, Scharfgarbe, Bibernelle, Wiesenkümmel, 17,5 % Gras mit Wiesenrispe, Rohrschwengel, wehrlose Trespe

Bodenbearbeitung	Seit 1984 pfluglos mit Weichelsystem (bis 25 cm tief) Seit 1994 flache Bodenbearbeitung mit Fräse auf max. 6 cm
Maschinen	Eigener Mähdrescher mit 2,50 m Schnittbreite 72 PS Schlepper Sätechnik seit 2006: Heko Sämaschine mit 6 cm Reihenabstand Eigene Technik für Sonderkulturen
Weizenertag in dt/ha	Ertragsspanne von 20-60 dt/ha, im Durchschnitt 40 dt/ha Ertragsmessungen bei einem Weizenversuch mit unterschiedlichem Aussaatzeitpunkt im Jahr 2008/2009 ergaben: 62 dt/ha (Weizen ohne Untersaat), 34 dt/ha (Frühsaat mit gleichzeitiger Untersaat) und 47 dt/ha (späte Aussaat in bereits etablierte Untersaat).
Sonstiges	Eigene Käserei, Saatgutvermehrung von Getreide und Kräutern

Der Betrieb mit Milchkühen wird von B1 und seiner Frau gemeinsam nach Bioland Richtlinien bewirtschaftet. Für die Milchverarbeitung ist eine Käserin angestellt. Das Ziel der Bewirtschaftung des gesamten Betriebes ist für B1 die Entwicklung eines partnerschaftlichen Verhältnisses zwischen Mensch und Natur¹.

¹ Zitat (20.05.2008): "eben, ich hab vor glaub ich 26 Jahren angefangen mit Wiesenblumen, Ackerblumen, Gewürzkräutersaatgut, als Marktnische. Das ist so gut, dass ich nach wie vor meine ganze Betriebsentwicklung, zum Großteil eben durch diese Sonderkulturen mitfinanzieren konnte. Ich wollte den Sonderkulturenbetrieb von vornherein nicht weiterentwickeln, sondern ich wollt dieses Geld nehmen um den Betrieb als Organismus einfach, so wie ein Vorbild als Mensch, als bäuerliche Familie wieder, ein neues Verhältnis zwischen Mensch und Natur aufbauen. Mein Ziel ist einfach im Prinzip weg zu kommen von dem technischen Ansatz, dass ich alles beherrschen muss. Dass ich lerne, einfach die Natur, den Boden, die Pflanze, die Tiere zu verstehen und ein neues Verhältnis entsteht. Also für mich ist das eine Partnerschaft zwischen Mensch und Natur. Und Partnerschaft das wissen wir aus der Ehe, funktioniert nur im gegenseitigen Geben und Nehmen."

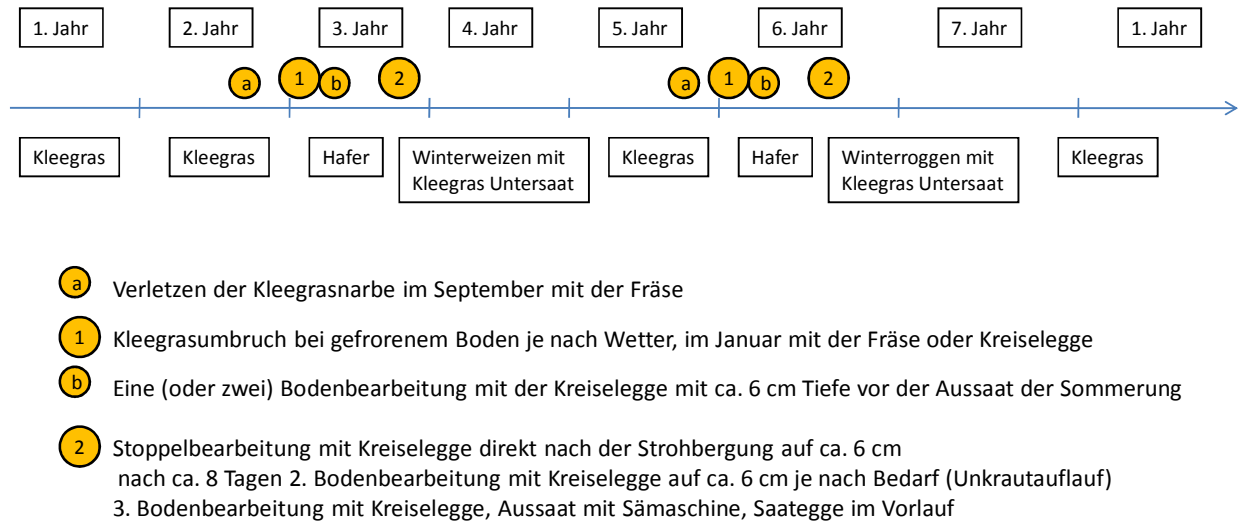


Abb. 32: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B1

In der Grafik der Bodenbearbeitung und Fruchtfolge fällt auf, dass es eine geringe Anzahl von Eingriffen in den Boden gibt. Die Bearbeitung wird mit Fräse oder Kreiselegge so bodenschonend wie möglich durchgeführt, entweder im Winter bei Frost (Kleegrasumbruch) oder im Hochsommer bei Trockenheit. Die Bearbeitungstiefe liegt bei maximal 6 cm. Das Stroh wird komplett abgefahren, da es zur Einstreu im Stall verwendet wird. Es erfolgen keine Pflegemaßnahmen mit dem Striegel oder mit anderen Geräten. Ampfer wird, wenn nötig per Hand entfernt.

5.2.1.2 Beweggründe und Motivation

B1 hat seinen Betrieb bis 1988 sehr intensiv bewirtschaftet und in dieser Zeit eng mit Hochschule, Düngemittel- und Pflanzenschutzindustrie zusammengearbeitet². Im Gespräch nennt er drei Schlüsselereignisse in seinem Leben, die dazu geführt haben, seinen Betrieb auf ökologische Wirtschaftsweise umzustellen:

- Engagement in der Bürgerbewegung gegen den Bau eines Flughafens, aus dem er gelernt hat, sich generell nicht auf Zusagen der Politik zu verlassen
- Engagement in der Landjugendarbeit, die sich intensiv mit Umweltschutzfragen und der christlichen Verantwortung im Umgang mit der Natur auseinandersetzte; diese Diskussionen bewegten ihn dazu, auch seine eigene intensive Arbeitsweise auf dem Betrieb kritisch zu hinterfragen
- Der Einstieg in Sonderkulturen (Anbau von Heil- und Futterkräutersamen) ermöglichte ihm eine finanzielle Unabhängigkeit, den Betrieb nach eigenen neuen Vorstellungen zu gestalten³.

² Zitat (20.05.2008): "ich komm aus einer ganz anderen Ausbildung, Berufsschule Fachschule und habe dann in Zusammenarbeit mit der Hochschule aber auch mit der Pflanzenschutzindustrie sehr schnell gelernt wie man mit alle möglichen Tricks die Natur beherrscht."

³ Zitat (20.05.2008): "Im Prinzip hat es drei Gründe: des eine war der Abwehrkampf gegen den Flughafen, wo ich sehr schnell gelernt - oder eigentlich früh als junger Mensch lernen musste, dass man sich, auf Politik nicht verlassen kann. Das zweite war die Landjugendarbeit. ...aber ich hab des Glück gehabt, mit Leuten

Bereits 1984, noch im konventionellen Betrieb, wurde die pfluglose Bodenbearbeitung nach Ernst Weichel im Betrieb konsequent umgesetzt. Es wurde pfluglos nur mit Schichtengrubber und Zinkenrotor, sowie im Beetverfahren nach Weichel gewirtschaftet. Der Schichtengrubber lockert tief (bis 25 cm) und das Wenden erfolgte mit dem Zinkenrotor auf ca. 6 cm. Nach der Umstellung wurde noch weitere sechs Jahre in diesem Verfahren gewirtschaftet und eine eigene Sätechnik gebaut. Die Säschare waren in Doppelreihen (6 cm Abstand) angeordnet, die es in den Zwischenreihen (20 cm Reihenabstand) ermöglichte das Unkraut zu hacken. Das System wird von ihm folgendermaßen beurteilt: viele Fehler im Unkraut- und Einsatzbereich konnten in den ersten vier Jahren (noch konventionell) mit „Roundup“ beseitigt werden⁴. Nach der Umstellung wurde das Unkraut mit intensiven, mechanischen Maßnahmen wie Hacken und Striegeln reguliert. Diese Maßnahmen werden seit der Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung nicht mehr durchgeführt.

aus der katholischen Landjugend zusammen zu kommen, die zu mir gesagt haben, so wie du Landwirtschaft betreibst, das ist Vergewaltigung der Natur. So geht man mit der Schöpfung nicht um. Ich hab das damals natürlich nicht geglaubt, weil ich erfolgreich war, weil ich ein junger dynamischer Bauer war, der gemeint hat, er kann die Welt beherrschen. Aber die haben mich gezwungen einfach den Weg, den ich damals gegangen bin zu überdenken."

⁴ Zitat (20.05.2008): "Im Nachhinein muss ich sagen das war ein Stück weit Glück das ich das noch konventionell gemacht habe, weil ich einfach viele Fehler mit Roundup beseitigt hab. So einfach ist das. (lacht) Und damit hab ich mir dann einfach in den, vier Jahren eine relativ hohe Sicherheit aufgebaut, das ich mir nach der Umstellung sicher war, ich kann so weiter machen. Ja und dann hab ich bis 94 (kurze Pause), also noch sechs Jahre nach der Umstellung noch mit dem Schichtengrubber weitergearbeitet. Ich hab versucht den chemischen Pflanzenschutz durch technische Maßnahmen, eben durch Doppelreihen, durch Hacken, durch Striegeln und so weiter eigentlich zu ersetzen. Es ist durchaus möglich, dass man mit der Technik das Unkraut beherrschen kann. Aber gleichzeitig haben mir die Kühe ab 92 irgendwann gesagt oder sogar früher, das ist ein Blödsinn was du machst. Du kämpfst mit Hacke mit Striegel mit Lockerung mit dem ganzen Mist gegen Unkraut und Schädlinge usw. und im Stall geben die Kühe immer mehr Milch und du hast immer weniger Probleme, was soll das eigentlich?"

5.2.1.3 Ziele der Bodenbearbeitung

Die Angaben zur Bodenbearbeitung, die der Landwirt in den Gesprächen genannt hat, werden anhand der Ziele dargestellt (Tab. 15).

Tab. 15: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B1

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Bodendruck vermeiden	Kauf eines eigenen Mähdreschers und Umstellung der Rinderfütterung (Heufütterung statt Silage)	Bei maximal 5 t Achslast und 0,8 bar Luftdruck wird der Boden durch die Maschinen so wenig wie möglich verdichtet	Schwere Erntemaschinen für Ganzpflanzen-Silage (GPS) und Mähdrescher haben bei jeder Ernte den Boden intensiv verdichtet.
intensive Bodendurchwurzelung, Boden stabilisieren	Anbau von Mischkulturen, die so zusammengestellt sind, dass alle Bodenschichten gleichmäßig durchwurzelt werden	Wurzeln lockern und stabilisieren den Boden in den Schichten, in die sie vordringen, in einer Naturwiese werden durch die unterschiedlichen Pflanzen verschiedene Bodenschichten durchwurzelt	Bei Monokulturen liegen alle Wurzeln in den gleichen Bodenschichten
Bodenruhe	Untersaaten und Anbau von zweijährigem Klee gras		
Gesamtphotosyntheseleistung optimieren	Aussaat von Klee kräutermischung im Getreide	Nach der Abreife des Weizens kann das Klee gras sofort im Anschluss die Photosyntheseleistung im Sommer übernehmen	Insbesondere im Sommer, nach der Getreideernte, bei der höchsten Sonneneinstrahlung liegen die Felder nicht brach sondern werden genutzt
	Klee grasumbruch am Ende der Vegetationszeit im Winter (Dezember/Januar)	Um die Sonneneinstrahlung im Sommer noch zu nutzen wird das Klee gras so lange wie möglich stehen gelassen	
Anforderungen des Regenwurms/Bodenlebens gerecht werden,	Bodenbearbeitung wird in einer Zeit durchgeführt, in der Regenwürmer nicht aktiv sind (siehe Klee grasumbruch im Winter)	Durch Bodenbearbeitung werden Regenwürmer zerstört	Wenn der Boden gefroren ist und wenn es im Hochsommer sehr heiß und trocken ist, dann ziehen sich die Regenwürmer in tiefere Bodenschichten zurück

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Versorgung des Bodenlebens mit organischer Substanz	Zwischenfruchtanbau, Untersaat mit aromatischen Kräutern, bei Bedarf Mulchen von Aufwuchs	Regenwürmer brauchen organische Substanz auf dem Boden und fressen gerne Wurzeln von aromatischen Kräutern (wie z.B Kresse)	Regenwürmer brauchen genügend Nahrung während ihrer aktiven Zeit
Bodenleben fördern	Bau einer Kompostanlage für den Stallmist	Die Ausbringung von Kompost ist besser für das Bodenleben, da vom Bodenleben besser verwertet werden kann	
Unkrautunterdrückung, Konkurrenzdruck durch Kulturpflanzen schaffen, möglichst komplette Bodenbedeckung,	Aussaart von Klee-kräutermischung im Getreide mit schnellauflaufenden Kräutern wie Kresse und Buchweizen	Die Natur lässt keinen offenen Boden zu, das Getreide und die normale Untersaat mit Klee gras brauchen zu lange um nach der Aussaat den Boden zu bedecken, schnellkeimende Arten bedecken den Boden sehr schnell nach der Aussaat, so dass nicht so viel Unkraut auflaufen kann. Sie frieren im Winter ab	Mit 350 Weizenpflanzen/m habe ich max. 50% Bodenbedeckung, darum wachsen die Unkräuter
	Sätechnik mit nur 6 cm Reihenabstand und Andrücken des Saatguts in der Reihe	Mit 6 cm Reihenabstand sind die 350 Weizenpflanzen/m ² gleichmäßiger auf die Fläche verteilt, die freien Zwischenräume in denen sich Unkraut entwickeln kann sind geringer und bei direkten Bodenschluss keimt das Saatgut schneller	
Unkrautregulierung	Wechsel zwischen Sommerung und Winterung	Bei einem Wechsel von Frühjahrsaussaat und Herbstsaat wird der Entwicklungszyklus der jeweiligen Unkrautarten ständig unterbrochen und ein Massenwachstum von einer Einzelart im Laufe der Fruchtfolge verhindert	Samenunkräuter passen sich den vorhandenen Umweltbedingungen an. Bei einer Aussaat im Frühjahr etablieren sich andere Unkrautarten, als bei einer Aussaat im Herbst

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Unkrautregulierung	Anbau von zweijährigen Klee gras	Ein hoher Klee grasanteil mit Schnittnutzung (3-4 Ernten pro Jahr) unterdrückt das Wachstum der Unkräuter	Dadurch, dass der Rotklee und die Luzerne den Boden beschatten, werden die Wurzelunkräuter (wie Distel) in ihrer Entwicklung aktiv gestört
	Mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat	Das Unkraut und v.a. das Ausfallgetreide muss vor der Aussaat zum Auflaufen gebracht und wieder eingearbeitet werden, damit die Kulturpflanze nach der Aussaat einen Vorsprung bekommt	Durch Bodenbearbeitung bringt man das Ausfallgetreide und Unkrautsamen zum Keimen

In der Tabelle werden einige Maßnahmen unterschiedlichen Zielen zugeordnet, gleichzeitig erfordert eine Zielerreichung oft mehrere Maßnahmen. Anhand der Anzahl der Beziehung der einzelnen Ziele untereinander wird deutlich, dass das Ziel „Anforderungen des Bodenlebens gerecht werden“ einen Schwerpunkt des Ackerbaus von B1 darstellt (Abb. 33).

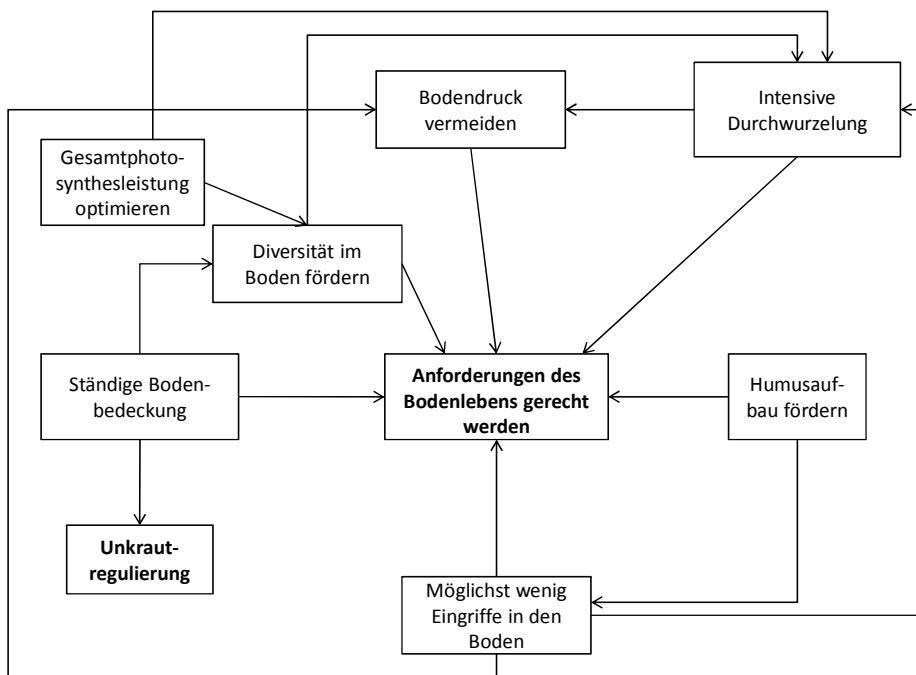


Abb. 33: Ziele der Bodenbearbeitung von B1

Als weiterer Schwerpunkt wird die Unkrautregulierung definiert. Hierbei war die Vielzahl von Maßnahmen (siehe Tab.15), die von B1 zur Zielerreichung durchgeführt werden, ausschlaggebend.

5.2.1.4 Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Um die einzelnen Maßnahmen der Bodenbearbeitung im Gesamtzusammenhang besser verstehen und beurteilen zu können werden sie noch einmal detaillierter dargestellt:

Klee gras umbruch:

Mit dem Ziel, die Anforderungen des Bodenlebens bei der Bodenbearbeitung zu berücksichtigen und die Gesamtphotosyntheseleistung auf den Feldern zu optimieren, findet der Klee gras umbruch im Winter bei leicht gefrorenem Boden statt. Zu diesem Zeitpunkt wird das Bodenleben, vor allem die Regenwürmer am wenigsten in seiner Aktivität gestört. Der an der Oberfläche gefrorene Boden wird mit der Kreiselegge oder Fräse ca. 5-6 cm tief bearbeitet. Die Tiefe ist so gewählt, dass der Wurzelhals der Luzerne abgeschnitten wird, um ein Weiterwachsen der Pflanze zu verhindern. Um die Bearbeitung im Winter zu erleichtern, hat B1 seit zwei Jahren damit begonnen bereits im September die Klee gras narbe mit der Fräse einmal sehr flach zu bearbeiten. So wird die Narbe leicht verletzt und der Frost kann besser in den Boden eindringen, gleichzeitig wird das Bodenleben, das im Herbst noch sehr aktiv ist nicht zu stark belastet. Vor der Aussaat der Sommerung erfolgt noch eine weitere Bodenbearbeitung mit Kreiselegge oder Fräse, damit die Reste der Klee gras narbe vertrocknen können und nicht weiter wachsen⁵.

Unkrautregulierung durch mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat

Das Ausfallgetreide und die auflaufenden Unkräuter werden nach der Ernte des Sommergetreides im „falschen Saatbett“ mechanisch reguliert. Nach der Strohbergung wird sofort mit der Bodenbearbeitung begonnen, um genügend Zeit für die Unkrautregulierung vor der Wintergetreideaussaat zu haben. Eine frühe Aussaat des Wintergetreides (Weizen) ist erwünscht, um bereits im Herbst einen starken Aufwuchs zu etablieren. So hat der Weizen im Frühjahr eine bessere Durchsetzungskraft gegenüber den dann keimenden Unkrautsamen. Mit der ersten Bodenbearbeitung werden das Ausfallgetreide und die im Oberboden vorhandenen Unkrautsamen zum Keimen angeregt. Nach einer Woche werden mit der zweiten Bodenbearbeitung diese Keimlinge zerstört. Besonders erfolgreich gelingt dies bei sehr trockenen Bodenverhältnissen. Wenn bereits nach der ersten Bearbeitung ein intensiver Aufwuchs von Unkraut und Ausfallgetreide beobachtet wird, erfolgt nach der zweiten Bearbeitung noch eine dritte Bodenbearbeitung, um möglichst viel Ausfallgetreide und Unkraut vor der Aussaat zu zerstören. Dabei werden mit der zweiten Bearbeitung einerseits die Keimlinge zerstört und andererseits noch vorhandenen Samen zur Keimung angeregt. Die Aussaat erfolgt zwei bzw. drei Tage nach der letzten Bodenbearbeitung. Im

⁵ Zitat vom 20.5.2008 (gekürzt) "... das Klee gras wird erst bei Vegetationsende ab Anfang Dezember irgendwann umgebrochen. Ich warte bis der Boden leicht gefroren ist. Und zwar deshalb weil dann die Regenwürmer runter gehen und er [der Boden] dann auch austrocknet. Es ist wie gefriergetrocknet. Dann muss die Narbe sauber und zuverlässig auf sechs Zentimeter abgeschält werden, weil der Wurzelhals der Luzerne abgeschnitten werden muss, sonst wächst sie weiter. Zusätzlich hilft dabei im Winter der Frost, damit die Narbe kaputtgeht. Im Frühjahr wird dann noch einmal oder zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet das die Reste vertrocknen. Und dann bekommt man im Prinzip klee gras freie Haferbestände."

Vorlauf der Sämaschine läuft ein Striegel (siehe Bild 31), der in dieser Zeit gekeimtes Unkraut bearbeitet⁶.

Unkrautregulierung über die Fruchtfolge

Ein hoher Klee grasanteil mit Schnittnutzung (3-4 Ernten pro Jahr) unterdrückt das Wachstum der Unkräuter. Durch die Beschattung des Rotklee und der Luzerne werden auch Wurzelunkräuter (wie Distel) in ihrer Entwicklung aktiv gestört. Samenunkräuter passen sich den vorhandenen Umweltbedingungen an. Bei einer Aussaat im Frühjahr etablieren sich andere Unkrautarten, als bei einer Aussaat im Herbst. Bei einem Wechsel von Frühjahrsaussaat und Herbstsaat wird der Entwicklungszyklus der jeweiligen Unkrautarten ständig unterbrochen und ein Massenwachstum von einer Einzelart im Laufe der Fruchtfolge verhindert⁷.

Intensive Bodenbedeckung

Ein weiteres wichtiges Instrument der Unkrautregulierung ist eine dichte Bestandsentwicklung u.a. mit Untersaaten. Die Aussaat des Getreides erfolgt in einem Reihenabstand von 6 cm, mit einer speziellen auf die Bedürfnisse angepassten Sämaschine, die das ausgesäte Getreidekorn nur in der Reihe durch eine bestimmte Vorrichtung in den Boden drückt. Das Saatkorn erhält somit den optimalen Bodenschluss und kann so das Bodenwasser schnell und effektiv zur Keimung nutzen. Im Gegensatz zum Unkrautsamen zwischen den Reihen, der nicht angedrückt wird⁸.

Bei der Aussaat des Wintergetreides wird gleichzeitig eine Untersaat (Kräuterklee grasmischung) ausgesät. Diese Klee graskräutermischung enthält auch Arten wie die Kresse und Buchweizen, die zwar im Winter abfrieren, aber sehr schnell auflaufen und so den Boden schnell bedecken⁹.

⁶ Zitat bei Aussaat am 29.08.2008: "...der Boden wurde dreimal mit dem Kreiselgrubber und vorher mit der Fräse umgebrochen. Früher hab ich auch gedacht weniger Überfahrten, wegen der Energieeinsparung wären besser, aber diese Einsparung lohnt sich nicht, wenn ich dann zu viel Unkraut habe. Darum versuche ich sehr schnell das Ausfallgetreide und die Unkräuter zum keimen zu bringen. Hier war der Hafer fast alles im Lager gelegen. Ich bin immer nur in eine Richtung mit dem Mährescher gefahren um den Hafer zu ernten. Trotzdem ist viel liegen geblieben und somit ist noch viel Hafer aufgegangen. Darum bin ich dreimal mit der Kreiselegge gefahren, dass auch wirklich alles aufgeht."

⁷ Zitat 20.05.2008(gekürzt): "...bei hohem Klee grasanteil mit 40 % Klee gras in der Fruchtfolge und mit Getreide.. Die Fruchtfolge ist so zusammengestellt, dass ich im Block zwei Jahre Klee gras habe und dann gleich wieder einen Wechsel Sommerung und Winterung. Ich sag immer eine idiotensichere Fruchtfolge vom Aufbau her, weil man zum einen die Bodenruhe hat, dann Sommerung, Winterung, Bodenruhe, Sommerung, Winterung. Wer Ahnung hat, vom Pflanzenbau weiß, durch die Bodenruhe können sich die Wurzelunkräuter nicht stark vermehren und durch den Wechsel Sommerung und Winterung können sich Samenunkräuter nicht stark vermehren, weil im Frühjahr andere Unkräuter kommen, wie im Herbst bei der Winterung."

⁸ Zitat 20.05.2008: "...das war mit der Grund warum ich jetzt vor drei Jahren eine Sätechnik angeschafft habe mit 6 cm Reihenabstand. So komme ich auf 350 Pflanzen pro Quadratmeter. Mit einer exakten Standortverteilung. Unsere Kulturpflanzen sollten eigentlich auf ein rückverfestigtes Saatbett abgelegt werden. So hat es [das Samenkorn] wirklich einen guten Bodenschluss und einen guten Wasserkontakt. Wenn dies nur in der Saatreihe geschieht, dann luft das Getreide durch eine solche Saatechnik um paar Tage früher auf."

⁹ Zitat 20.05.2008: "...sondern ich s mit dem Weizen eine Mischung aus Kresse, einjährige Luzerne, Buchweizen und Phazelia. Das sind die Arten die über den Winter abfrieren, die aber gleichzeitig sehr schön auflaufen. Also der Weizen läuft ja schnell auf, das ist keine Frage. Aber ich brauche zusätzlich eben zu der 50% Bodendeckung, die der Weizen schafft, Arten, die den Boden bedecken. Aber die Klee kräutermischung

Aufbau einer stabilen Bodenstruktur

Die Bodenlockerung erfolgt durch spezielle Förderung des Bodenlebens (Regenwürmer). Insbesondere wird darauf geachtet die Bodenbearbeitung in Zeiträume zu legen, in denen die Regenwürmer im Boden nicht aktiv sind. Dies ist im Hochsommer bei trockenem Oberboden und bei gefrorenem Boden im Winter der Fall¹⁰. Gleichzeitig wird darauf geachtet, dass dem Bodenleben immer genügend Nahrung in Form von organischer Substanz zur Verfügung steht. Um den Boden in allen Bodenschichten zu lockern, werden bei der Zusammensetzung der Klee-graskräutermischung und bei der Verwendung von Untersaaten Pflanzen mit unterschiedlichen Durchwurzelungstiefen ausgewählt¹¹.

Bodenverdichtung vermeiden

Die Bodenlockerung mit Hilfe des Bodenlebens und der Pflanzenwurzeln hat nur Erfolg, wenn konsequent jegliche Verdichtung beim Befahren der Felder vermieden wird. Alle Felder werden nur im abgetrockneten Zustand, mit einer maximalen Achslast von 5 t und einem Luftdruck von 0,8 bar befahren. Seit 1994 hat der Betrieb einen eigenen Mäh-drescher mit einer Schnittbreite von 2,5 Meter. Dieser Mäh-drescher erfüllt die obengenannten Bedingungen bezüglich der Achslasten und ermöglicht bei der Ernte die notwendige Flexibilität, um die optimalsten Bodenbedingungen abzuwarten¹². Zur gleichen Zeit entscheidet sich B1 seine Kühe nur noch mit Heu zu füttern, um die Ernte mit eigenen leichten Maschinen selbst durchführen zu können¹³.

die ich mit aussäe, das sind mehrjährige Arten, die sind zu langsam. Also darum eben die - ich sag da ganz gerne Deckfrüchte - die ich da mit säe. Die helfen, dass kein Unkraut aufläuft."

¹⁰ Zitat vom 20.05.2008 (gekürzt): "...denn wird des Klee-gras dann praktisch erst bei Vegetationsende ab Anfang Dezember umgebrochen. Ich warte bis der Boden leicht gefroren ist. Und zwar deshalb, weil dann die Regenwürmer tiefer nach unten gehen, die sind im Winter, bei gefrorenem Boden nicht mehr aktiv."

¹¹ Zitat vom 20.05.2008 (gekürzt) "Und natürlich als zweites durch die Bodendurchwurzelung den Boden stabilisiere. Wenn ich versuche im Ackerbau, ähnliche Verhältnisse zu schaffen wie im Grünland, wie intensive Bodendurchwurzelung, Bodenruhe, Boden stabilisieren, mit welcher Begründung muss ich im Ackerbau dann eine Bodenlockerung durchführen? Es gibt keinen praktischen Grund dafür, den Boden zu lockern."

¹² Zitat vom 20.05.2008: "...und ich fahre konsequent, mit keinen Maschinen mehr auf die Felder, die diese Bedingungen nicht erfüllen. Also dass ich, das was mich früher so geärgert hat, dass mir die Technik immer alles kaputt gemacht hat, dass ich das ändere. Durch die Verringerung der Achslasten wird insgesamt der Bodendruck jetzt eben konsequent verringert und so kann ich von der Technik her auf eine Bodenlockerung verzichten."

¹³ Zitat vom 20.05.2008: "...mit der Hauptgrund für mich, warum ich komplett auf Heufütterung umgestellt hab, war dass ich wegkommen wollte von der schweren Erntetechnik. Die Maschinen haben mir laufend den Boden wieder zusammengefahren. Also hab ich komplett auf Heuernten umgestellt das GPS aus der Fruchtfolge raus genommen. Ich hab dann entsprechend Klee-gras in die Fruchtfolge hineingenommen. Und gleichzeitig haben wir im Betrieb eine Käserei gebaut. Das war natürlich auch mit ein guter Grund, warum ich Heu füttern kann."

5.2.1.5 Interpretation

Bei der Auswahl des Fallbeispiels war die langjährige Erfahrung (über zehn Jahre) mit dem Bodenbearbeitungssystem eine der wichtigsten Kriterien. In dieser Zeitspanne kann sich durch einen durchgehenden Prozess von Handlungen, Beobachtungen, Reflektion und Austausch mit anderen, eine neue Handlungsroutine in den Abläufen der Bodenbearbeitung einstellen. Die betrieblichen Abläufe können sich über die unterschiedlichsten Wetterverhältnisse und Bodenverhältnisse der Jahre entwickeln und festigen. Zusätzlich war es wichtig, dass der Landwirt sich positiv entschieden hat Integritätsansätze umzusetzen. Dies bedeutet, er versucht die Boden-Pflanzen-Beziehung als lebendiges Eigen-System zu verstehen und seine Handlungen und Entscheidungen durch Förderungsmaßnahmen darauf abzustimmen. Diese Grundhaltung hat den Blick des Landwirts geprägt. Er ist auf der Suche nach Merkmalen lebendiger Systeme und orientierte sich an der Natur, wie zum Beispiel den vielfältigen Kräuter- und Gräserzusammensetzungen in Naturwiesen und dem stufenartige Aufbau eines natürlichen Urwaldes. Diese Schulung führt zu einem Erkenntnisgewinn und gleichzeitig zu einem anderen Blick und einer anderen Wahrnehmung auf seinen Betrieb.

Als äußere Rahmenbedingung gilt für dieses Fallbeispiel, dass der Landwirt auf Grund des Anbaus von Sonderkulturen wirtschaftlich unabhängig ist. Somit hatte er die finanzielle Möglichkeit einige Sachen auszuprobieren, ohne die Angst zu haben, seinen Betrieb zu ruinieren. Eine innere, biographische Rahmenbedingung ist seine Ehrfurcht vor der Schöpfung aus seinem christlichem Glauben heraus, sein Respekt für die Natur und seine innere Verpflichtung seinen Betrieb in diesem Sinne zu führen. Diese Konstellation ermöglicht es dem Bauern seinen Weg von Anfang an mit sehr großer Konsequenz zu verfolgen. Im Gegensatz zu Kritikern, die aus dieser Situation schließen, dass sich „nur“ finanziell abgesicherte Bauern diese Experimente leisten können, ist es in diesem Fall als Stärke zu beurteilen. Diese Entscheidung unterstützt die Glaubwürdigkeit des Landwirts, da er weiterhin an seiner Idee und Bodenbearbeitung festgehalten hat, obwohl er durchaus die Möglichkeit gehabt hätte, den lukrativen Betriebszweig der Sonderkulturen intensiver auszubauen. Er beobachtet, wie jedes Jahr durch die vom Lohnunternehmer durchgeführte Ernte der Ganz-Pflanzen-Silage (GPS), der mühsam aufgebaute, lebendige Boden wieder zerstört wird¹⁴ und entscheidet sich ab 1994 seine Fruchtfolge und seine Fütterung radikal umzustellen und seinen Boden nur noch schonend und deswegen sehr flach zu bearbeiten. Er kauft sich einen eigenen Mähdrescher, um jeden Bodendruck konsequent zu vermeiden. Seit 1994 hält er konsequent an seiner festgelegten Fruchtfolge fest und reagiert nicht auf kurzfristige Marktnachfragen oder Preisanstiege von Marktfrüchten.

¹⁴ Zitat (20.05.2008): "Was mich schon lang gestört hat war, ich hab damals Getreide-Leguminosen GPS angebaut, für die Kühe als Silage und als Maisersatz. Zur Ernte ist dann der Häcksler gekommen und die Kipper, die große Technik oder eben der große Mähdrescher. Und die haben alles, was ich vorher versucht habe an lebendigem Boden aufzubauen, wieder kaputt gemacht."

Der Landwirt selbst gibt zu, dass die Konsequenz in seinen Entscheidungen in der Vergangenheit zwangsläufig auch zu einigen Misserfolgen führte, die er aber in seinem Lernprozess für unumgänglich hält, um zum Erfolg zu gelangen¹⁵.

Im Mittelpunkt des Ackerbaus steht für B1 die Förderung des Bodenlebens. In der Anfangszeit liegt der Fokus vor allem bei den Regenwürmern. Der Regenwurm ist dabei nur ein Indikator, der für ihn als Landwirt am leichtesten zu sehen und zu beobachten ist. B1 vertieft sich in den Lebenszyklus des Regenwurms, die Schwankungen in der Jahrespopulation, um zu beobachten durch welche Maßnahmen er die Regenwürmer zusätzlich bedarfsgerecht fördern kann. Entscheidend sind dabei die Zeiträume im Jahresverlauf, in denen auf Grund des Ackerbaus der Regenwurm keine optimalen Lebensbedingungen auf dem Feld vorfindet, im Vergleich zum Grünland. Die notwendige Bodenlockerung und -durchlüftung erreicht er zum einen durch intensive Pflege und Förderung der Regenwurmpopulation, sowie des gesamten Bodenlebens und durch Anbau von einer Vielzahl von Pflanzen mit unterschiedlicher Durchwurzelungstiefe und Durchwurzelungsintensität. Hierbei lässt er sich von Frau Dr. Kutschera beraten, die intensive Forschung zu Wurzelbildern von Pflanzen durchgeführt hat (Kutschera, et al., 2009). Die Fruchtfolge, der Anbau von Zwischenfrüchten, Untersaaten und die Zusammenstellung der Mischungen werden davon beeinflusst. Um den Humusaufbau noch stärker zu unterstützen baut B1 eine Kompostierungsanlage für den Stallmist. Der Stallmist wird nur noch als Kompost auf seine Flächen ausgebracht.

Besonders bemerkenswert sind das Vorgehen des Landwirts und die intensive Auseinandersetzung mit den Grundsätzen der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Der Landwirt beschäftigt sich im intensiven Selbststudium mit den Anforderungen des Bodens und der Bodenfruchtbarkeit. Durch seine positiven Erfahrungen aus der Tierhaltung und das daraus entstandene Verständnis wie die Natur auf seinem Hof problemlos funktionieren kann, hat er Selbstvertrauen gewonnen. Dieser Erfolg hat ihm gezeigt, dass er seine korrigierenden Eingriffe als Landwirte auf ein Minimum reduzieren kann, wenn er gezielt die natürlichen, wesentlichen Vorgänge im Boden unterstützt und fördert. Die Kernfrage seiner Entscheidungsfindung und der Fokus seiner Beobachtungen im Boden ist es, herauszufinden wie er den natürlichen Aufbau der Bodenfruchtbarkeit am effektivsten fördern kann. Ihm geht es dabei hauptsächlich um die Qualität der Wirksamkeit seiner Maßnahmen und nicht in erster Linie um das Verhältnis Nutzen und Aufwand der Maßnahme. Dabei verfolgt er seine eigenen anhand der Natur erlernten und abgeleiteten Ideen und vertraut auf seine Erfahrungen, Urteilsfähigkeit und intuitiven Handlungen, wobei die Entwicklung in einer positiven, aufsteigenden Spirale abläuft. Ganz im Gegensatz zum Trend in der Landwirtschaft, die verstärkt auf externe Beratung auch in der Bodenbearbeitung zurückgreift (Uekötter, 2007). Gleichzeitig lässt er seine Ergebnisse durch die Zusammenarbeit mit der Wissenschaft in vielen Bereichen von unabhängiger, dritter Stelle überprüfen. Diese Vorgehensweise würde man nicht unbedingt bei einem Landwirt erwarten. Da B1 aber bereits viele Vorträge über seine Bewirtschaftungsweise gehalten hat, ist davon auszugehen, dass er erfahren hat, dass seine Zuhörer ihn für glaubwürdiger halten, wenn er seine Hy-

¹⁵ Zitat (20.05.2008): "...da war ich sicher die letzten Jahre, von der Leistung her, was ich wirklich dann an Getreide geerntet hab nicht sehr erfolgreich. Zum einem, weil ich natürlich mit sehr hohem Risiko arbeite. Ich ein System fahre, wo jeder sagt das geht nicht. Und da habe ich auch genügend Lehrgeld bezahlt. Aber mein Gott mhm (zögert) leider ist es so, das man eigentlich nur durch Fehler lernt."

pothesen mit wissenschaftlichen Zahlen untermauert. Wie oben erläutert bedeutet dies jedoch nicht, dass er seine Arbeitsweise geändert hat, weil dies wissenschaftliche Untersuchungen belegen. Im Gegenteil, in der Zusammenarbeit mit Frau Kutschera sagt er zwar, dass er viel gelernt hat, aber dass sie kaum Antworten auf seine speziellen Fragen wusste.

Entscheidend ist für den Landwirt die Frage, wie komme ich dem natürlichen Bodengebilde (der Wesensgestalt des Bodens) am nächsten? Jahrelang hat er als Ackerbauer gelernt, er muss seinen Boden so tief wie möglich lockern, um den Pflanzen und ihren Wurzeln optimale Wachstumsbedingungen zu bieten. Bei seinen Naturbeobachtungen erkennt er aber, dass es durchaus Beispiele gibt, bei denen der Boden niemals gelockert wird, die Pflanzen sich dennoch gut entwickeln können. Er schließt für sich daraus, dass es vielmehr darum geht, den Boden nicht zu verdichten, denn dann muss er auch nicht mehr mechanisch gelockert werden. Aus diesem positiven Umkehrschluss ergibt sich eine Vielzahl von schonenden Maßnahmen bei seiner Bodenbearbeitung. Die Bodenverdichtungsgefahr ist am höchsten, wenn bei zu nassen Bodenverhältnissen gearbeitet wird. Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung ist eine entscheidende Einflussgröße, dies war schon vor dem Einsatz von schweren Maschinen und Geräten im Ackerbau bekannt (Heuser, 1928). Die geringe Anzahl der Bodenbearbeitungseingriffe in der Fruchtfolge ergeben einen größeren Spielraum trockene Bodenverhältnisse im Hochsommer abzuwarten, um nach der Ernte des Sommergetreides die Bodenbearbeitung durchzuführen. Die Felder nach der Wintergetreideernte müssen nicht bearbeitet werden, da hier bereits die Folgefrucht als Untersaat ausgesät wurde. Der radikalste Eingriff in den Boden, der Klee grasumbruch erfolgt in der Zeit der natürlichen Bodenruhe, im Winter bei leicht gefrorenem Boden.

Die beschriebenen Maßnahmen zur Unkrautregulierung reichen aus, um eine Ausgewogenheit zwischen Unkräuter und Kulturpflanze, zum Vorteil der Kulturpflanze herzustellen. Seine direkten Unkrautregulierungsmaßnahmen erfolgen zwischen Ernte und Aussaat. Ein System, das sich über Jahrzehnte bewährt hat (Kahnt, 1997). Der Anteil der Kräuter-Klee gras Mischung, die als hochwertiges Futter für die Milchkühe verwertet werden kann, entschärft zum Großteil den Unkrautdruck auf den Betriebsflächen. Die Aussaat von Untersaaten ist auf diesem Betrieb problemlos möglich, da die Niederschlagsmengen ausreichen und so keine Wasserkonkurrenz zu den Kulturpflanzen entsteht. Um Überwuchs der Untersaaten durch die heutzutage sehr kurzstrohigen Getreidesorten zu vermeiden, setzt der Landwirt in seinen Mischungen kein Weidelgras und keinen Ackerrotklee ein. Er bevorzugt den Wiesenrotklee und langsam wachsende Luzernearten, zum Teil auch Mischungen mit einjähriger Luzerne. Gleichzeitig ist die Kräuter-Klee gras Mischung so aufgebaut, dass die unterschiedlichen Bodenschichten bis in eine Tiefe von drei bis vier Metern gleichmäßig durchwurzelt werden (Braun, 2008) und so den Boden lockern, sowie den Humus in tiefere Schichten verteilen.

Die Erfolgskontrolle erfolgt durch den Bauern. Im vorliegenden Fallbeispiel gräbt der Bauer seit 1995 einmal im Jahr ein 1,5 Meter tiefes Loch in eines seiner Felder, um zu sehen wie das Bodenprofil und die Bodendurchwurzelung sich entwickelt und aufbaut. Er beobachtet die Anzahl der Regenwürmer auf seinen Feldern und weist daraufhin, dass im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen die Regenwürmer/m² auf seinen Feldern erfasst wurden. Er beschreibt die Beobachtungen und Veränderungen, die er auf seinen Betrieb gemacht hat und die er vor allem auf die Bodenbearbeitung zurückführt. Dabei

wird erfahrbar, dass im Laufe der Jahre das System als Ganzes immer unproblematischer funktioniert. Ein Grund dafür könnte sein, dass die verschiedenen Teilmaßnahmen immer besser verstanden worden sind und ineinander greifen.

5.2.2 Fallbeispiel 2

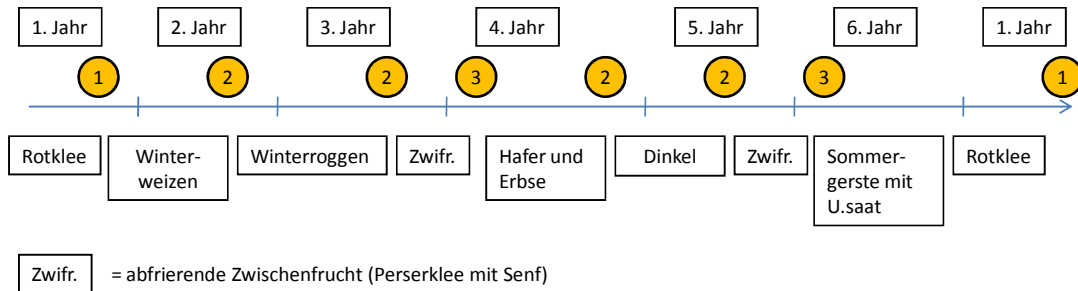
Im Rahmen der flachen Bodenbearbeitung im Ökolandbau ist B2 einer der ersten Landwirte, der seine Böden nur noch flach bearbeitet. Er ist einer der Pionier der flachen Bodenbearbeitung im Ökolandbau. Der Landwirt bewirtschaftet seit 35 Jahren (1973) seinen Betrieb ökologisch. Er ist 1989 von dem Anbauverband Demeter zu Bioland gewechselt. B2 hat nach der Lehre auf dem elterlichen Betrieb den Betrieb von seinem Vater übernommen und intensiv konventionell bewirtschaftet. Nach der Umstellung auf Ökologischen Landbau berichtet er von massiven Unkrautproblemen, wobei sich die guten und schlechten Ernten im Gesamtbetrieb immer die Waage halten. Bereits zu Beginn der Umstellung hat er sich für seinen Normalpflug extra flache Schare anfertigen lassen, um möglichst flach zu pflügen.

5.2.2.1 Betriebsbeschreibung

Die allgemeinen Betriebsdaten sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tab. 16: Betriebsbeschreibung B2

Betriebsgröße	Ca. 40 ha, (davon 50 % gepachtet), davon 21 ha Ackerbau
Höhenlage über NN	420 m
Jahresniederschlagsmenge	700 mm
Durchschnittstemperatur	6,8 °C
Bodentyp und -art	Muschelkalkverwitterungsboden, lehmiger Ton
Tierhaltung	10 Milchkühe mit Nachzucht und 2-3 Mast-schweine
Fruchtfolge	Rotklee, Winterweizen, Winterroggen, Hafer/Erbsengemenge, Dinkel, Sommergerste, (Zwischenfrucht vor Sommergetreide mit Perserklee/Senf
Bodenbearbeitung	Seit Ende der 70 er Jahre mit dem 1. Stoppelhobel auf Teilflächen; Seit 1989 ausschließlich flache Bodenbearbeitung 8-10 cm mit Stoppelhobel
Maschinen	eigener Mähdrescher 110 PS Schlepper Säkombination mit Kreiselegge
Weizenertag in dt/ha	Ertragsspanne von 35 dt/ha – 60 dt/ha, im Durchschnitt 45 dt/ha Weizen
Sonstiges	Direktvermarktung der erzeugten Produkte; Enge Zusammenarbeit mit der Firma Zobel, Präsentation des Stoppelhobels auf Feldtagen und Ansprechpartner für Landwirte, die einen Stoppelhobel gekauft haben



- 1 Umbruch Rotklee:
Anfang September 1. Mal Stoppelhobel möglichst flach, dann 2 Wochen liegen lassen (evtl. mit Kreiselegge Boden fein machen)
Nach zwei Wochen Stoppelhobel für Saatfurche (Winterweizen) und sofortiger Aussaat (kein Tag dazwischen) mit Säkombination mit Kreiselegge
- 2 Bearbeitung zur Herbstsaat:
Sobald das Stroh abgefahren ist, Stoppelbearbeitung mit Stoppelhobel (Tiefe 6 cm)
Saatfurche* mit Stoppelhobel direkt vor der Aussaat des Wintergetreides, bzw. der Zwischenfrucht
Aussaats mit Säkombination, mit Kreiselegge
- 3 Bearbeitung nach Zwischenfrucht:
Erste Bearbeitung mit Stoppelhobel bei gefrorenem Boden (Dezember bis Februar)
Zweite Bearbeitung (Saatfurche) mit Stoppelhobel direkt vor der Aussaat des Sommergetreides
Aussaats mit Säkombination, mit Kreiselegge

* Bei starker Verunkrautung ist auch eine 3. Bearbeitung mit dem Stoppelhobel möglich

Abb. 34: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B2

Die Bodenbearbeitung erfolgt mit dem Stoppelhobel und der Kreiselegge. Die Kreiselegge wird sehr flach (3-4 cm tief) eingestellt und mit etwa 300 Umdrehungen gefahren. Die Kreiselegge kommt hauptsächlich in Kombination mit der Sämaschine zum Einsatz. Es werden keine Pflegemaßnahmen, wie Hacken oder Striegeln durchgeführt. Der wenige Mist der zehn Kühe wird auf die Dauergrünlandflächen ausgebracht. Etwa 50 % des Strohs werden abgefahren. Dabei wird hauptsächlich das Weizenstroh abgefahren und bei Bedarf noch Dinkel- und Haferstroh. Das Roggenstroh wird gehäckselt und auf dem Feld gelassen.

5.2.2.2 Beweggründe und Motivation

Der Wunsch von B2 war es den elterlichen Betrieb zu verlassen und eine Ausbildung als Schlosser oder Zimmerer zu absolvieren. Auf den Wunsch seines Vaters, der 70 % kriegsbeschädigt war, machte er doch eine landwirtschaftliche Lehre auf dem elterlichen Betrieb. Als junger Landwirt führte er den Betrieb, wie er es auf der Landwirtschaftsschule gelernt hatte sehr intensiv konventionell, was wiederum zu Auseinandersetzungen mit dem Vater geführt hat. In einem sechswöchigen Winterseminar über Ökolandbau, zu dem ihn sein Vater anmeldet, lernt B2 die Ideen der Ökologischen Landwirtschaft kennen. Als gläubiger Christ überzeugen ihn vor allem die Argumente, mit der Schöpfung verantwortungsvoll umzugehen und er setzt sich intensiv mit der Frage auseinander, wie er diese Anforderungen auf seinen Betrieb umsetzen kann¹⁶. Die zusätzlichen betriebswirtschaftlichen Erfolge der bereits ökologisch wirtschaftenden Betriebe überzeugen ihn dann letztendlich und er stellt 1973 seinen Betrieb um.

Nach etwa zehnjähriger Versuchsphase verschiedener Methoden wie z.B. Hacken und Striegeln bei Getreide, hat er ausreichend Erfahrung im ökologischen Ackerbau gesammelt und fühlte sich auf mögliche Herausforderungen gut vorbereitet. Eine Maschinenfirma im Nachbarort entwickelt einen Pflug, mit dem eine sehr flache Bodenbearbeitung möglich ist „den Stoppelhobel“. Gemeinsam mit zwei konventionellen Kollegen kauft der Landwirt einen der ersten Prototypen. Er selbst bezeichnet den ersten Stoppelhobel als ein „Gerät zum abgewöhnen“. Nachdem einer der Kollegen den Betrieb aus gesundheitlichen Gründen aufgeben muss und der andere das Gerät nicht weiter benutzt, hat B2 Gelegenheit, das Gerät intensiv auszuprobieren. Ihn überzeugten von Anfang an die flache Bearbeitung und das sehr gute Mischen des Bodens. Nach der Heirat (1990) war es ihm sehr wichtig den Betrieb auch arbeitswirtschaftlich zu optimieren, um den Hof ohne Fremdarbeitskräfte bewirtschaften zu können und gleichzeitig genügend Zeit für die Familie zu haben¹⁷. Als Hauptgrund für die Umstellung der Bodenbearbeitung nennt er die flachgründigen Böden und die Unkrautproblematik auf dem Betrieb¹⁸.

¹⁶ Zitat vom 02.06.2008: „...Und die haben den Glauben in den Vordergrund gestellt und sich mit der Frage auseinandergesetzt, wie man als Christ verantwortlich mit dem Boden umgeht. Die haben damals, also vor 38 Jahren schon gesagt, wenn man so weitermacht, zerstören wir unsere Lebensader. Das Wasser wird immer schlechter. Und dann habe ich immer gedacht, also eigentlich ist ja das gar nicht so schlecht, was die hier erzählen. ...Nach der Umstellung war es auch, von den Eltern her oft eine große Belastung, ich war ja noch nicht verheiratet. Da habe ich oft gesagt, jetzt wird aufgehört, wir können nicht mehr so weiter machen. Naja, aber ich hab es dann doch durchgehalten. Und als ich meinem Vater dann vorgerechnet habe, in unserem schlechtesten Biojahr, das war 1976, in der extremen Trockenheit. Da hatten wir dann am Jahresende noch 7000.-DM mehr verdient, wie in unserem besten konventionellen Jahr.“

¹⁷ Zitat vom 2.06.2008: „1990 hab ich dann geheiratet. Und dann hab ich den Betrieb ziemlich vereinfacht. Entweder du gründest eine Familie und bist für die Familie da, oder du hast 50 Kühe, dann muss die Familie zurücktreten. Und ich habe lieber die Familie vorgezogen. Und das habe ich bis zum heutigen Tag nicht bereut. Wenn man die ganze Entwicklung in der Landwirtschaft sieht, wenn ich meinen Nachbar mit 4000 Mastschweine sehe, wie der jammert, er verdient nichts mehr. Laut Beratung müsste er jetzt 8000 Mastschweine machen, dann muss er aber mindestens zwei Mann einstellen, dann ist er noch schlechter dran als jetzt.“

¹⁸ Zitat vom 2.06.2009: „Der flachgründige Acker, der hat mich überzeugt vom Stoppelhobel. Weil ich dann auch keine Steine mehr aufsammeln musste. Und das Unkrautproblem hat sich wirklich zusehends gebessert. Und in den anderen Böden auf denen ich mit konventionellen Geräten gut arbeiten konnte, da war also ein Chaos hoch drei.“ B2: „ja. ja. und dann habe ich da auch konsequent den Stoppelhobel eingesetzt und siehe da, es hat funktioniert.“

5.2.2.3 Ziele der Bodenbearbeitung

Die Angaben zur Bodenbearbeitung, die der Landwirt in den Gesprächen genannt hat, werden anhand der Ziele dargestellt (Tab.17).

Tab. 17: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B2

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Die natürlichen Bodenschichten beibehalten	Flache Bearbeitung	Es wird kein „totes Material“ von tiefen Schichten nach oben geholt,	Es gibt keine Probleme mehr mit den vielen Steinen bei seinen flachgründigen Böden und weniger Unkraut
Bodenverdichtung vermeiden	Bearbeitung nur bei trockenen Bodenverhältnissen	Ein nasser kalter Boden hat nicht die nötige Tragfähigkeit	Fahrspuren die entstehen, wenn man bei zu nassen Boden auf das Feld fährt, sind ein Jahr lang auf dem Feld erkennbar
Bodengare fördern	Maximal bis in eine Tiefe von 8 cm arbeiten	Die Bodenumsetzung erfolgt im Boden durch das Bodenleben; je flacher der Boden bearbeitet wird, umso weniger wird das Bodenleben in seiner Aktivität beeinträchtigt	Schon ab dem zweiten Jahr der flachen Bearbeitung ist der gewünschte krümeligen Zustand erreicht, die krümelige Bodenstruktur setzt sich unterhalb der Bearbeitungstiefe fort, es ist kein Bearbeitungshorizont erkennbar
	Sofortige Aussaat des Wintergetreides nach der zweiten Bodenbearbeitung	Nach der Bodenbearbeitung kann ein Regenschauer die gelockerte Bodenstruktur zerstören, eine weitere Bearbeitung ist z.Tl. erst viel später möglich, da der Boden zu dieser Zeit schlecht abtrocknet	
	Sofortige Bodenbearbeitung nach der Getreideernte im Sommer	Durch eine flache Bodenbearbeitung werden die Erntereste oberflächlich in den Boden eingearbeitet, das Bodenleben erhält Nahrung und der Bodenaufbau durch das Bodenleben kann sofort erfolgen	

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Unkrautregulierung	Frühe Aussaat des Winterweizens	Wenn der Weizen gut entwickelt in den Winter geht, hat er, auf den schweren Böden im Frühjahr einen Vorsprung und wird nicht so einfach von Unkraut überwuchert	
	Sofortige Bodenbearbeitung nach der Getreideernte im Sommer	das Ausfallgetreide und das Unkraut wird zum Keimen angeregt, mit der zweiten Bearbeitung vor der Aussaat kann dies dann reguliert werden	
Distelbekämpfung	mehrmalige Bodenbearbeitung im Sommer, nach der Getreideernte	Im August entwickelt sich die Distel sehr schnell, innerhalb von 10-14 Tagen kann sie eine Größe von 10 cm erreichen. Durch Bearbeitung mit dem Stoppelhobel bei einer Distelhöhe von 10 cm wird die Distel deutlich in ihrer Entwicklung gestört und dezimiert	
	Sofortige Aussaat des Getreides/ bzw. der Zwischenfrucht	Es muss eine Bodenbedeckung erfolgen, um den Konkurrenzdruck durch Kulturpflanzen zu erhöhen, damit sich die Distel nicht wieder ausbreiten kann	
Abstimmung des Anbaus auf Eigenschaften der verschiedenen Böden	Flexible Anpassung der Fruchtfolgeglieder an die Bodenverhältnisse	Bei der Frühljahrsaussaat wird auf schweren Feldern, die lange feucht sind, Hafer gesät; Hafer liebt einen feuchten Boden und kann sich darauf gut entwickeln; Wenn die Nährstoffe im Boden noch für einen weiteren Getreideanbau ausreichen, dann wird nach dem Roggen noch ein Dinkel gesät	

Ziel	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Natürliche Bodenbedeckung	Sofortige Bodenbearbeitung nach der Getreideernte	Durch eine schnelle Bearbeitung keimt Ausfallgetreide und Unkraut schnell und die Bodenbedeckung reicht bis zur Aussaat des Wintergetreides aus	
Fütterung des Bodenlebens	flaches Einarbeiten von organischer Substanz	Flach eingearbeitetes Stroh und Grünmasse können von dem Bodenleben gut umgesetzt werden	

In der Tabelle wird ersichtlich, dass einige Ziele oft mehrere Maßnahmen beinhalten. Anhand der Anzahl der Beziehung der einzelnen Ziele untereinander wird deutlich, dass das Ziel "Bodengare fördern" einen Schwerpunkt des Ackerbaus von B2 darstellt (Bild 35).

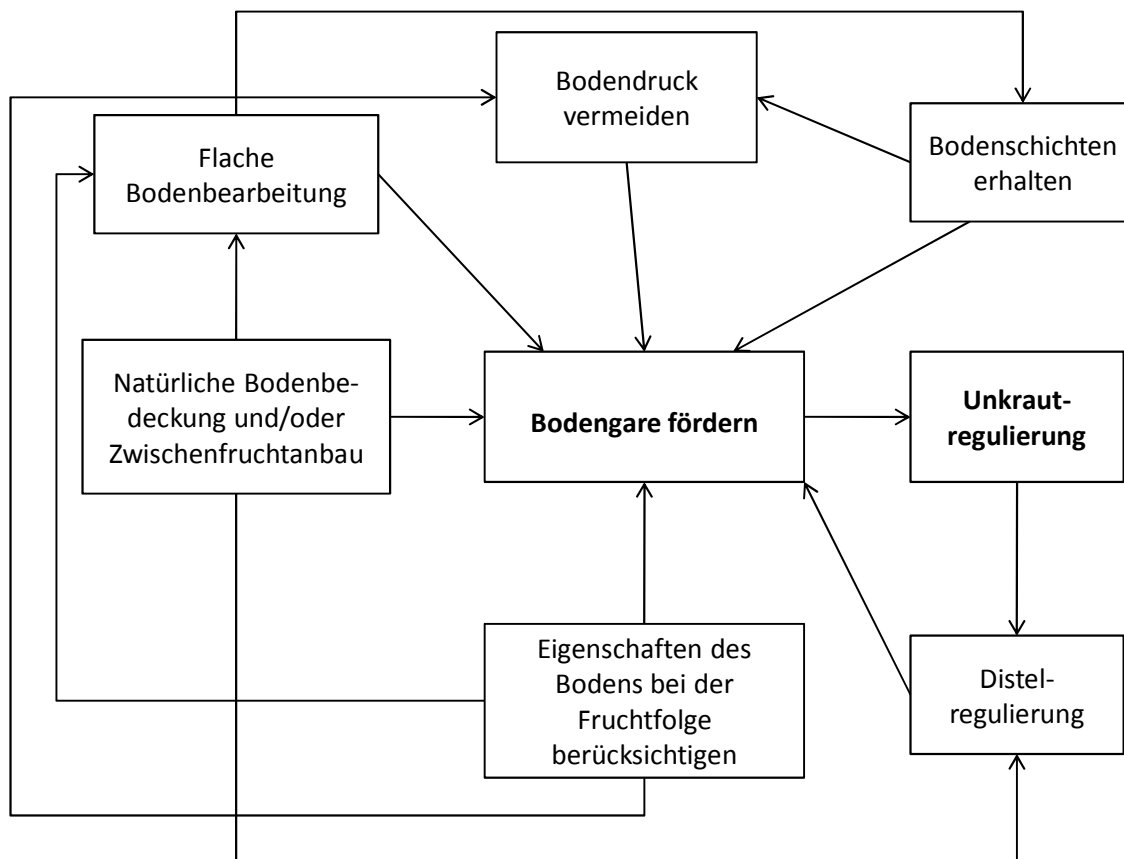


Abb. 35: Ziele der Bodenbearbeitung von B2

Als weiterer Schwerpunkt wird die Unkrautregulierung definiert. Hierbei war die Vielzahl von Maßnahmen (siehe Tab. 17), die von B2 zur Zielerreichung durchgeführt werden, ausschlaggebend.

5.2.2.4 Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Im Zentrum der Bodenbearbeitung steht bei B2 der Stoppelhobel. Durch jahrelange Auseinandersetzung und Erfahrung mit dem Gerät ist er ein Experte dieses Bodenbearbeitungsgeräts geworden, dass er insbesondere auf seine flachgründigen und schweren Bodenverhältnisse angepasst hat. Der Landwirt führt im Auftrag der Firma Zobel den Stoppelhobel europaweit auf Feldtagen vor. Verkaufte Geräte werden u.a. von ihm ausgeliefert und beim Käufer eingeführt. Durch diese Arbeit erweitert er kontinuierlich seinen Erfahrungsschatz, auch auf anderen Bodenverhältnissen. In den Gesprächen lassen sich zwei Themenschwerpunkte erkennen: die aktive Bekämpfung von Wurzelunkräutern (v.a. Disteln) und die Förderung der Bodengare, die er durch genaue Beobachtung des Bodens kontrolliert. Im Folgenden werden die einzelnen Bearbeitungsmaßnahmen näher erläutert.

Umbruch von Rotklee:

Der Rotklee wird als Futter für die Kühe verwendet. Vor dem Umbruch im Herbst wird der Rotklee gemäht und abgefahren, oder gemulcht. Anfang September wird der Boden das erste Mal mit dem Stoppelhobel auf ca. 7 cm Tiefe bearbeitet. Danach wird das Feld mindestens zwei Wochen liegengelassen. Nur an Stellen, an denen sich der Boden nach der ersten Bearbeitung nicht gut krümelt, wird der Boden gleich nach der ersten Bearbeitung mit der Kreiselegge bearbeitet. Ansonsten erfolgt nach zwei, drei Wochen die zweite Bearbeitung mit dem Stoppelhobel (die sogenannte Saatzfurche). Sofort im Anschluss an diese Bodenbearbeitung wird der Winterweizen gesät¹⁹.

Eigenschaften Bodens bei der Fruchtfolge berücksichtigen:

Die oben aufgeführte Fruchtfolge wird von B2, im Hinblick auf die jeweiligen Bodenverhältnisse, der zur Verfügung stehenden Flächen angepasst. Dabei wird der Aufwuchs der Vorfrucht beobachtet. Braugerste wird auf feuchten Böden durch Hafer ersetzt und nach Winterroggen kann bei guten Böden noch ein Jahr mit Dinkel folgen, bevor die Zwischenfrucht und dann das Hafer/Erbsengemenge folgt²⁰.

Bodenverdichtung vermeiden

Die Böden müssen bei der Bearbeitung und bei der Aussaat abgetrocknet sein, um eine Bodenverdichtung zu vermeiden. Die Bodenbearbeitung zur Herbstsaat wird so geplant, dass eine Aussaat unmittelbar danach erfolgen kann. Auf keinen Fall dürfen die Bö-

¹⁹ Zitat vom 19.03.2009 (Teil2) (gekürzt): „Anfang September fahr ich das erste Mal mit dem Stoppelhobel und lass es [Kleeumbruch] dann mindestens zwei Wochen liegen. Wo es erforderlich ist, fahr ich mit der Egge oder mit der Kreiselegge: den Boden wieder fein machen. Wo es nicht erforderlich ist, mach ich nichts. Dann nach zwei, maximal drei Wochen mach ich die Saatzfurche, Ende September, Anfang Oktober spätestens. Dann säe ich den Weizen. Also hinter dem Stoppelhobel, Kreiselegge, Sämaschine.“

²⁰ Zitat vom 2.6.2008: „Wenn ich jetzt z.B. des eine Flurstück das ganz flachgründig ist. Wenn ich da jetzt eine Frühjahrsaat machen muss, da säe ich dann Braugerste, da ist Hafer eigentlich uninteressant. Wenn ich ein ganz schweres Feld habe, das im Frühjahr lange feucht ist, da sät man dann den Hafer, weil der Hafer das Feuchte liebt. Aber normal mache ich ein Jahr Rotklee, dann Weizen, dann Roggen. Wenn der Roggen noch wirklich richtig üppig ist, bringe ich halt sofort noch Dinkel. Aber meistens bringe ich nach Roggen, Hafer mit Erbsen, gemischt.“

den im nassen Zustand befahren werden, da die Strukturschäden noch im Folgejahr sichtbar sind, dies hat B2 schon mehrmals bei seinen Böden beobachten können. Seine Erfahrungen mit seinen Böden haben ihm gelehrt, dass im Herbst selbst kleine Niederschlagsmengen während der Nacht, oder Nebel ausreichen, um den bearbeiteten Boden am nächsten Tag für eine Aussaat unbefahrbar zu machen. Dieses Risiko umgeht er, indem er nur noch soviel Fläche bearbeitet, auf der noch am gleichen Tag die Aussaat erfolgen kann²¹.

Um Bodenverdichtungen zu vermeiden ist im Frühjahr eine Bodenbearbeitung oft erst zu einem späten Zeitpunkt möglich. Die Böden müssen ausreichend abgetrocknet und erwärmt sein, damit beim Befahren die Bodenstruktur nicht nachhaltig geschädigt wird. Dies erfordert viel Geduld vom Bauern. Er beschreibt Situationen, in denen es ihm sehr schwer fällt noch abzuwarten. Beim Besuch am 19. März 2009 ergaben sich nach langer Regenperiode die ersten etwa vier trockenen Tage des Frühjahrs. Auf allen Feldern um das Dorf waren Traktoren für die Frühjahrsbestellung im Einsatz. Bei einer Feldbegehung wurde ersichtlich, dass der Boden zwar oberflächlich, die ersten Zentimeter abgetrocknet war, aber darunter noch viel zu nass, um ihn ohne Risiko befahren zu können. Diesen Drang unbedingt auf das Feld fahren zu müssen und nicht mehr abwarten zu können, kann er sich am einfachsten widersetzen, wenn er sich durch Waldarbeit ablenkt²².

Bodengare fördern

Die Zwischenfrucht wird zur Förderung der Bodengare und als organische Masse für das Bodenleben angebaut. Zwischen zwei Wintergetreidearten erfolgt selten eine Zwischenfruchtaussaat. Die Entscheidung für eine Zwischenfrucht wird getroffen, wenn die Ernte der Vorfrucht nicht zu spät erfolgte und die Witterung eine Bodenbearbeitung ermöglicht. Der Boden darf nicht zu nass sein, aber auch nicht - durch eine lang anhaltende Trockenheit im Sommer - zu hart²³. Die Gründüngung wird im Winter bei leicht gefrorenem Boden zum

²¹ Zitat vom 19.03.2009 Teil 2 (gekürzt) Interviewerin: „wird nach der Saarfurche mit dem Stoppelhobel am nächsten Tag gesät, oder noch am selben Tag?“ B2: „nein, da ist keine Zeit mehr dazwischen. Wenn das Wetter zweifelhaft ist, dann mach ich (mit dem Stoppelhobel) nur vormittags und nachmittags Säen. Weil im Herbst, da trocknet es bei uns immer schwierig. Die schweren Böden, wenn die im Herbst nass sind und wenn es noch Nebel hat, dann trocknet der Boden nicht mehr ab. Wenn der Boden zum Beispiel mit dem Stoppelhobel gepflügt ist und es regnet drauf und es kommt dann noch Nebel, dann ist aber aus. Wenn es über Nacht (auf den bearbeiteten Boden) drauf regnet, das trocknet ganz schlecht ab. Wenn man Glück hat, kommt noch einmal eine Schönwetterperiode. Aber das Risiko das geh ich nicht mehr ein.“ Interviewerin: „Warum ist es Ihnen so wichtig, dass gleich danach gesät wird?“ B2: „Wenn man so nass reinfährt. man wurde ja so geschult, dass es im Herbst egal ist, weil der Boden sowieso ausgefroren. Aber das ist nicht egal, das ist nicht gut. Ich hab das alles durchexerziert, wenn man so mit Hängen und Würgen den Stoppelhobel durch geschunden hat. Die Spuren, die sieht man das ganze Jahr im Folgejahr! Der Boden ist irgendwie so, ja doch verdichtet. Des schafft auch der Frost nicht.“

²² Zitat vom 19.03.2009 (gekürzt): „Da hätte man wirklich warten müssen. Manchmal ist halt der Geduldsfaden zu kurz.“ Interviewer: Braucht man schon Geduld? Mehr als wenn man einen normalen Pflug hat? „ah, des auf jeden Fall, des auf jeden Fall, ja. Weil, wenn es mit dem Stoppelhobel nicht geht, geht's mit dem normalen Pflug noch lang. Ich geh halt dann in den Wald, mache im Wald meine Arbeit, dann sehe ich nichts mehr.“(lacht) weitere Stelle (Teil 3-4) Zitat vom 19.03.2009: „Ich mein dieses Jahr bin ich überhaupt nicht in der Klemme, ich hab ja bloß zwei Parzellen jetzt im Frühjahr zum säen. Alles andere ist ja schon eingesät. Die schweren, die wirklich extrem schweren (Flächen), die sind ja alle eingesät, oder da ist Klee drin. Aber wenn man solche extremen schweren Flächen im Frühjahr hat, da ist dann wirklich Geduld angesagt. Da müsste man wirklich sagen, ab in den Urlaub.“

²³ Zitat vom 19.03.2009 (gekürzt): „ja wenn im Frühjahr der Boden nass ist, mit denen... eigentlich sagt man die Traktoren sind jetzt so schwer, aber ich hab noch als junger Bauer erkannt, als man mit 25 oder 40 PS

ersten Mal bearbeitet. Der Boden ist dabei nur oberflächlich angetaut, um die Bearbeitung zu ermöglichen, aber gleichzeitig darunter gefroren und somit sehr gut tragfähig und ohne Strukturschäden befahrbar. Dabei sollte der Aufwuchs so gut wie möglich abgefroren sein. Je nach Masse des organischen Material kann hierbei schon mal auf 7-8 cm Tiefe (bei sehr viel Masse, die nur schlecht abgefroren ist, auch mal 8-10 cm) gearbeitet werden, um das Material gut zu durchmischen. Dabei bleibt immer noch etwas organisches Material an der Bodenoberfläche zurück. So ist die organische Masse sehr gut für das Bodenleben verfügbar.

Unkrautregulierung

Bei distelfreien Feldern wird sofort nach der ersten Bearbeitung Alexandriner-Perserklee gesät. Bei einer Wintergetreideaussaat wird oftmals auch das Samenunkraut als natürliche Begrünung drei bis vier Wochen bis zur Aussaat stehen gelassen und keine Zwischenfrucht gesät. Die Begrünung durch das keimende Ausfallgetreide und/oder Unkraut ist für eine Bodenbedeckung bis zur Aussaat ausreichend²⁴. Die Aussaat des Wintergetreides erfolgt im Vergleich zu konventionellen Betrieben, die eine späte Aussaat bevorzugen, Ende September, spätestens Anfang Oktober. Der Weizen soll im Herbst noch bestocken, um im Frühjahr bereits einen Wachstumsvorsprung vor dem Unkraut zu haben²⁵.

B2 achtet in seiner Fruchtfolge auf einen Wechsel zwischen Sommerung und Winterung. Samenunkräuter passen sich den vorhandenen Umweltbedingungen an. Bei einer Aussaat im Frühjahr etablieren sich andere Unkrautarten, als bei einer Aussaat im Herbst. Bei einem Wechsel von Frühjahrsaussaat und Herbstaussaat wird der Entwicklungszyklus der jeweiligen Unkrautarten ständig unterbrochen und ein Massenwachstum von einer Einzelart im Laufe der Fruchtfolge verhindert. Die Entscheidung ob zwischen Sommergetreide und Wintergetreide noch eine Zwischenfrucht angebaut wird, erfolgt hauptsächlich auf Grund der Unkrautsituation. Zeigen sich bereits bei der Ernte Wurzelunkräuter wird vor der Aussaat der Zwischenfrucht oder des Wintergetreides, eine mehrmalige Bodenbearbeitung durchgeführt, um die Ackerkratzdistel zu bekämpfen²⁶.

gearbeitet hat. Damals musste man ja dann zwei-, dreimal fahren, damit man den Boden in den Zustand kriegt, wie man es heute mit 100PS in einem Arbeitsgang hinkriegt. Wenn es zu nass war hat man den Boden auch mit den leichten Traktoren zu Tode gefahren. Erst wenn es trocken wird und wenn der Boden richtig warm ist, so im Mai, da verträgt er[der Boden] dann auch wieder mehr. Aber jetzt, in dem kalten Zustand, wenn man da zu früh drauf fährt, also das ist für unsere Böden der Tod. Da wächst nichts. In den Spuren, da wächst es ganz jämmerlich“.

²⁴ Zitat vom 2.6.2008: „Weil, von Weizen auf Roggen das lohnt sich hier nicht. Die paar Wochen, wenn es dann noch trocken ist, da geht vielleicht gerade der Senf auf und dann kann man ja schon wieder umbrechen. Das lohnt sich wirklich nicht. Da genügt das Ausfallgetreide. Man muss schauen, dass auch die Unkrautsamen nochmal angeregt werden zu keimen. Da hat man eigentlich eine ganz ordentliche Bodenbedeckung und das reicht.“

²⁵ Zitat vom 23.09.2008: „Im Ökologischen Landbau muss der Weizen spätestens in der ersten Oktoberwoche im Boden sein, damit der richtig wuchtig in den Winter kommt. Wenn dann im Frühjahr das Wachstum beginnt, dann geht er los. Wenn ich aber jetzt so spät säe, dann muss er ja im Frühjahr erst bestocken. Und bis der dann in die Gänge kommt, dann hat das Unkraut ihn eingeholt“.

²⁶ Zitat 19.03.2009 (Teil 2). „Also voriges Jahr, also ich mache es auch nicht jedes Jahr prinzipiell gleich. Voriges Jahr hab ich die Roggenstoppel sofort bearbeitet und dann hab ich sie 2 Wochen liegen lassen. Weil da waren wirklich extreme Stellen, an denen sich schlagartig die Distel ganz grausam gezeigt hat. Und die Distel hab ich dann vielleicht so groß werden lassen (zeigt ca. 10 cm) und dann noch einmal mit dem Stoppelhobel den Kopf runter und dann die Gründüngung eingesät.“ „also wenn sich im Acker keine Distel zeigt,

Distelbekämpfung

Nach der Ernte erfolgt eine sofortige Bodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel. Der Boden soll eine gute Bodengare aufweisen, er soll krümelig sein. Nach der Ernte reicht hierfür eigentlich eine Bearbeitung aus. Sind nach der Bearbeitung noch größere, kantige Erdklumpen auf den Flächen sichtbar, dann wird der Boden nach dem Stoppelhobel sofort noch mit der Kreiselegge bearbeitet (ca. 4 cm tief). Dann wird der Auflauf der Unkräuter auf der Fläche genau beobachtet. Disteltriebe zeigen sich sehr früh nach der Bearbeitung (ca. 8 Tage). Die Disteltriebe sollen bis in eine Höhe von ca. 10 cm wachsen und eine deutliche Rosette entwickelt haben. Dies dauert je nach Witterung etwa 2-3 Wochen. Dann erfolgt eine zweite Bearbeitung mit dem Stoppelhobel, in diesem Stadium wird die Pflanze durch Bearbeitung besonders stark beeinträchtigt und kann sich nicht so schnell wieder erholen. Im Anschluss wird sofort noch eine Zwischenfrucht Alexandriner- Perserklee gesät oder bereits die Wintersaat (Dinkel, Roggen), um zusätzlich einen Konkurrenzdruck der Kulturpflanzen gegenüber der bereits beeinträchtigten Distel aufzubauen²⁷.

5.2.2.5 Interpretation

Das Wissen bezüglich seines Bodenbearbeitungssystems setzt B2 in seinen Gesprächen sehr stark in Beziehung zu seinem Bodenbearbeitungsgerät, dem Stoppelhobel. Daraus kann bei Podiumsdiskussionen und Vorträgen durchaus der missverständliche Eindruck entstehen, dass die Maschine alle Probleme der Bodenbearbeitung im Ökolandbau löst. In den Gesprächen mit ihm und in den Besuchen vor Ort wird aber deutlich, dass die Bodenbearbeitung nur in der Kombination von Gerät und geeigneten Bearbeitungsmaßnahmen funktioniert und dass sich das System durch langjährige Erfahrungen und an Hand von vielen eigenen Versuchen entwickelt hat. Er hat sich viel Zeit genommen, um alle Einstellungen des Geräts zu testen. Er hat verschiedene Varianten der Bearbeitungstiefe ausprobiert und dabei die Auswirkungen auf den Boden genau beobachtet. Er hat die flachste und tiefste Einstellung auf seinen Böden getestet. Bei der flachen Bearbeitung seiner schweren Böden entwickelte sich eine stabile, krümelige Bodenstruktur. So ist er von der tiefen Bearbeitung abgekommen. Gleichzeitig stellt er den Feldgemüseanbau ein und plant eine langfristige Fruchtfolge, die er jährlich auf seine Bodenverhältnisse anpasst. Diese Umstrukturierung des Betriebs wird nötig, da er sich Zeit für seine Familie nehmen will und den Betrieb gemeinsam mit seiner Frau und ohne Fremdarbeitskräfte bewirtschaften will. Da der Großteil der erzeugten Produkte direktvermarktet wird, ist er unabhängig von kurzfristigen Marktentwicklungen.

Am Anfang dieser Entwicklung der Bodenbearbeitung steht die Vorstellung von B2, entgegen der damals vorhandenen Lehrmeinung, landwirtschaftlichen Praxis und landwirtschaftlichen Beratung, seinen Boden so flach wie möglich zu bearbeiten. Diese Versuche scheiterten seiner Meinung nach unter anderem auf Grund, der zu diesem Zeitpunkt noch nicht geeigneten Technik. Er hat versucht mit umgebauten Scharkörpern des Normal-

dann, dann säe ich einen Alexandriner- und Perserklee. Und wenn er nur zehn Zentimeter hoch wird, hat er eigentlich sein Soll erfüllt.“

²⁷ Zitat vom 19.03.2009: „Und die Distel, die geht im August ja los, in einer Woche ist die schon so groß (zeigt 5 cm). Und wenn man die Distel zwei Wochen wachsen lässt und wenn die dann so richtig in Wallung ist, wenn man sie dann abschneidet, das tut ihr unheimlich weh.“

pflugs flacher zu pflügen und hat auch die erste Generation der Flügelschargrubber getestet. Im Gegensatz zu diesen Techniken, hat er bereits in der ersten Generation des Stoppelhobels das Potential gesehen, dass dieses Gerät für seine spezielle Anforderung an die flache Bearbeitung bietet und trotz aller Anfangsschwierigkeiten hat er sich weiter für diese Technik eingesetzt. Probleme gab es bei den ersten Geräten mit dem Durchgang des Stoppelhobels. Bei größeren Strohmenngen oder mehr organischen Material verstopften die Schare während der Bearbeitung und mussten per Hand gesäubert werden. Mit einer Veränderung des Scharkörperstandes und des Turmaufbaus konnte dieses Problem behoben werden. Die Erfahrungen von B2 mit dem Gerät bei der Bodenbearbeitung gaben weitere wichtige Impulse, die bei der Weiterentwicklung des Stoppelhobels berücksichtigt und umgesetzt wurden. Ein gleichmäßiger Einzug aller Scharkörper in den Boden wird heute einerseits, durch die Befestigung des Oberlenkers in einem Langloch geschaffen, sowie durch ein zweites Stützrad, auf dem der Stoppelhobel läuft. Das Gerät wurde in seinem Sinne einer möglichst flachen, konservierenden Bodenbearbeitung verändert. Dies macht ihn zu einem Experten im Umgang mit dem Gerät und erklärt auch seine persönliche Fokussierung auf diese Technik.

In seinen Vorträgen betont B2 seinen christlichen Glauben und die – seiner Meinung nach – Ehrfurcht des Bauers gegenüber der Schöpfung. Der Respekt vor der Natur mit den unterschiedlichsten Wetterereignissen erfordert einen verantwortlichen Umgang mit dem Boden, den er in seinem Verständnis als so schonend wie möglich, aber so viel wie nötig definiert. Im Zentrum der Bearbeitung stehen bei B2 die Bodenbeobachtung und der Aufbau einer natürlichen Bodengare. Dabei sieht B2 einen Zusammenhang zwischen der Bearbeitungstiefe und der Auswirkungen der Bearbeitung auf das Bodenleben. Je flacher er arbeitet, umso besser ist der Aufbau der Bodengare. Der Begriff „Bodengare“ ist in der Agrarwissenschaft nicht mehr gebräuchlich und auch in der praktischen Landwirtschaft wird er kaum mehr verwendet. In der Bodenphysik spricht man von Aggregatstabilität durch ein stabiles Krümelgefüge (Scheffer, et al., 2002 S. 194). Oberflächlich kann eine Gare durch mechanische Lockerung erreicht werden, eine natürliche Gare wird von den Bodenmikroorganismen aufgebaut. Bodenorganismen werden durch Bodenbearbeitung in ihrer Aktivität beeinflusst (Sekera, 1984).

Das Fallbeispiel ist im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau besonders interessant, da sich B2 intensiv mit der Regulierung von Disteln beschäftigt. Wurzelunkräuter, zu denen die Distel zählt, gehören zu den größten Herausforderungen im Ökologischen Landbau (FAL, 2003). Die Unkrautproblematik ist nach wie vor einer der Hauptgründe, warum Anbauberater im Ökolandbau von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren abraten (Maurin J., 2009). B2 hatte auf seinen Feldern Probleme mit der Acker-Kratzdistel, dies war für ihn ein weiterer Grund eine Alternative in der Bodenbearbeitung auszuprobieren. Er spricht von einem Chaos, das er auf seinen Feldern, bzw. im Boden vorgefunden hat. So hat er ein System entwickelt, das im Sommer, sofort nach der Getreideernte die Acker-Kratzdistel bekämpft. Durch eine mehrmalige mechanische Bearbeitung mit dem Stoppelhobel wird die Ackerkratzdistel direkt im Wachstum beeinträchtigt. Dabei werden zwei Ziele verfolgt. Es werden die jungen Disteltriebe dezimiert und durch die flache Lockerung werden die natürlichen Bodenprozesse angeregt, die einen natürlichen Gareaufbau des Bodens fördern (Görbing, 1948). Die Kapillaren werden gebrochen, in die oberste flache Schicht wird eventuell etwas organisches Material eingearbeitet und

der Boden wird durchlüftet. Sobald im Boden die natürlichen Bodenprozesse funktionieren, kann dieser Impuls der Bearbeitung vom Boden aufgenommen werden und sich in tiefere Schichten fortsetzen. Otto Wehsarg (1954) schreibt zur allgemeinen Regulierung von Ackerunkräutern: „die Gare ist die große unkrautreinigende Kraft des Ackerbodens. ... Auch die unterirdischen Wurzel- und Stengelteile der mehrjährigen Unkräuter vergehen leichter in einem garen Boden“. Die flache Bodenbearbeitung von B2 fördert den natürlichen Bodengareaufbau und schafft so für die Ackerdistel ungünstige Bodenverhältnisse. In den vorliegenden wissenschaftlichen Versuchsanstellungen zur Regulierung der Ackerdistel erfolgte die Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug in einer Tiefe von 20 cm bzw. 30 cm (Lukashyk et al., 2007; Pekrun et al., 2006).

Um das Risiko für seinen Betrieb so niedrig wie möglich zu halten, testet B2 seine Ideen der Bodenbearbeitung zuerst auf seinen schlechtesten Böden. Bei einem Misslingen der Versuche sind die Ertragsausfälle auf den schlechteren Böden im Vergleich zu den guten Böden geringer. Gleichzeitig wird das Gelingen seines Versuches damit erschwert, da die Bearbeitung von schlechten Böden generell schwieriger zu handhaben ist. Nach zwei bis drei Jahren ist für ihn der Erfolg auf den Feldern ersichtlich. Er beschreibt diesen Erfolg mit deutlich weniger Unkrautproblemen, keine Ertragseinbußen, einer leichten Bearbeitung und keinen Problemen mehr mit Steinen. Dies macht ihm Mut, diese Bearbeitung auf seine gesamte Fläche auszuweiten. Heute werden neu zugepachtete Flächen sofort auf das einheitliche Bearbeitungssystem umgestellt. B2 erläutert sein System immer an konkreten Beispielen. Er nennt zwar einzelne Faustregeln und hat auch eine sechsjährige Fruchtfolge festgelegt, im Gespräch betont er aber immer wieder, dass es für ihn im Ökolandbau keine Schablonen geben kann. Ausschlaggebend ist es, seinen Boden regelmäßig zu beobachten und die Zeichen richtig zu deuten. Bei Bearbeitungsmaßnahmen müssen die Unkrautentwicklung auf den Feldern, der Zustand des Bodens bei der Bearbeitung, der Aufwuchs der Gründüngung und die Wetterverhältnisse berücksichtigt werden.

B2 schildert wie schwierig es ist, die notwendige Geduld aufzubringen, um den geeigneten Zeitpunkt der Bodenbearbeitung – vor allem im Frühjahr – abzuwarten. Bei einem Interview Mitte März konnte dies vor Ort miterlebt werden. Auf den Feldern rund um das Dorf waren bereits alle Nachbarn mit der Frühjahrsbestellung auf den Feldern beschäftigt. B2 hatte noch keine Bearbeitung durchgeführt. Bei der anschließenden Felderbegehung zeigt B2 den Bodenzustand und erläutert, warum der Boden aus seiner Sicht noch nicht bearbeitet werden sollte. In den Gesprächen wird deutlich, dass sich B2 jedes Jahr wieder mit seinem Boden auseinandersetzt. Er muss im Konflikt zwischen Bearbeitung und Bedürfnisse des Bodens immer wieder einen Kompromiss finden.

5.2.3 Fallbeispiel 3

Im Ökolandbau ist B3 einer der wenigen Landwirte, der seine Böden nur noch flach bearbeitet. Er ist einer der Pioniere der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau. Der Landwirt bewirtschaftet seit 1995 den Betrieb zusammen mit seiner Frau, die, wie er, Agrarwissenschaften studiert hat. Der Betrieb ist sofort nach dem Kauf auf ökologische Wirtschaftsweise umgestellt worden und wurde vorher seit 1981 konventionell nur mit einem Grubber bewirtschaftet. B3 interessierte sich bereits in seiner Ausbildung als Landmaschinentechniker und dann auch im landwirtschaftlichen Studium für Methoden der konservierenden Bodenbearbeitung. Der Betrieb musste mit dem gesamten Inventar übernommen werden und so war es auch aus finanziellen Gründen notwendig mit den vorhandenen Maschinen den Betrieb weiterhin pfluglos zu bewirtschaften. Der ca. 40 km entfernte elterliche Betrieb wurde 2008 auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt.

5.2.3.1 Betriebsbeschreibung

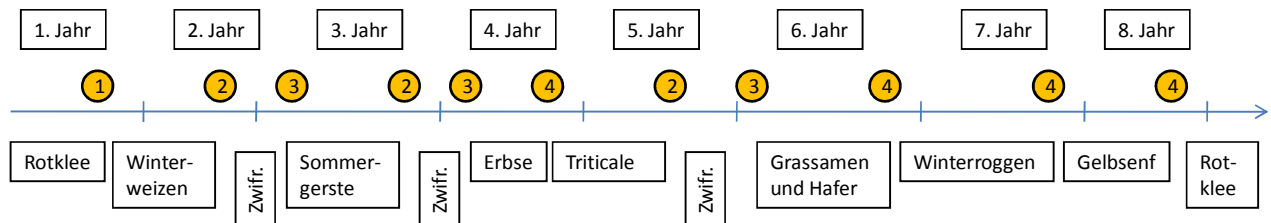
Die allgemeinen Betriebsdaten sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tab. 18: Betriebsbeschreibung B3

Betriebsgröße	119,2 ha Ackerland, 18,7 ha Grünland Elterlicher Betrieb (Flächen sind in die Fruchtfolge integriert): 38,5 ha Ackerland und 7,6 ha Grünland
Höhenlage über NN	Ca. 300 m (2. Betrieb, Angabe in Klammern: ca. 140 m)
Jahresniederschlagsmenge	580 mm (630 mm)
Durchschnittstemperatur	7,0 °C (8,2 °C)
Bodentyp und -art	Muschelkalkverwitterungsboden (Parabraunerde mit hohem Lößanteil)
Tierhaltung	9000 Legehennen Bis 2002: 20 Charolais Kühe
Fruchtfolge	Fruchtfolge (1): Rotklee, Winterweizen, Sommergerste, Körnererbse, Triticale, Grassamen und Hafer, Winterroggen Fruchtfolge (2): Ackerbohne, Winterweizen, Ölrettich, Triticale, Hafer, Wintergerste
Bodenbearbeitung	Seit 1981 pfluglos, seit 1995 ökologisch Dyna Drive wenn möglich zur Stoppelbearbeitung auf 3-4 cm Gänsefußschargrubber (Rabe) auf 7-9 cm (so flach wie möglich)
Maschinen	eigener Mähdrescher, 195 PS Schlepper, Pneumatische Scheibenschar-Sämaschine (Accord DA, Kverneland) mit Rotortriller, Dyna Drive (Bodenantriebener Zinkenrotor), Dreibalkiger Gänsefußschargrubber (Rabe)
Weizenertrag in dt/ha	Ertragsspanne von 45-70 dt/ha, im Durchschnitt 55 dt/ha
Sonstiges	Saatgutvermehrung von Rotklee, Weizen, Triticale, Gras, Ölrettich, Gerste, Gelbsenf, Roggen

B3 arbeitet mit zwei Fruchtfolgen. Er nennt seine Fruchtfolgen „Zielfruchtfolgen“, da er im Bedarfsfall einzelne Fruchtfolgeglieder den Marktbedingungen anpasst. Fruchtfolge mit Rotklee: siehe Abb. 36.

Fruchtfolge ohne Rotklee: 1. Ackerbohne, 2. Winterweizen, Zwischenfrucht, 3. Ölrettich oder Gelbsenf, Zwischenfrucht 4. Wintertriticale, 5. Hafer, 6. Wintergerste, Zwischenfrucht.



Zwifr. = abfrierende Zwischenfrucht (meistens Senf)

- 1 nach Rotklee:
sofort nach der Ernte des Rotkleesamens zweimalige Bearbeitung mit Dyna Drive (max 3-4 cm tief), nach 10 Tagen 2. Bearbeitung mit Gänsefußschargrubber (7-8 cm tief), am gleichen Tag Aussaat von Winterweizen mit Säkombination mit Rotortriller;
- 2 Stoppelbearbeitung vor der Zwischenfrucht mit dem Gänsefußschargrubber so flach wie möglich, bis 6 cm Tiefe, ca. 10 Tage nach der Bodenbearbeitung wird dann je nach Bodenzustand entweder mit der Säkombination, oder mit dem Schneckenkornstreuer die Zwischenfrucht ausgesät;
- 3 Bodenbearbeitung nach der abfrierenden Zwischenfrucht:
Ein bis zweimal Grubbern (ca. 7cm Tiefe) mit Gänsefußschargrubber von Rabe
erste Bearbeitung wenn möglich bei gefrorenem Boden
Aussaat unmittelbar nach der Bodenbearbeitung mit Säkombination, mit Rotortriller
- 4 Bodenbearbeitung ohne Zwischenfrucht:
Stoppelbearbeitung sofort nach der Ernte (keine Strohbergung) mit Dyna Drive (max 3-4 cm tief), nach 10 Tagen 2. Bearbeitung mit Gänsefußschargrubber (6 cm tief), am gleichen Tag Aussaat mit Säkombination mit Rotortriller;

Abb. 36: Zeitpunkt der Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge B3

Für die Bodenbearbeitung benutzt B3 zwei Geräte. Für die Stoppelbearbeitung setzt er bevorzugt den Dyna Drive ein, der maximal 4 cm tief arbeitet. Die Grundbodenbearbeitung erfolgt mit dem dreibalkigen Gänsefußschargrubber in 7-8 cm Tiefe. Sooft wie möglich versucht B3 den zweiten Bearbeitungsgang leicht versetzt zur vorangegangenen Feldbestellung durchzuführen. Der Strohbedarf für die Hühner beträgt pro Jahr etwa 1.300 kleine Strohballen, das heißt von ca. 2 ha der Getreidefläche wird Stroh abgefahren. Das Stroh wird nicht nur von einer Fläche abgefahren. Es werden über die Zeit der Ernte verteilt, je nach Wetter immer wieder einige Strohballen gepresst. Ansonsten wird das Stroh bei der Ernte gehäckselt und mit dem Mähdrescher auf der Fläche verteilt.

Die Flächen werden, je nach Witterung zwei bis dreimal gestriegelt. Laut Aussage des Landwirts beeinträchtigen weder das kleingehäckselte Stroh noch die abgefrorene Zwischenfrucht das Striegeln. Zur Zwischenfruchtaussaat erfolgt nur eine Bodenbearbeitung mit dem Gänsefußschargrubber. Die Aussaat erfolgt etwa 10 Tage nach der Bodenbearbeitung. Immer zwei Jahre nach dem Rotklee, bzw. den Körnerleguminosen werden die

Flächen mit Hühnermist gedüngt. Es werden 40-70 kg/ha Hühnermist, mit sehr niedrigem Strohanteil ausgebracht. Für B3 ist dies einer der Hauptgründe für die guten und stabilen Durchschnittserträge auf seinen Flächen (Weizen 45-70 dt/ha).

5.2.3.2 Beweggründe und Motivation

Auf dem elterlichen Betrieb von B3 wurde auf einem fruchtbaren Lößlehmboden unter anderem Zuckerrüben angebaut. Insbesondere bei sehr starkem Niederschlag im Frühjahr beobachtete B3 immer wieder, wie der Boden verschlammte und wertvoller Humus abgetragen wurde. Dies bekräftigte ihn, nach Alternativen zur Bearbeitung mit dem Pflug zu suchen. Schon während seiner Ausbildung besichtigte B3 immer wieder (meist konventionelle) Betriebe die pfluglos wirtschafteten. Über den Kontakt zu Herrn Horsch, der 1984 die Landmaschinenfirma Horsch GmbH gründete und sich nach einem Aufenthalt in den USA für Direktsaatmaschinen und konservierende Bodenbearbeitung begeisterte, setzte sich B3 intensiv mit Bodenbearbeitungssystemen auseinander. Als er seinen heutigen Betrieb kaufte, der von seinem Vorgänger bereits 13 Jahre erfolgreich pfluglos bewirtschaftet wurde, nutzte er die Chance, auch nach der Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung, diese Bodenbearbeitung fortzuführen²⁸.

Die betriebswirtschaftliche Kalkulation ist für B3 ein sehr wichtiger Aspekt, da die Kredite, die für den Kauf des Betriebs notwendig waren, regelmäßig zurückgezahlt werden müssen. In der Grenzkostenanalyse sieht B3 seinen Betrieb mit der flachen Bodenbearbeitung auf Grund der geringeren Maschinenkosten, Arbeitskosten und Dieselskosten im finanziellen Vorteil. Im Vergleich geht er davon aus, dass auf seinem Standort auch mit dem Pflug nicht wesentlich höhere Erträge erwirtschaftet werden können^{29,30}.

²⁸ B3, Interview am 5.12.2008 (Teil 1, gekürzt): „... der Reiz war schon groß. Ich hab ja in meiner Ausbildung immer schon Betriebe besichtigt und gesucht und auch besucht, die pfluglos arbeiten. Da ist der Horsch zum Beispiel zu nennen, der mit der Säschiene damals angefangen hat. Der Horsch, der ist für mich deswegen interessant gewesen, weil mein Betrieb aus meiner Heimat, mein elterlicher Hof ähnlich gelagert ist, wie der Betrieb Horsch, mit Lößlehmboden. Und wir auch immer mit Verschlämmungen zu tun hatten. Wir haben damals viel Zuckerrüben angebaut und wenn wir ungünstige Witterungsbedingungen im Frühjahr hatten, hatten wir nach dem Pflug natürlich mit Verschlämmungen zu tun. Es war immer wertvoller Boden der wegschwimmt. und dann hab ich bei dem Horsch gehört, wie er es macht, mit so einem 80er Lößlehmboden. pfluglos. Dann mit der Säschiene und verschiedenen neuen Anbauverfahren, die damals wenig bekannt waren. Dass haben wir uns angekuckt und zu dem Zeitpunkt war ich nun zufällig grad noch in der Techniker Ausbildung. Ich hatte den Kontakt herstellen können und bin noch zweimal bei ihm gewesen und hab das immer weiter verfolgt, was er macht. Und das fand ich so interessant. Nun war aber mein elterlicher Betrieb zu klein, um da große Experimente zu machen. So war dass dann hier die Chance jetzt zu starten und damit loszulegen.“

²⁹ B3, Interview am 5.12.2008 (Teil 1, gekürzt): „...Und darüber hinaus kann man pfluglos oder nicht pfluglos nicht nur am Ertrag messen, das muss man von der ganzen Kostenseite betrachten. Und dies ist natürlich eine Grenzkostenrechnung. Natürlich haben wir Ertragseinbußen, nicht im Durchschnitt, aber punktuell. Bei manchen Flächen tritt dies immer mal wieder auf. Aber wenn ich die gesamte Kostenseite dem Ertrag gegenüberstelle und ich würd pflügen. Mit doppeltem Dieselaufwand, doppeltem Arbeitsaufwand und noch einem zusätzlichen Arbeitsgerät, was ich haben müsste. Wäre es für mich so, dass es unter dem Strich sogar schlechter laufen würde. Finanziell gesehen, ökonomisch gesehen.“

³⁰ B3, Vortrag am 4.11.2009 in Bad Gandersheim „...am Ende bleibt mehr Geld übrig, dass sehen wir seit Jahren.“

5.2.3.3 Ziele der Bodenbearbeitung

Die Angaben zur Bodenbearbeitung, die der Landwirt in den Gesprächen genannt hat, werden anhand der Ziele dargestellt (Tab. 19).

Tab. 19: Ziele, Maßnahmen, Begründungen und Beobachtungen von B3

Ziele	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Bodenverdichtung vermeiden	Bearbeitung (vor allem im Frühjahr) nur bei trocknen Böden	Befahren von nassen Böden hinterlässt verdichtete Fahrspuren, die durch eine flache Bearbeitung nicht mehr zu lockern sind	Tiefe Fahrspuren sind noch in der Folgekultur sichtbar
	Ernte nur bei trockenen Bodenverhältnissen	Bei nassen Bodenverhältnissen verdichtet der schwere Mährescher den Boden	Tiefe Fahrspuren sind noch in der Folgekultur sichtbar
	Ernte mit dem Mährescher im Kreis	Eine gleichmäßigere Verteilung der Belastung durch die Maschinen auf das ganze Feld, da man in der darauffolgenden Bodenbearbeitung nicht in den vorverdichteten Mährescherspuren fährt, sondern versetzt neben den Spuren	
	Kein Abtanken des Mähreschers auf dem Feld	Keine Verdichtung durch schwere Anhänger auf dem Feld	
Aufbau einer stabilen Bodenstruktur	Sofortige Bodenbearbeitung nach der Ernte	Durch die Bearbeitung wird das Bodenleben angeregt und der Bodenumsatz kann stattfinden, dies dauert ca. zehn Tage, diese Zeit muss man dem Bodenleben geben	Wenn man den Boden liegen lässt, passiert nichts
	Zwischenfruchtanbau	Mit dem Zwischenfruchtanbau schafft man eine Durchwurzelung des Bodens im Sommer	
Schnelle Strohhrotte	Stroh wird mit dem Mährescher sehr kurz gehäckselt und gleichmäßig verteilt	Das Bodenleben kann so das Stroh schneller umsetzen	
Nährstoffzufuhr für Starkzehrer	Gezielte Düngung mit Hühnermist	Nur auf den abtragenden Früchten wird der Hühnermist (mit sehr wenig Strohanteil) ausgebracht	

Ziele	Maßnahme	Begründung	Beobachtung
Fütterung des Bodenlebens und Humusaufbau	Organische Masse zur Verfügung stellen (Stroh, Mist und Gründüngung)	Das Bodenleben braucht Nahrung, um den Boden umsetzen zu können und Humus aufzubauen	„Das Bodenleben (v.a. die Regenwürmer) erledigt die Arbeit im Boden ganz alleine, wenn man sie hegt und pflegt“
	Flache Bearbeitung	Die organische Masse muss in der oberen Bodenschicht bleiben, damit sie das Bodenleben verwerten kann	Etwa zehn Tagen nach der Bodenbearbeitung ist der Bodenumsetzungsprozess im Boden sichtbar
Viel Grünmasse mit Zwischenfruchtanbau erzeugen	Möglichst schnelle und zeitige Aussaat der Zwischenfrucht	Je früher die Zwischenfrucht ausgesät wird, umso mehr Grünmasse kann sich bilden und steht als Futter für das Bodenleben zur Verfügung	
Unkrautregulierung	Wechsel von Sommerung und Winterung	So kann das Ausfallgetreide effektiv bekämpft werden	
	Mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat, möglichst versetzt zur vorangegangenen Bearbeitung	Durch die Bearbeitung wird das Unkraut und das Ausfallgetreide zum Keimen angeregt und bei der darauffolgenden Bearbeitung bekämpft; durch das versetzte Fahren wird eine gleichmäßig flächige Bearbeitung des ganzen Feldes gewährleistet	Das vorhandene Unkraut und das Ausfallgetreide wird aktiv reguliert
	Anpassung der Fruchtfolge	Da Ampfersamen aus dem Rotkleesaatgut nicht zu reinigen ist, wird auf Flächen mit Ampferbesatz kein Rotklee angebaut; Da der Ölrettich nicht mehr zuverlässig abfriert, baut er als Zwischenfrucht keinen Ölrettich mehr an	

In der Tabelle wird deutlich, dass oft mehrere Maßnahmen durchgeführt werden, um ein Ziel zu erreichen, bzw. ein Ziel mit verschiedenen Maßnahmen verfolgt wird. Anhand der Anzahl der Beziehung der einzelnen Ziele untereinander wird deutlich, dass das Ziel "Förderung des Bodenlebens" einen Schwerpunkt des Ackerbaus von B3 darstellt (Abb. 37).

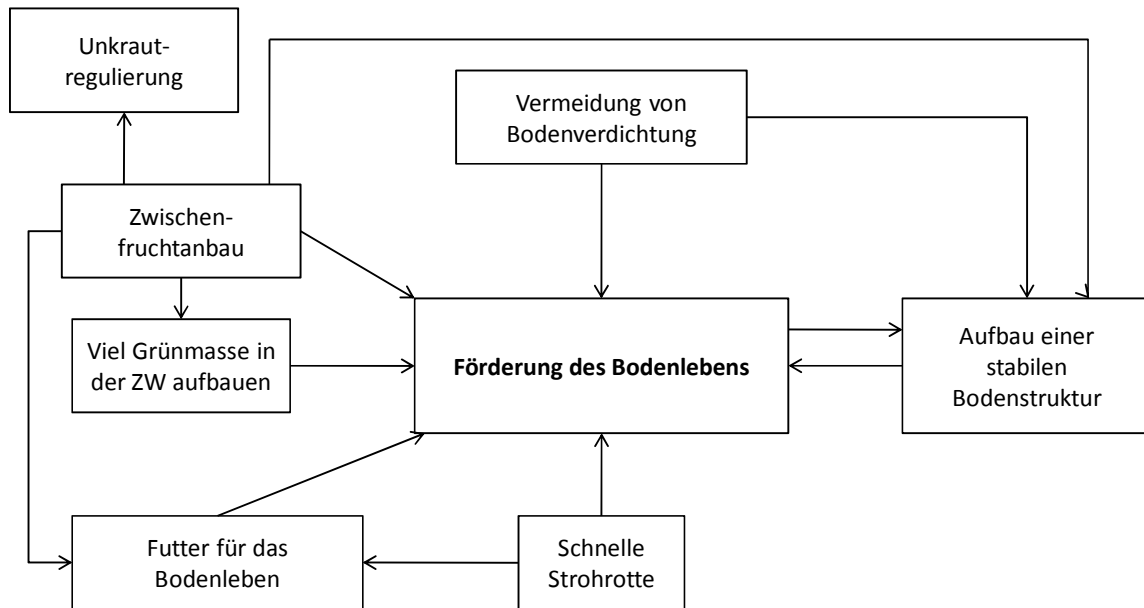


Abb. 37: Ziele der Bodenbearbeitung von B3

Als weiterer Schwerpunkt wird die Unkrautregulierung definiert. Hierbei war die Vielzahl von Maßnahmen (siehe Tab.19), die von B3 zur Zielerreichung durchgeführt werden, ausschlaggebend.

5.2.3.4 Beschreibung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Für B3 sind die im Durchschnitt guten Erträge über die Jahre möglich, weil er durch gezielte Maßnahmen das Bodenleben fördert und die Bodenstruktur aufbaut. B3 beobachtet genau und regelmäßig den Boden, und vor allem dem Humusaufbau³¹. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich für B3 daraus, dass durch die flache Bearbeitung die vielen Steine im Untergrund auf seinen Flächen keine Probleme verursachen. Das Bodenleben, die Fruchtfolge und der richtige Zeitpunkt der Bearbeitung sind für ihn die drei Schwerpunkte für seine erfolgreiche konservierende Bodenbearbeitung³².

Umbruch von Rotklee:

Sofort nach der Ernte (Rotkleesamen) erfolgt die Stoppelbearbeitung mit dem Dyna Drive. Das Feld wird nach Rotklee zweimal mit dem Dyna Drive auf einer Tiefe von maximal 3-4 cm bearbeitet, dadurch wird die Rotkleenarbe zerstört. Zehn Tage danach erfolgt die zweite Bodenbearbeitung mit dem Gänsefußschargrubber leicht versetzt zur vorangegangenen Bearbeitung auf 7-8 cm Tiefe. Danach folgt sofort die Aussaat von Winterweizen mit der Säkombination. Sollte eine zweite Bodenbearbeitung nicht ausreichen, um die Rotklee-

³¹ B3 Vortrag am 4.11.2009 in Bad Gandersheim „... dabei ist es wichtig den Boden zu beobachten, je schneller der Humusaufbau funktioniert, umso besser funktioniert das System.“

³² B3, Interview am 5.12.2009 (Teil 2, gekürzt): ... ja, weil wir festgestellt haben, dass das Bodenleben und in Kombination dazu die richtige Fruchtfolge und das Gefühl dafür, wann man auf dem Acker etwas verloren hat und wann nicht, dies hat uns eben gezeigt wir brauchen gar nicht so tief zu bearbeiten.

rückstände gut zu durchmischen und einzuarbeiten kann vor der Aussaat auch noch ein dritter Bearbeitungsgang mit dem Grubber erfolgen.

Förderung des Bodenlebens durch flache Bodenbearbeitung und Bereitstellung von organischer Substanz

In den ersten Jahren der Umstellung wurden die Flächen mit einem Flügelschargrubber bis 11 cm tief gegrubbert. Dieses Gerät hatte B3 von seinem Vorgänger übernommen, der in der gleichen Tiefe gearbeitet hatte. Je mehr praktische Erfahrungen B3 mit dem System der flachen Bodenbearbeitung auf seinem Betrieb sammeln konnte, umso deutlicher wurde, dass eine flache Bearbeitung mit einer guten Durchmischung für seinen Boden völlig ausreichend ist. Er beobachtete, dass alle weiteren Umsetzungsprozesse durch das Bodenleben erledigt werden. 2003 wurde ein neuer Gänsefußschargrubber gekauft, mit dem eine exaktere flachere Bodenbearbeitung möglich ist. In der Kombination mit dem Dyna Drive und dem dreibalkigen Grubber mit versetzten Gänsefußscharen ist eine einheitlich, flache Bearbeitung bis 7 cm möglich und vollkommen ausreichend³³. Um ausreichend Nahrung für das Bodenleben zu liefern, ist jede Form von organischer Masse auf den Feldern wichtig. Daher wird sooft wie möglich eine Zwischenfrucht ausgesät. Stroh wird fast zu 100 % auf den Feldern belassen. Nur von Teilflächen wird etwas Stroh abgefahren, um den Eigenbedarf für die Einstreu bei den Hühnern zu decken (insgesamt ca. 1.300 Ballen). Der Rest wird bei der Ernte direkt klein gehäckselt und auf dem Feld verteilt³⁴.

Bodenverdichtung vermeiden

Im Frühjahr ist es sehr wichtig den richtigen Zeitpunkt der Bodenbearbeitung abzuwarten. B3 hat gelernt, sich im Frühjahr bei der Aussaat auf seinen Böden viel Zeit zu lassen. Der Boden muss abgetrocknet sein und bereits eine gewisse Grundwärme besitzen. Die Flächen des Betriebes haben keine homogenen Bodenverhältnisse. Aus diesem Grund wer-

³³ Zitat am 5.12.2008 (Teil 1, gekürzt): „... wir sind im Laufe der Jahre dazu übergegangen eigentlich nur noch ganz flach zu grubbern. Früher haben wir einen Flügelschargrubber gehabt und haben das immer richtig tief rumgedreht.(...)Und dann haben wir uns natürlich auch weiter mit Horsch auseinandergesetzt und dann kam ja der Wenz ins Spiel, der dann auch noch ein besonderes Bodenbearbeitungssystem und Gerät hat und dann sind wir zu dem Punkt gekommen, wir brauchen eigentlich nur was, was den Boden ganz flach mischt. Weil wir festgestellt haben, das Bodenleben an sich und die Regenwürmer die regeln den Job von ganz alleine. Und das ist so ein schöner Effekt, wenn man das mal erlebt und erkannt hat. Und ich hab ja mal gesagt in so einem Vortrag, das sind unsere Landarbeiter die Regenwürmer, und die sind so wichtig. Weil wenn man die pflegt und hegt und dann darf man den Boden auch nur flach drehen, dass quasi die organische Masse immer an der oberen Schicht bleibt, in den oberen 5 cm. Dann machen die den Job von ganz alleine. Und die Regenwürmer sind ja nur die, die wir sehen können. Die ganze Mikroflora und Fauna, die dann eben sich auch noch etabliert, wenn Regenwürmer da sind“.

³⁴ Zitat am 5.12.2008 (Teil 2): „Also sie (Regenwürmer) siedeln sich ja von alleine an. Das kommt von ganz alleine im Laufe der Jahre entwickelt sich das. Man muss nur immer kucken, dass auch organische Masse auf den Boden liegen bleibt. Man darf nicht alles Stroh abfahren. Und es ist immer gut wenn man organische Masse auf dem Boden hat, wenn man Grünmasse auf den Boden kriegt, die man ab häckseln, die man abmulchen kann, Zwischenfrucht und wenn man auch noch Mist streuen kann, das ist auch noch gut. Hühnermist.“ Zitat am 5.12.2008 (Teil 2): „... ja, gibt es unterschiedliche Aussagen. Ich bin der Meinung, dass das Stroh gut gehäckselt, möglichst klein gehäckselt werden muss und ordentlich breitflächig verteilt werden muss. Andere Leute die pfluglos arbeiten, wie der Herr Wenz z.B. der sagt ja zum Beispiel das Stroh muss überhaupt nicht gehäckselt werden, das kann man so lang wie es ist auf dem Feld lassen. Also das ist eine Sache die ich überhaupt nicht vertrete und ich auch gar nicht so haben will, weil ich eine schnelle Strohrotte haben will. Liegt vielleicht auch daran, dass wir höhere Erträge und auch mehr Stroh haben.“

den bei der Frühjahrsbestellung zum Teil auch kleinere Bereiche in einzelnen Flächen erst zu einem späterem Zeitpunkt nachgearbeitet, wie zum Beispiel bei der Haferaussaat Ende April 2008³⁵.

In den Bodenprofilen auf den Flächen von B3 sind keine Horizonte, Furchen oder Sohlen erkennbar. Um so eine stabile Bodenstruktur aufzubauen sind jegliche Bodenverdichtungen bei der Bearbeitung zu vermeiden. In erster Linie ist dabei der richtige Zeitpunkt der Bearbeitung ausschlaggebend. Darüber hinaus achtet B3 darauf Überfahrten mit schweren Maschinen auf seinen Feldern zu vermeiden. Bei der Ernte mit dem eigenen Mähdröschler erfolgt das Abtanken wenn möglich auf den Wegen. Falls möglich wird an beiden Seiten des Feldes ein Wagen abgestellt, um Überfahrten mit vollem Mähdröschertank auf ein Minimum zu reduzieren. Bei der Ernte werden keine Beete abgefahren, sondern die Ernte erfolgt im Kreis. So wird der Bodendruck gleichmäßiger auf die Fläche verteilt, da die folgenden Bodenbearbeitungsmaschinen nicht in derselben Fahrspur wie der Mähdröschler fahren müssen³⁶.

Aufbau einer stabilen Bodenstruktur

Für die Stoppelbearbeitung setzt B3 den Dyna Drive an, da der den Boden sehr flach (1-2 cm) bearbeiten kann³⁷. Der Dyna Drive hat aber eine maximale Bearbeitungstiefe von etwa 4 cm, dass heißt er ist nur einsetzbar, wenn der Boden durch Trockenheit nicht zu hart ist und durch die Ernte keine Bodenverdichtungen entstanden sind. Unter Umständen lässt es sich nicht vermeiden, obwohl darauf besonders geachtet wird (siehe Bodenverdichtung vermeiden), dass eine Ernte bei zu feuchten Boden stattfindet und der Einsatz des Mähdröschers Spuren hinterlässt. Dann ist der Dyna Drive nicht mehr effektiv einsetzbar und die Stoppelbearbeitung erfolgt mit dem Gänsefußschargrubber, so flach wie möglich³⁸. Nur zur Zwischenfrucht erfolgt sofort nach der Ernte generell die Bearbeitung mit dem Gänsefußschargrubber (6-7 cm). Der Grubber wird eingesetzt, da hier in der Regel nur ein Bearbeitungsgang erfolgt, und so wird etwas mehr Boden mit eingemischt. In je-

³⁵ Zitat B3, Interview am 5.12.2008 (Teil 2): „Ich hab ja schon oft gesagt. Wir haben ja leider keinen homogenen Boden. Wir haben hohen Tonanteil, stark wechselnde Böden und manchmal auch Staunässe nach unten. Wir mussten hier ja auch erst lernen was schwerer Boden eben wirklich heißt. Und es ist aber eigentlich schon so, wenn man einen Spaten hat und man sticht den Spaten hebt ne Spatentiefe aus und man hat noch Wasser, da ist es vollkommen klar, dass man nichts auf dem Acker verloren hat. Ja es mag oberflächlich getrocknet aussehen, aber das heißt noch längst nicht, dass man auf den Acker kann. Und das Gefühl dafür, das muss man auch entwickeln.“

³⁶ Zitat Interview am 5.12.2008 (Teil 2): „...mit dem Mähdröschler keine Beete abernten, sondern immer kleiner, immer im Kreis rund rum, wo es geht. Immer geht das nicht, aber wo das geht mach ich das schon, damit sind wir immer versetzt mit dem Mähdröschler, man kommt nicht auf dieselben Spuren, wie der Grubber fährt. Wir versuchen natürlich auch immer wieder, die Getreideanhänger möglichst nicht auf dem Feld zu haben sondern auf dem Feldweg. Es geht nicht immer, aber da wo es geht...“

³⁷ Vortrag am 4.11.2009 in Bad Gandersheim „... am liebsten würde ich ihn (Dyna Drive) an den Mähdröschler anhängen.“

³⁸ Zitat Interview am 5.12.2008 (Teil 2): „Der Dyna Drive ist nur bei optimalen Bodenbedingungen effektiv einzusetzen. Ist es aber so wie vor zwei Jahren, dauernd Regen in der Ernte so dass manchmal das Getreide trocken war, aber das Land nicht befahrbar war. Wo wir dann trotzdem irgendwann gedroschen haben, weil die Ernte irgendwann runter muss. Dann hat man Spuren mit dem Mähdröschler hinterlassen und dann ist der Dyna Drive nicht mehr effektiv einsetzbar. Weil dieses Gerät ja wirklich nur 1-2 cm tief arbeiten soll. Drei vielleicht maximal und das ist überhaupt nicht zu schaffen wenn der Mähdröschler eine Spur hinterlassen hat“.

dem Fall erfolgt die Stoppelbearbeitung sofort nach der Ernte. Wenn es nicht gewährleistet ist, dass die abgeernteten Flächen nicht mehr am selben Tag bearbeitet werden können, dann entscheidet sich B3 eher dafür die Ernte noch um einen Tag zu verschieben. Für ihn ist es wichtig, dass der Bodenumsatz sofort beginnen kann, und dass hier keine Zeit verloren geht. Die Kapillarität muss gebrochen werden, damit das Wasser im Boden bleibt und die Bodenprozesse starten können³⁹. Bereits sein Vorgänger auf dem Betrieb hat ihn darauf hingewiesen, dass dieser Prozess etwa 10 bis 14 Tage dauert. Diesen Zeitraum kann B3 bestätigen. Nach zehn Tagen Bodenruhe mit voriger Bearbeitung beginnen die Bodenumsetzungsprozesse. Im Idealfall beobachtet B3 auf der bearbeiteten Fläche einen Bewuchs mit „grünen Algen“. Dann ist der richtige Zeitpunkt, um die Zwischenfrucht zu säen. Hierbei wird dann ein Schneckenkornsäugerät für die Breitsaat verwendet. Wenn die Bodenumsetzung nicht zufriedenstellend verlaufen ist, das heißt die Bodengare nicht erreicht wird, wird die Zwischenfrucht mit der Säkombination ausgesät, damit der Boden mit dem Rotottriller noch einmal nachbearbeitet wird⁴⁰.

Der Zwischenfruchtanbau ist einerseits für die Unkrautunterdrückung und auch für die Nährstoffzufuhr wichtig, spielt aber auch eine entscheidende Rolle für den Erhalt und Aufbau der Bodenstruktur und den Humusaufbau durch eine gute Durchwurzelung des Bodens zwischen den Hauptfrüchten und vor allem im Winter⁴¹.

Unkrautregulierung

Der Betriebszweig der Saatgutvermehrung erfordert bei einer flachen Bodenbearbeitung ein gutes Unkrautmanagement. Dafür wurde die Fruchtfolge angepasst. Auf den Flächen mit erhöhtem Ampferbesatz wird die Fruchtfolge ohne Rotklee vermehrt angewendet, um die Ausbreitung von Ampfersamen durch das Rotklee Saatgut zu unterbinden. Sehr wichtig ist der Wechsel zwischen Sommerung und Winterung, um die Verunreinigung durch Auflaufgetreide zu vermeiden. Eine direkte Unkrautregulierung erfolgt durch mehr-

³⁹ Zitat Interview am 5.12.2008 (Teil 2): „... wir sagen immer, und das müssen auch unsere Auszubildenden immer lernen, wenn man so pfluglos arbeiten will und dann auch noch ökologisch ohne Pflanzenschutzmittel. Ist es einfach so wichtig, dass hinter dem Mähdrescher sofort eine Bodenbearbeitung passieren muss. Das ist für uns so wichtig, mir ist es sogar wichtiger noch den Mähdrescher jetzt noch stehen zu lassen, damit ich sicher sein kann das in dem Tag noch fertig gegrubbert wird. Damit sofort Bodenumsatz statt findet. Wir wissen ja eben wenn der Boden gegrubbert wird braucht er so zehn Tage bis die Bodengare da ist. Bis das Bodenleben auch nach oben durch gekommen ist und es anfängt es so richtig gut umzusetzen, das dauert immer so zehn - zwölf Tage, also diese Zeit muss man dem Boden auch geben. Und da darf man keine Zeit verlieren. Hier spielt die Bodenfeuchtigkeit eine große Rolle. Die Kapillarität, die muss sofort gebrochen werden. Also das Wasser ist so wichtig. Und das (die Kapillarität) zu brechen ist so wichtig weil das Bodenleben dann und die Bodengare auch anfängt. Wenn man den Boden im Stoppelfeld liegen lässt und nichts macht, passiert auch nichts.“

⁴⁰ Zitat 11.12.2009: „Hier arbeite ich mit dem Grubber, einen Arbeitsgang, weil wir dann ein bisschen Erde brauchen. Je nach dem nach Bodenzustand, wenn der Bodenzustand so ist, dass wir die Säkombination nehmen müssen, nehmen wir die Säkombination. Wenn sich allerdings, wenn sich das ganz toll schüttet, das Land. Dann streuen wir es einfach mit dem Schneckenkornstreuer und Walzen es nach. Ja, dann ist kein weiterer schwerer Bearbeitungsgang nötig.“

⁴¹ Zitat B3, Interview am 5.12.2008 (Teil 2): „...ja natürlich, als Düngung und alle Vorzüge die ne Grünmasse nun mal hat. Durchwurzelung im Sommer, Humusaufbau, Bodenstruktur, Unkrautunterdrückung, alles, alles hängt ja damit zusammen. Und das bisschen was dann das Saatgut dann kostet. Zwischenfruchtsaatgut kostet ja nur Geld, ist ja auch klar. Aber es rechnet sich alle Mal.“

malige flache Bodenbearbeitung vor der Aussaat, um das Ausfallgetreide und die auflaufenden Unkräuter im „falschen Saatbeet“ mechanisch zu bekämpfen⁴².

5.2.3.5 Interpretation

B3 bezeichnet sich selbst als Ökonom. In seinen Entscheidungen stellt er den betriebswirtschaftlichen Aspekt immer wieder in den Vordergrund. Die Maschinen zur konservierenden Bodenbearbeitung musste er beim Kauf des Betriebs von seinem Vorgänger übernehmen. Aus finanziellen Gründen war es daher für ihn naheliegend die Bodenbearbeitung mit den vorhandenen Maschinen fortzuführen. Den Boden bezeichnet er als seinen wichtigsten Produktionsfaktor. Nach seiner Grenzkostenanalyse würde er auch mit einer intensiveren Bodenbearbeitung auf seinen Böden nicht wesentlich mehr Ertrag erzielen, somit profitiert er von den geringeren Arbeitszeit-, Maschinen- und Treibstoffkosten. Untersuchungen zu ökonomischen Aspekten von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen im konventionellen Anbau bestätigen das Einsparungspotential je nach Verfahren insbesondere bei den Treibstoffkosten (bis zu 24 %) und bei der Arbeitszeit (bis zu 26 %) (Schneider, 2009). Sein Erfolg im Ackerbau ist für ihn in erster Linie vom Boden abhängig.

Ein Hauptziel der Maßnahmen die von B3 in Zusammenhang mit der Bodenbearbeitung genannt werden, ist die Förderung der Bodenfruchtbarkeit, dies bedeutet für ihn aktives Bodenleben und Humusaufbau. In der Arbeit mit dem Boden sieht sich B3 als Impulsgeber. Die eigentliche Arbeit im Boden wird vom Bodenleben „kostenlos“ verrichtet, wenn er die notwendigen Voraussetzungen schafft. Dazu zählen ausreichend Futter für das Bodenleben, der richtige Zeitpunkt der Bodenbearbeitung und eine ständige Bodenbedeckung. Er beschreibt es als schönes Erlebnis, wenn man einmal selbst beobachtet und erfahren hat wie sich durch mechanische Bearbeitung die krümelige Bodenstruktur unterhalb der Bearbeitungstiefe weiterentwickelt. Diese praktische Erfahrung bestärkte ihn darin seine Bearbeitungstiefe nach einigen Jahren weiter zu reduzieren. Mit seinem damaligen Gerät, einem Flügelschargrubber war auf Grund der Bauart eine gleichmäßig flache Bearbeitung unter 10-12 cm nicht möglich. Darum entscheidet er sich für einen dreibalkigen Gänsefußschargrubber und arbeitet nur noch in einer maximalen Tiefe von 7 cm. Ein weiteres besonderes Gerät, das er für die sehr flache Stoppelbearbeitung (3-4 cm) und insbesondere für den Umbruch von Rotklee einsetzt ist der Dyna Drive, den er in England kennengelernt hat.

Ein Vorteil für B3, bei der Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökologischen Anbau war die Tatsache, dass der Boden bereits seit dreizehn Jahren pfluglos bewirtschaftet wurde. Der Boden war somit bereits auf das Bearbeitungssystem eingestellt und B3 konnte sich ganz auf die Herausforderungen einer ökologischen Wirtschaftsweise konzentrieren. Den Nährstoffbedarf regelt er über die Fruchtfolge und die Ausbringung von Hühnermist, der durch seine relativ hohe Nährstoffkonzentration gezielt im zweiten Jahr

⁴² Zitat Interview am 5.12.2008 (Teil 1): „Wir haben zum Beispiel die Fruchtfolge geändert und wir versuchen unsere Zielfruchtfolge tatsächlich auch so umzusetzen. Der Wechsel aus Sommerung und Winterung ist dringend notwendig, damit wir das Auflaufgetreide in Griff kriegen. Das hängt nur damit zusammen, weil es nicht sauber rumgedreht wird. Dadurch hat man natürlich mit Auflaufgetreide immer wieder zu tun. Wir arbeiten ja nur ganz flach.“

nach dem Rotklee eingesetzt wird. Die Unkrautregulierung ist für ihn als Saatgutvermehrung im Ökolandbau ein besonders wichtiges Thema. Mit einer Kombination von verschiedenen Maßnahmen reguliert er das Unkraut. Dazu zählt neben dem Wechsel zwischen Winterung und Sommerung, dass er Flächen mit erhöhtem Ampferbesatz zur Rotkleeergrasvermehrung von vornherein ausschließt. Der Striegel wird bei günstiger Witterung zur aktiven Unkrautregulierung eingesetzt. Obwohl er als Ziel seiner Bewirtschaftung „saubere Felder mit guten Erträgen“ angibt, muss er nicht mehr jede Pflanze bekämpfen. Wie zum Beispiel im Jahr 2008, als der Hederichbesatz auf einem Erbsenfeld so dicht war, dass bei der Blüte des Hederichs, die Hauptfrucht Erbse kaum zu sehen war. Weder die Entwicklung der Erbsen, noch die Ernte wurde von dem Hederich beeinflusst. Im Gegenteil, der Hederich diente als Stützpflanze für die rankende Leguminose. Auf Grund von jahrelangen Erfahrungen und genauer Beobachtung der Felder steigt sein Vertrauen in die natürlichen Entwicklungskreisläufe, die im System selbstregulierend wirken können.

Die Betriebsflächen des etwa 40 km entfernten, elterlichen Betriebs sind seit 1995 in den Betrieb und in die Fruchtfolge integriert. Diese Flächen hat B3 erst seit 2008 auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt. Als Grund nennt er hierfür, dass der Pflug zur Bodenbearbeitung vor Ort vorhanden war und die Anfahrtswege mit Maschinentransport im Vergleich höhere Kosten verursacht hätten. Seit 2008 stehen die Maschinen und die Betriebsgebäude auf dem elterlichen Hof nicht mehr zur Verfügung und somit werden die Flächen mit dem Gänsefußschargrubber bewirtschaftet. Dies unterstreicht seine betriebswirtschaftliche Grundeinstellung zur Unternehmensführung. Nach weiteren Gesprächen wird noch ein anderer Grund für das Zögern in der Umstellung erkennbar. Bis sich der Boden auf das neue Bearbeitungssysteme eingestellt hat, können fünf bis sechs Jahre vergehen. Diese schwierige Zeit gilt es zu überstehen. Trotz seiner zehn Jahre Erfahrung mit einer konservierenden Bodenbearbeitung bedeutet die Umstellung nach wie vor ein hohes Risiko. Mögliche Ertragseinbußen, die sich durch ein anderes Bearbeitungssystem ergeben können, muss B3 als Betriebsleiter verantworten und in die Betriebskalkulation einrechnen.

Seine betriebswirtschaftliche Argumentation ist durch seine Ausbildung geprägt und zeigt seinen unternehmerischen Blickwinkel, durch Optimierung der Produktionskosten den Gewinn zu erhöhen. Gleichzeitig erlebt B3 täglich, dass er von natürlichen Prozessen abhängig ist, die er nicht beeinflussen kann. Anstatt dies als Einschränkung zu sehen versucht er diese natürlichen Prozesse und Zusammenhänge zu nutzen, um davon zu profitieren. Dabei geht er soweit, dass er sein Produktionssystem auf die natürlichen Gegebenheiten anpasst und verändert (z.B. kein Rotklee auf Ampferflächen, flachere Bearbeitung, kein Ölrettich mehr, weil der in milden Wintern nicht richtig abfriert). Diesen Zusammenhang zwischen Produktionsfaktor und Förderung der Bodenfruchtbarkeit herzustellen, setzt ein Wissen und eine Wertschätzung der natürlichen, biologischen Bodenprozesse und eine langfristige Unternehmensstrategie voraus. Im Gespräch mit B3 wird deutlich, dass für die erfolgreiche Umsetzung des theoretischen Wissens in die Praxis eine aufmerksame Beobachtung des Bodens und eine persönliche Erfolgskontrolle der durchgeführten Maßnahmen entscheidend ist.

6 Diskussion

6.1 Diskussion Literatur

Nach wie vor wird darüber diskutiert, ob eine konservierende Bodenbearbeitung überhaupt für den Ökolandbau geeignet ist. Auf Grund der Probleme bei der Unkrautregulierung und möglicher Ertragseinbußen in einigen Langzeitversuchen wurde das System von Wissenschaftlern und Beratern bislang sehr zurückhaltend bis negativ bewertet (Hampl et al., 2005; Kainz et al., 2005; Peigné et al., 2007). Ein Teil der Unkrautprobleme in den beiden ersten Langzeitprojekten (PÖB und Kloostergut Scheyern) sind möglicherweise damit zu erklären, dass mit dem Beginn der Versuche zur Bodenbearbeitung die Umstellung der Flächen auf ökologische Wirtschaftsweise erfolgte. In den neueren Systemvergleichen in der Schweiz und in Frankreich werden die Versuche auf langjährigen Ökoflächen durchgeführt. Außerdem konnte bereits auf Erfahrung vorangegangener Versuche zurückgegriffen werden. In beiden Versuchen beeinträchtigt die Unkrautpopulation bislang nicht die Erträge in den konservierenden Systemen (Peigné et al., 2008; Krauss et al., 2010). Eine differenzierte Betrachtung der Versuche zeigt in den Varianten mit konservierenden Systemen bei vielen Bodenparametern der Bodenfruchtbarkeit eindeutig bessere Ergebnisse (Emmerling et al., 1997; Berner et al., 2008). Im Hinblick auf das Ziel des Ökolandbaus die Bodenfruchtbarkeit zu fördern, wäre demnach eine konservierende Bodenbearbeitung zu begrüßen.

In den Bodenbearbeitungsversuchen werden verschiedene Geräte miteinander verglichen (Tab. 1). Bei einigen Geräten (z.B. Zweischichtenpflug) ist die Bearbeitungstiefe durch die Konstruktion von vornherein vorgegeben und lässt kaum Variationsmöglichkeiten zu. Angaben zur Bearbeitungstiefe sind generell schwierig zu überprüfen und während der Bearbeitung nicht immer konstant einzustellen, weshalb sie als Richtwert zu verstehen sind. Trotzdem ist auffällig, dass in nur zwei Versuchen Arbeitstiefen unter 15 cm in der Versuchsanlage berücksichtigt wurden. Untersuchungen auf Praxisbetrieben zeigen, dass Ökolandwirte, die über zehn Jahre erfolgreich reduzierte Bearbeitungssysteme anwenden, den Boden nicht tiefer als zehn Zentimeter bearbeiten (Wilhelm et al., 2009).

Beim Einsatz der Bodenbearbeitungsgeräte ist es ausschlaggebend, dass die einzelnen Maßnahmen an richtig erkannte Bedingungen angepasst werden (Heuser, 1928). Otto Heuser schrieb in Grundzüge der praktischen Bodenbearbeitung bereits 1928: „bei allen Bodenbearbeitungsmaßnahmen ist die Wahl des richtigen Zeitpunktes der Ausführung für das Gelingen von wesentlicher Bedeutung“. Dies erfordert genaue Kenntnisse und Beobachtung des Bodens. Den richtigen Zeitpunkt für die unterschiedlichen Bearbeitungssysteme bei wissenschaftlichen Versuchen zu erkennen und zu berücksichtigen ist eine große Herausforderung und beeinflusst die Ergebnisse des jeweiligen Systems. Der Effekt, dass sich nach längerer Laufzeit die Erträge bei reduzierten Bodenbearbeitungsversuchen stabilisieren, wird unter anderem auf den erfolgreichen Lernprozess der Versuchsansteller und –techniker mit der neuen Bearbeitungstechnik zurückgeführt (Pekrun et al., 1998). Dies ist auch in Versuchen zur mechanischen Unkrautregulierung im Ökolandbau zu beobachten (Riemens et al., 2007). Der Erfahrungsvorsprung von jahrzehntelang etablierten Anbautechniken gegenüber neu eingeführten Systemen bleibt in Feldversuchen ein Unsi-

cherheitsfaktor. Weitere Versuche sind notwendig, um mehr Erfahrung mit konservierender Bodenbearbeitung zu sammeln und um so den Vorsprung gegenüber Pflugsystemen zu verringern. Die Erfolgsaussichten in Bodenbearbeitungsversuchen steigen, wenn bereits vorhandenes Wissen aus der Praxis berücksichtigt und miteinbezogen wird.

6.2 Diskussion des Feldversuchs

Im Feldversuch wurden die Auswirkungen von konservierender Bodenbearbeitung auf den Feldaufgang von Zwischenfrucht, in Abhängigkeit der Bearbeitungstiefe und der Strohmenge untersucht. Der Pflug wurde als Kontrollvariante mit in den Feldversuch einbezogen, da er nach wie vor das am meisten verwendete Bodenbearbeitungsgerät ist (BMELV, 2004). Im Hinblick auf einen nicht vollständigen Pflugverzicht im Ökolandbau wird die Bearbeitung vor Aussaat der Zwischenfrüchte als mögliche Einstiegsvariante untersucht. Der Feldversuch hat auf Flächen eines Versuchsbetriebs stattgefunden, auf dem im regulären Praxisbetrieb alle Flächen jährlich, bis in eine Tiefe von 25 cm gepflügt werden. Zur Stoppelbearbeitung wird ein Flügelschargrubber eingesetzt. Es wird keine konservierende Bodenbearbeitung auf den Flächen durchgeführt. Dementsprechend waren auf diesem Versuchsbetrieb kaum eigene Technik zur konservierenden Bodenbearbeitung und keine praktische Erfahrung vorhanden. Durch die gemeinsame Nutzung des Kombinationsgrubbers mit dem Projektpartner Kiel erfolgte die Bearbeitung zum Teil unter besonderem Zeitdruck. Insbesondere im Projektjahr 2008 mussten Kompromisslösungen für die erste Bearbeitung gefunden werden, da das Gerät nicht zur Verfügung stand. Alle Entscheidungen zur Bodenbearbeitung sind von der Autorin gefällt worden, die bis dato theoretisches Wissen zur konservierenden Bodenbearbeitung hatte, aber noch keine Erfahrungen in der Praxis sammeln konnte.

Das eigens entwickelte Strohverteilungssystem mit Hilfe des Mähdreschers hat gute Ergebnisse geliefert (Kapitel 3.1.2.). Es ist darauf zu achten, dass nur Mähdrescher mit Schnittbreiten bis zu sechs Metern eingesetzt werden. Bei größeren Arbeitsbreiten ist u.a. durch den Einfluss von Seitenwind keine gleichmäßige Verteilung über die ganze Schnittbreite mehr gegeben (Voßhenrich, 2001). Die sehr homogenen Flächen in allen drei Versuchsjahren ergaben optimale Voraussetzungen für einen Feldversuch, in dem verschiedene Bearbeitungsvarianten miteinander verglichen werden, da damit der Einfluss von unterschiedlichen Bodenarten auf den Feldaufgang und die Ertragsentwicklung der Zwischenfrucht weitestgehend ausgeschlossen werden konnten.

Wird eine konservierende Bodenbearbeitung hauptsächlich mit dem Ziel eingeführt, den Boden vor Erosion zu schützen, dann ist der Bedeckungsgrad ein entscheidender Faktor. Bei einer Bodenbedeckung von 30 % verringert sich der Bodenabtrag im Vergleich zum unbedeckten Boden um 50 % (Brunotte, 2003). Um einen nennenswerten Erosionsschutz zu erzielen, sollte deshalb dieser Bodenbedeckungsgrad mindestens erreicht werden. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass der Bedeckungsgrad von der Strohmenge und der Bearbeitungstiefe abhängt (Kapitel 3.2.1.). Nach einer ersten flachen Bearbeitung wird auch bei geringen Strohmenngen ein Bedeckungsgrad von über 30 % erzielt. Nur auf Flächen, von denen das Stroh abgefahren wurde, wird dieser Richtwert nicht mehr erreicht. Nach einer zweiten Bearbeitung mit dem Grubber in 13-15 cm Tiefe wird der Bedeckungsgrad auch bei hohen Strohmenngen in keinem der drei Versuchsjahre zuverlässig erreicht. Im

Gegensatz dazu wird nach einer zweiten flachen Bearbeitung mit dem Grubber der Bedeckungsgrad von 30 % in allen Versuchsjahren ab einer Strohmenge von 60 dt/ha erreicht. In 2008 und vor allem 2009 wird dieser Wert auch noch bei 40 dt Stroh/ha erreicht. Dabei ist zu beachten, dass Strohmenngen von 60 dt/ ha und 80 dt/ha in einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb kaum erreicht werden. Aus diesem Grund wurde nach dem ersten Versuchsjahr überlegt, auf die zweite Bodenbearbeitung zu verzichten, um die Mindestanforderung an den Bedeckungsgrad sicherzustellen. Damit wäre aber der wichtige Effekt der Unkrautregulierungsmaßnahme, insbesondere auf das Ausfallgetreide nicht mehr gewährleistet gewesen. Somit wurde der Versuchsaufbau nicht geändert. Die Auswertung der Entwicklung der Bedeckungsgrade an den einzelnen Messpunkten zeigt zudem, dass bei einer flachen zweiten Bearbeitung der Bedeckungsgrad in den meisten Messpunkten im Gegensatz zur zweiten tiefen Bearbeitung wieder ansteigt. Das Stroh, das in der flachen Variante im ersten Durchgang mit wenig Erde vermengt wird, wird dann in der zweiten Bearbeitung wieder an die Bodenoberfläche geholt. In der tiefen Grubbervariante wird das Stroh bis in eine Tiefe von 15 cm mit Erde vermischt, hier sinken daher die Bedeckungsgrade nach einer zweiten tiefen Bearbeitung. Im dritten Versuchsjahr wurden nach der ersten Bearbeitung mit dem Kombinationsgrubber deutlich höhere Bedeckungsgrade als in den Vorjahren gemessen, obwohl die Bearbeitungstiefe mit 5-7 cm Tiefe gleich geblieben ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass keine herzförmigen Stoppelschare zur Stoppelbearbeitung verwendet wurden und die Wendelschare bereits sehr abgenutzt waren. Da die vorangegangenen Versuche gezeigt haben, wie wichtig eine möglichst frühe Aussaat der Zwischenfrucht für den Versuchsverlauf ist, wurde die Lieferung der neuen Schare nicht abgewartet, sondern die Stoppelbearbeitung durchgeführt. Wie die Ergebnisse im Feldaufgang und in der Trockenmasse zeigen, ist diese Entscheidung im Nachhinein als negativ für den Versuchsverlauf in den Grubberparzellen zu beurteilen.

Im Feldaufgang sind in den Versuchsjahren 2007 und 2008 keine Unterschiede zwischen Pflug und Grubber zu erkennen (Kapitel 3.2.2). Die in allen Bearbeitungsvarianten schlechten Auflaufsraten im Versuchsjahr 2007 lassen sich auf die hohen Niederschläge und dadurch bedingten sehr nassen und kalten Bodenverhältnisse zurückführen. In den Folgejahren ist der Feldaufgang mit über 80 % der ausgesäten Samenkörner in allen Versuchsvarianten als gut zu bewerten. Im letzten Versuchsjahr (2009) zeigen die Ergebnisse zum Feldaufgang einen deutlichen Unterschied zwischen den Bearbeitungsvarianten Grubber und Pflug. Diese Unterschiede lassen sich unter anderem auf die schlechte Stoppelbearbeitung zurückführen. Das Stroh liegt nach der Ernte in Schwaden auf der späteren Versuchsfläche. Vor dem Pressen wird das Stroh mindestens zweimal gewendet, damit es schneller trocknet. Dadurch ergibt sich in diesen Schwadflächen ein verstärktes Auftreten von Ausfallgetreide. Bei der ersten Bearbeitung war der Boden sehr hart und auf Grund der abgefahrenen Schare des Grubbers wurden keine flächige Bodenbearbeitung und keine gute Durchmischung erzielt. Als die zweite Bearbeitung bei idealen Bodenverhältnissen durchgeführt wurde, war bereits sehr viel Unkraut und Ausfallgetreide auf den ehemaligen Schwadflächen gekeimt. Nach der zweiten Bearbeitung war deutlich sichtbar, dass trotz neuer Wendelschare nicht alle Triticale- und Unkrautkeimlinge erfasst wurden. In der Praxis wäre eine dritte Bearbeitung, etwas versetzt zur Fahrtrichtung empfehlenswert gewesen, um das Ausfallgetreide effektiv zu dezimieren. Das vorhandene Unkraut und die Triticalepflanzen hatten bei der Aussaat des Ölrettichs bereits einen fast zweiwö-

chigen Entwicklungsvorsprung. Möglicherweise haben diese die Entwicklung der Ölrettichkeimlinge in den Grubberparzellen beeinträchtigt. Dies ist später auch in den Trockenmasseerträgen ersichtlich. Ein weiterer Grund könnte die ungleichmäßige Durchmischung des Bodens bei der ersten Bearbeitung sein. Untersuchungen haben gezeigt, dass vor allem physikalische Ursachen den Feldaufgang beeinflussen und dass sich eine möglichst intensive Zerkleinerung des Strohs im Häcksler und eine gleichmäßige Verteilung durch den Mähdrescher, auf den Feldaufgang positiv auswirken (Voßhenrich, 2001). Da in keinem Jahr ein deutlicher Einfluss der Strohmenge auf den Feldaufgang festzustellen ist, scheint es unwahrscheinlich, dass eventuell beim Strohabbau entstehende Phytotoxine die Keimung der ausgesäten Folgefrucht beeinträchtigt haben (Lynch, 1977). Auch in anderen Feldversuchen zu Direktsaatsystemen konnte dieses, in Gefäßversuchen aufgetretene Phänomen, bislang nicht nachgewiesen werden (Cook et al., 1991; Voßhenrich, 2001).

Die Trockenmasseerträge der Zwischenfrucht sind in allen drei Jahren niedrig (Kapitel 3.2.3.). Im konventionellen Anbau wird bei einer Aussaatstärke von 18 kg/ha zum spätesten Aussaattermin Mitte August ein Trockenmasseertrag von 40 dt/ha angegeben (Baeumer, 1992). Im Versuchsjahr 2009 konnte der Ölrettich am 14.08. ausgesät werden, dies war im Vergleich aller drei Versuchsjahre der früheste Termin. Die höchsten Trockenmasseerträge (bis 25 dt/ha) wurden 2009 in den Pflugparzellen erreicht. Dieses Ergebnis bestätigt, dass sich eine frühe Aussaat entscheidend auf die Ertragsentwicklung von Zwischenfrüchten auswirkt (Baeumer, 1992). Die späte Aussaat und die schlechten Witterungsverhältnisse sind daher vermutlich auch die Hauptgründe für die niedrigen Trockenmasseerträge im ersten Versuchsjahr. Im Durchschnitt lagen die Erträge in den Pflugparzellen bei etwa 10 dt/ha und in den Grubbervarianten bei 7,5 dt/ha. Bei der Beurteilung des Ertragsniveaus ist zu berücksichtigen, dass der Versuch 2007 und 2009 jeweils am Ende der Fruchtfolge durchgeführt wurde, sowie 2008 nach einer Getreideernte mit einem Durchschnittsertrag von 80 dt Triticale/ha. Die Ergebnisse der N_{\min} Analysen zu Versuchsbeginn bestätigen, dass keine Stickstoffreserven mehr im Boden vorhanden sind. Auf eine Stallmistdüngung zur Zwischenfrucht wurde dennoch verzichtet, um die Bodenbedeckungsgrade durch die Mistgabe nicht zu beeinflussen. Der Unterschied im Trockenmasseertrag zwischen Pflug und Grubber ist in den Parzellen mit viel Stroh deutlich ausgeprägter, als in der Null-Parzelle. Pflanzen und Mikroorganismen konkurrieren im Boden um Nährstoffe, insbesondere dann, wenn wenige Nährstoffe vorhanden sind. Bei der Mineralisierung von organischer Substanz (hier Stroh) durch die Mikroorganismen findet gleichzeitig eine Immobilisierung statt, da Nitrat und Ammonium in die Körpersubstanz der Mikroorganismen eingebaut werden (Baeumer, 1992). Die Immobilisierung wird zudem vom weiten C/N Verhältnis des Strohs beeinflusst. Somit ist zu erklären, dass die Mikroorganismen die Nährstoffe, die nach der zweiten Bodenbearbeitung mineralisiert wurden (siehe Kapitel 3.2.4.), absorbiert haben, um in den Grubberparzellen das Stroh abbauen zu können. Dem Ölrettich stehen diese Nährstoffe dann nicht zur Verfügung. In den Pflugparzellen wird das Stroh in so tiefe Schichten vergraben, dass eine Umsetzung während des Wachstums der Zwischenfrucht nicht begonnen hat. Dies bestätigen die höheren N_{\min} -Werte in den Pflugparzellen (siehe Bild 18) und die Ergebnisse der Spatendiagnose (Kapitel 3.2.5.). Die generell niedrige mikrobielle Aktivität in den Böden des Versuchsbetriebs könnte zudem diesen Prozess beeinflussen (Brandt et al., 2003). Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass das Stroh im normalen Betriebsverlauf von allen Flächen abgeräumt wird, da es zur Ein-

streu benötigt wird. Eine Untersuchung zeigt, dass konventionell bewirtschaftete Böden, in die regelmäßig größere Mengen an Stroh eingearbeitet werden, eine andere mikrobielle Biomassenzusammensetzung aufweisen, als ökologisch bewirtschaftete Böden, in die kein Stroh eingearbeitet wird (Scheller et al., 2008). Dies wird hauptsächlich auf die unterschiedliche Bewirtschaftungsweise zurückgeführt. Möglicherweise haben aber auch die regelmäßigen Strohgaben einen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse im Boden. Hierzu wären weitere bodenbiologische Untersuchungen notwendig.

Der Versuch zeigt, dass die Bearbeitung vor der Zwischenfrucht ein guter Einstieg für konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau sein kann. Soll diese Bearbeitung zum Erosionsschutz eingesetzt werden, ist besonders bei Ökobetrieben, die ihr Stroh vom Feld abfahren auf die Bearbeitungstiefe zu achten. Durch die Verbesserung der Durchmischungsqualität der neuen Bodenbearbeitungstechnik wird ein Bedeckungsgrad von 30 % gerade bei tiefer Bearbeitung nicht erreicht und verschärft somit die Erosionsproblematik. Die geringen Unterschiede zwischen der flachen und tiefen Grubbervariante in den Trockenmasseerträgen sprechen für eine flachere Bearbeitung. In allen drei Versuchsjahren werden in den Parzellen mit Pflug die höchsten Trockenmasseerträge erreicht. Bei der Versuchsdurchführung von Feldversuchen zur Bodenbearbeitung wird immer wieder darauf hingewiesen, dass bei Einführung von konservierender Bodenbearbeitung der Boden mehrere Jahre benötigt, um sich entsprechend umzustellen und vergleichbare Ertragsleistungen zu erbringen. Dies wird unter anderem auf die Veränderungen des Bodenlebens zurückgeführt (Pekrun et al., 1998). Dieser positive Langzeiteffekt der Steigerung der Bodenfruchtbarkeit kann sich auf Grund des kurzfristigen Einsatzes der konservierenden Bodenbearbeitung nicht entwickeln. Bei einem gemischten Verfahren (Pflug und konservierend) ist somit mit Ertragseinbußen zu rechnen.

6.3 Diskussion der Umfrage zur praktischen Bodenbearbeitung im Ökolandbau

An der Umfrage zur Bodenbearbeitung haben mit 367 beantworteten Fragebögen 1,75 % der 21.009 Ökobetriebe in Deutschland (BÖLW, 2009) teilgenommen. Dabei wurden in allen Bundesländern Bauern erreicht. Die gute Zusammenarbeit mit dem Johan Heinrich von Thünen-Institut (vTI) war ausschlaggebend für die erfolgreiche Durchführung der Umfrage. Nur so war es möglich, mit relativ geringem Arbeits- und Zeitaufwand insgesamt 3.000 Ökobauern in Deutschland speziell zur Bodenbearbeitung zu befragen. Die gute Rücklaufquote des Zusatzfragebogens zur Bodenbearbeitung und die gewissenhafte Beantwortung aller Fragen zeigen eine große Mitteilungsbereitschaft und das Interesse der Landwirte am Thema Bodenbearbeitung (Kapitel 4.1.). Vor allem die offene Frage vier wurde genutzt, um zum Teil sehr differenzierte Angaben zur Bodenbearbeitung zu machen, Erfahrungen mitzuteilen und persönliche Meinungen zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau zu äußern. Dabei wird deutlich, dass die unterschiedlichsten Kriterien, die Landwirte zur Entscheidungsfindung für die geeignete Maßnahme berücksichtigen, anhand eines Fragebogens nur bedingt erfasst werden können. Die Ergebnisse geben einen Überblick über den Geräteeinsatz und die Intensität der Bearbeitung im Ökolandbau. Auf Grund der zur Verfügung stehenden Datenauswertung einer Umfrage zur Bodenbearbeitung im Rahmen einer Diplomarbeit von Werland (1990) können mögliche Entwicklungen und/oder Tendenzen in der Bodenbearbeitung im Ökolandbau diskutiert werden. Bei diesem Vergleich ist zu berücksichtigen, dass sich die Grundgesamtheit der Ökobetriebe und die Rahmenbedingungen im Ökolandbau seit 1990 geändert haben. Die Anzahl der Ökobetriebe in Deutschland ist von etwa 3.000 Betrieben im Jahr 1990 (SÖL/Hrsg., 2008) auf 19.824 Ökobetriebe (BÖLW, 2009) gestiegen und seit 1992 gibt es europaweit eine gesetzliche Regelung zur Erzeugung von ökologischen Produkten (EG-Öko-Basisverordnung 834/2007 Art. 12, 2007).

Erwartungsgemäß ist der Pflug das meist verwendete Gerät zur Grundbodenbearbeitung. 94 % der befragten Ökobauern besitzen einen Pflug und im Vergleich zur Befragung von 1990 (95 %) hat sich an diesem Prozentsatz wenig geändert (Werland, 1990). Die Maschinenaufzählungen in Frage eins zeigen jedoch, dass gleichzeitig eine Vielzahl von anderen Bodenbearbeitungsgeräten eingesetzt wird. Nach dem Pflug ist der Grubber mit Abstand das am häufigsten genannte Gerät. Der Zweischichtenpflug, der bei der Umfrage von Werland (1990) noch von 10,9 % der Ökobetriebe genutzt wurde, wird nur noch von einem Betrieb genannt. Unter den Landwirten, die nur „andere Geräte“ einsetzen, fällt der relativ hohe Anteil von Stoppelhobel und Dammkulturgeräten auf. Hier handelt es sich um Geräte, die in Kombination mit einem bestimmten Bodenbearbeitungssystem angeboten werden. In der Auswertung der Bearbeitungsgeräte und der Betriebsform (siehe 4.2.1.3) verwundert auf den ersten Blick, dass die Mehrzahl der Betriebe, die ohne Pflug wirtschaften Futterbaubetriebe bzw. Betriebe mit Weidehaltung sind. In der Literatur wird der Erfolg pflugloser Bodenbearbeitungssysteme unter anderem auch vom Engagement und den fachlichen Fähigkeiten des Managements im Ackerbau abhängig gemacht (Köller, et al., 2001). Daher wäre es eher zu erwarten gewesen, dass sich ambitionierte Ackerbauern an eine pfluglose Bearbeitung wagen. Die Auswertung der Frage, nach dem Zeitpunkt des

möglichen Pflugverzichts in der Fruchtfolge unter 4.2.4 bestätigt jedoch die Antworten. Hier wird am häufigsten die Aussaat von Ackerfutter ohne Pflug genannt, gefolgt von der pfluglosen Vorbereitung der Zwischenfruchtaussaat. Anscheinend sind das geringere Risiko von Ertragseinbußen bei Futterbaubetrieben und der mögliche Einsparungsfaktor der Bearbeitungskosten für den Einsatz von konservierenden Bearbeitungssystemen ein wichtiger Faktor. Der hohe Anteil der Ackerbaubetriebe, die den Pflug in Kombination mit anderen Geräten einsetzen deutet darauf hin, dass Ackerbaubetriebe einerseits zwar Alternativen zum Pflugeinsatz suchen, auf der anderen Seite aber das hohe Risiko eines totalen Pflugverzichts auf ihren Flächen nicht eingehen wollen.

Bei den Antworten zur Bearbeitungstiefe ist besonders zu berücksichtigen, dass es sich bei der Befragung um eine Selbsteinschätzung der Landwirte handelt. Insbesondere in den Grenzbereichen der Bearbeitungstiefen 20/21 cm und 25/26 cm ist davon auszugehen, dass sich die Bauern im Zweifel eher in die flachere Kategorie eingeordnet haben. Der Anteil der Bauern, die ihren Boden tiefer als 20 cm bearbeiten ist mit 42 % bereits als hoch zu bewerten, er dürfte in der Praxis aus dem genannten Grund noch etwas höher liegen. In diesen Tiefen arbeiten 52 % der Betriebe, die angeben haben, neben dem Pflug noch andere Geräte einzusetzen (Kapitel 4.2.2.1.). Obwohl aus der Fragestellung nicht eindeutig hervorgeht, für welche Geräte diese Arbeitstiefen angegeben wurden, wird angenommen, dass in der Bearbeitungstiefe ab 21 cm hauptsächlich der Pflug eingesetzt wird. Nur 22 % der Betriebe bearbeiten ihren Boden flacher als 16 cm. 1990 sollten die Ökobauern die Arbeitstiefen bei fünf vorgegebenen Kulturen (Weizen, Roggen, Hafer, Ackerbohnen, Kartoffeln) angeben. Im Durchschnitt bearbeiteten damals über ein Drittel der Ökobetriebe ihre Flächen maximal 15 cm tief (Werland, 1990). Die Ergebnisse zur Bearbeitungstiefe zeigen, dass sich insbesondere im ökologischen Ackerbau eine intensivere Bodenbewirtschaftung durchgesetzt hat. In Kombination mit dem Anstieg der Anzahl der viehlosen Ökobetriebe (Schmidt, 2003), der Ausweitung der Spezialisierung (Poiret, 1999; Best, 2008) und dem Rückgang der vielfältigen Fruchtfolgen ist zu erkennen, dass das Prinzip zum Erhalt und Förderung der Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau in Deutschland in der praktischen Umsetzung an Bedeutung verloren hat.

Im Rahmen der Diskussion zum Pflugeinsatz im Ökolandbau wird als mögliche Alternative oft ein teilweiser Verzicht des Pfluges in der Fruchtfolge genannt (Debruck, 2001; Köpke, 2003; Emmerling, 2003; Hampl et al., 2005). Eine direkte, abgesicherte Aussage über den Anteil der Ökobauern, die teilweise auf den Pflug verzichten, ist anhand der Umfrage nicht eindeutig zu treffen. In Frage eins geben zwar 38 % der Landwirte an noch weitere Geräte neben dem Pflug einzusetzen, dabei wird aber nicht ersichtlich, ob sie diese in Kombination mit dem Pflug oder als Alternative zum Pflug verwenden. In Frage drei schreiben 24 % der Bauern, dass sie ihre gesamte Ackerfläche pflügen. Demnach läge der Anteil der Landwirte, die in der Grundbodenbearbeitung teilweise auf dem Pflug verzichten bei 76 %. Hierbei sind jedoch auch die Landwirte berücksichtigt, die eventuell mit Untersaaten arbeiten und/oder mehrjährige Kulturen anbauen und daher systembedingt nicht pflügen. Diese Bauern konnten auf Grund ihrer Angaben in Frage vier aussortiert werden. Hier machen 177 Bauern zwischen ein und sechs Angaben zum Zeitpunkt des Pflugverzichts in ihrer Fruchtfolge. Demnach würden 48 % aller befragten Ökobauern mindestens ein bis zwei Mal in der Fruchtfolge auf den Pflug verzichten. Von diesen 48 % schränkten 6% der Bauern ihren Pflugverzicht noch mal ein, indem sie ihn von äußeren

Bedingungen wie Wetter, Bodenverhältnisse, Unkrautdruck, abhängig machen. Trotz dieser Einschränkung verzichten mehr als 40 % der Ökobauern mindestens einmal in der Fruchtfolge auf den Pflug. Am häufigsten wird vor Zwischenfrüchten und vor Ackerfutter auf den Pflug verzichtet. Dies könnte darauf hinweisen, dass Landwirte versuchen auf ihren Flächen Erfahrung zu sammeln. Dabei experimentieren sie bei den Fruchtfolgegliedern, die für ihren Betrieb das geringste Risiko beinhalten, sollte es zu Ertragsausfällen kommen.

Zum Schluss wurde nach den Gründen gefragt, warum die Landwirte den Pflug auf ihren Betrieben einsetzen (Kapitel 4.2.5.). Die hier gegebenen Antworten sind - wie alle Angaben - aus der jeweiligen persönlichen und einzelbetrieblichen Situation entstanden. Darum sind diese Angaben für die individuelle Situation immer richtig. Im Sinne einer konstruktiven Auseinandersetzung mit dem Thema „Bodenbearbeitung im Ökolandbau“ könnten daher insbesondere die genannten Gründe zum Pflugverzicht nur im einzelbetrieblichen Kontext mit den Bauern diskutiert werden. Dieser Kontext ist in einer Umfrage nicht gegeben. Trotzdem ergeben sich aus den Antworten möglicherweise Hinweise für die Forschung und für die Beratung und in diesem Sinne werden die drei wichtigsten genannten Gründe: „Unkrautbekämpfung“, „organische Masse in den Boden bringen, reiner Tisch“ und „gute Erfahrung mit dem Pflug“ diskutiert.

Im Zusammenhang mit Bodenbearbeitung im Ökolandbau wird die Unkrautproblematik immer wieder thematisiert, darum verwundert es nicht, dass die Unkrautbekämpfung als Hauptgrund für den Pflugeinsatz genannt wird. Bisher gibt es keine gesicherten Angaben darüber, dass der Pflug für eine effektive Unkrautregulierung im Ökolandbau unbedingt notwendig ist. Neuere Untersuchungen aus verschiedenen Langzeitprojekten zur Bodenbearbeitung sehen keine negativen Auswirkungen des Unkrauts auf die Ertragsentwicklung bei konservierender Bodenbearbeitung (Schulz et al., 2009; Krauss et al., 2010) (siehe auch Kapitel 2.6.2.1). Vielmehr wird darauf hingewiesen, dass für ein erfolgreiches Unkrautmanagement im Ökolandbau generell ein systemischer Ansatz mit unterschiedlichen Maßnahmen verfolgt werden muss (Bärberi, 2002). Anhand einer Praxiserhebung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen in Deutschland kommt Schneider zu dem Schluss, dass sich die Intensität der Unkrautregulierung in konservierenden Verfahren - bei gleichbleibendem Ertragsniveau - nicht von der in einem Pflugsystem unterscheidet (Schneider, 2003). Diese Erkenntnisse aus der Forschung sind erste Schritte für einen möglichen Wandel in der öffentlichen Diskussion. Weitere Untersuchungen unter Praxisbedingungen sind notwendig, um die Beratung im Ökolandbau zu überzeugen und zu unterstützen. Als zweiter wichtiger Grund wurde „das Einbringen von organischer Masse in den Boden, reiner Tisch“ genannt. Da Erwiesenermaßen ein tiefes Vergraben der organischen Masse mit dem Pflug für das Bodenleben nicht förderlich ist, ist es schwer vorstellbar, dass die Zielvorstellung des „reinen Tisches“ den Ausschlag gegeben hat, diese Antwort anzukreuzen. Dies stünde im Widerspruch mit den pflanzenbaulichen Anforderungen des Ökologischen Landbaus. Wahrscheinlicher scheint es, dass sich hinter der Antwort die Problematik des Klee-Grasumbruchs im Ökolandbau verbirgt, die mit dem Pflug zuverlässig funktioniert. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Landmaschinenindustrie in den letzten Jahren ihre Bodenbearbeitungstechnik zur konservierenden Bearbeitung in vielen Bereichen sehr stark verbessert hat. Gleichzeitig fehlen vielen Landwirten die finanziellen

Mittel für neue Maschinenanschaffungen und so können sie nicht von den Entwicklungen der Technik profitieren.

45 % der befragten Landwirte geben als Grund für den Pflugeinsatz an, dass „sie schon viele Jahre gute Erfahrungen mit dem Pflug gemacht haben“. Diese Landwirte sehen entweder keine Notwendigkeit ihre Bodenbearbeitung zu ändern, oder für sie ist die Erfahrung in einer Bearbeitungstechnik ein entscheidender Faktor, für die erfolgreiche Durchführung. Im letzteren Fall wäre für sie ein Wechsel im Bearbeitungssystem mit einem zu hohen Risiko für den Betrieb verbunden, dass sie ohne ausreichende Erfahrung nicht eingehen würden. Dieses Risiko kann verringert werden, wenn man auf bereits gemachte Erfahrungen von anderen Betrieben zurückgreift. Ein Hinweis, dass viele Landwirte den Erfahrungsaustausch suchen und wahrnehmen, sind die sehr gut besuchten Feldtage und Seminare zum Thema Bodenbearbeitung. Hier berichten meist erfolgreiche Pioniere von ihren eigenen Erfahrungen und stehen für Fragen zur Verfügung. Eine ähnliche Zielvorstellung steht hinter den Experteninterviews, die im Kapitel 5 vorgestellt wurden und die im Anschluss diskutiert werden.

6.4 Diskussion der Experteninterviews

Der Praxisbezug ist in der Agrarwissenschaft ein wichtiger Bestandteil der Forschung (DFG, 2005). In der vorgestellten Methode ist er nicht nur ein Bestandteil, sondern das praktische Wissen der Landwirte ist der Forschungsgegenstand. In wissenschaftlichen Feldversuchen steht im Unterschied dazu der zu untersuchende Gegenstand – in diesem Fall der Boden bzw. die Kulturpflanze – im Mittelpunkt. Mit spezifischen, quantifizierenden Messmethoden werden dabei Probleme zielgerichtet analysiert (Fry, 2001). Bei der Methode der Experteninterviews steht nicht das Problem im Fokus, sondern das Verständnis für das vom Landwirt durchgeführte System. Mit der Methode werden Handlungen und die damit verbundenen Ziele deutlich (Kaufmann, 2008). In diesem Fall sind es Maßnahmen, die bei einer konservierenden Bodenbearbeitung von Ökobauern durchgeführt werden. Die unterschiedlichen Bedingungen der Landwirte finden sich in den einzelnen Maßnahmen wieder. Anhand der Analyse von Handlungen und verfolgten Zielen werden die Entscheidungen der Landwirte für Dritte nachvollziehbar. Die Experteninterviews stellen somit eine wertvolle Ergänzung der Ergebnisse von Feldversuchen dar. Insbesondere mit Hinblick auf einen praxisorientierten Lösungsansatz für eine konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau.

Bei der Auswahl der Bauern, war die langjährige Erfahrung mit der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau das Hauptkriterium. Somit wurde sichergestellt, dass sich das System der Bearbeitung über mindestens zwei Fruchtfolgeperioden im Betrieb erfolgreich etabliert hat. Der Erfolg bezieht sich dabei auf eine nachhaltige und langfristige Beibehaltung der konservierenden Bodenbearbeitung, dies bedeutet auch, dass für mögliche, auftretende Probleme bereits Lösungen gefunden wurden. Da die Anzahl an Landwirten in Deutschland, die über zehn Jahre konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau betreiben sehr begrenzt ist, ist es als positiv zu bewerten, dass die drei Betriebe unterschiedliche Betriebsschwerpunkte und unterschiedliche Bearbeitungsgeräte repräsentieren. Jedoch waren unter dieser ersten Auswahl keine Betriebe mit einem hohen Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge. Da der Anbau von Hackfrüchten ein ökonomisch interes-

santer Betriebszweig für Ökobetriebe ist, der gleichzeitig eine besondere Herausforderung für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit darstellt, wäre es wünschenswert in Folgeuntersuchungen solche Betriebe gezielt auszusuchen und zu berücksichtigen.

Bei sozialwissenschaftlichen Untersuchungen wird darauf hingewiesen, dass bei der Durchführung von offenen Experteninterviews der Interviewer nicht „zu schnell, zu schlau wird“, um seine Beobachterrolle nicht zu gefährden und nach wie vor sogenannte Selbstverständlichkeiten auch weiterhin hinterfragen zu können (Wolff, 2004). In dem vorliegenden landwirtschaftlichen Kontext konnte eine vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre hergestellt werden, in der diese Rollenverteilung funktioniert hat. Keiner der Landwirte hat in der Interviewerin eine Spezialistin und/oder Beraterin der Bodenbearbeitung im Ökolandbau gesehen. Nach mehrmaligen Besuchen und zunehmender Dauer der eigenen Forschungsarbeit, war es zur Klärung von einzelnen Sachverhalten jedoch wichtig, spezifische Fragen zu stellen. Zwar wurde dadurch die Naivität im Bezug auf die Forschungsfrage nicht uneingeschränkt aufrecht erhalten, es wurde aber besonders darauf geachtet, die Souveränität der Landwirte in ihren betrieblichen Entscheidungen nicht in Frage zu stellen. Somit wurden die Bauern in den Interviews nicht in eine Verteidigungs- bzw. Rechtfertigungsrolle gedrängt, um zu vermeiden, dass Antworten gegeben werden, die die Interviewerin vermeintlich zufriedenstellen. Alle drei Bauern zeigten eine große Bereitschaft ihre Arbeit zu beschreiben und Fragen zu beantworten. Alle Landwirte haben bereits einige Vorträge über konservierende Bodenbearbeitung gehalten. Es ist davon auszugehen, dass sie in diesem Zusammenhang kritische Fragen von Kollegen beantworten mussten und daher aus ihrem persönlichen, betrieblichen und biographischen Hintergrund plausible Erklärungen entwickelt haben. Selbstverständlich konnte die praktische Bodenbearbeitung vor Ort so oft wie möglich mit verfolgt werden. Durch die teilnehmende Beobachtung wird gewährleistet, dass nicht nur das Wissen theoretisch reflektiert wird, sondern die tatsächlichen Handlungen erfasst werden (Baars et al., 2007).

Da in der Interpretation der Fallbeispiele die einzelnen Maßnahmen bereits im betrieblichen Kontext diskutiert wurden, wird hier auf die Themen eingegangen, die in allen drei Betrieben eine wichtige Rolle spielen. Bei der Analyse der einzelnen Handlungsbereiche fällt auf, dass in der Bodenbearbeitung ähnliche Ziele verfolgt werden. Im Zentrum steht bei B1 und B3 die „Förderung des Bodenlebens“ und bei B2 die „Förderung der Bodengare“, wobei auch bei der „Förderung der Bodengare“, das Bodenleben ausschlaggebend ist (Sekera, 1984). Die Begründungen, warum die Förderung des Bodenlebens so wichtig ist, sind sehr unterschiedlich. Für B1 steht die Umsetzung eines ökologischen Ideals im Vordergrund. B3 argumentiert aus einem ökonomischen Blickwinkel und für B2 ist entscheidend, dass er so seine Unkrautprobleme lösen konnte. Für diese Untersuchung ist interessant, dass aus einem komplexen Zusammenhang, der im jeweiligen betrieblichen Hintergrund verschiedene Schwerpunkte haben kann, das gleiche Ziel verfolgt wird, „die Förderung des Bodenlebens“. Offensichtlich ist dies für den Erfolg des jeweiligen Betriebssystems im Ackerbau von großer Bedeutung. Im direkten Zusammenhang zur Förderung des Bodenlebens stehen in allen Betrieben die flache Bearbeitung und das Vermeiden von Bodenverdichtungen.

Obwohl alle drei Bauern mit verschiedenen Bearbeitungsgeräten arbeiten, hat sich die Bearbeitungstiefe unabhängig voneinander auf einem ähnlichen Niveau eingependelt. Zwei der interviewten Betriebe arbeiten auf sehr flachgründigen Böden, dies begünstigt

eine flache Bearbeitung, schließt eine tiefe Bearbeitung jedoch nicht aus. Jahrzehntlang wurden dieselben flachgründigen Böden tief bearbeitet. Alle drei arbeiten heute „so flach wie möglich“, dies bedeutet nicht tiefer als 10 cm. Dabei wird diese flache Bodenbearbeitung als Impulsgeber bezeichnet. Die „eigentliche“ Bearbeitung erfolgt durch das Bodenleben, das durch eine flache Bearbeitung am wenigsten in seiner Aktivität beeinträchtigt wird. Die Landwirte haben erfahren, dass der „Boden“ in ihrem Sinne arbeitet, wenn sie vorab die geeigneten Voraussetzungen dafür schaffen. Sie haben ein Vertrauen in die natürlichen Bodenprozesse. Den Landwirten ist bewusst, dass sich jede Bearbeitung und jedes Befahren negativ auf das Bodenleben auswirken kann. In diesem Zusammenhang berichten die Bauern von den Schwierigkeiten beim Erlernen einer eher passiven, abwartenden Grundhaltung. Insbesondere in den Situationen, in denen zwar technisch eine Bearbeitung möglich wäre, aber die Erfahrungen gezeigt haben, dass ein Abwarten in dieser Lage sinnvoller ist.

Eine Voraussetzung für die oben beschriebene flache Bearbeitung ist das Vermeiden von jeglicher Bodenverdichtung. Am konsequentesten ist B1, der nur noch mit einer maximalen Achslast von 5 t und einem Luftdruck von 0,8 bar auf seine Felder fährt. Des Weiteren ist interessant, dass alle drei Landwirte eine eigene Erntetechnik besitzen und nicht mit Lohnunternehmen zusammen arbeiten; wobei nur ein Landwirt als Hauptgrund dafür das Vermeiden von Bodenverdichtung angibt. Bodenverdichtung ist eine der Hauptursachen von Bodendegradation landwirtschaftlicher Nutzflächen in Europa (Hamza et al., 2005; Kuhlmann et al., 2008). Die Auswirkungen des Einsatzes von immer schwereren Landmaschinen auf den Boden werden in der Wissenschaft intensiv diskutiert (Håkansson, 1994; Ehlers et al., 2000; Schäfer-Landefeld et al., 2004; Batey, 2009). Insbesondere schwere Traktoren (> 5 t) haben negative Effekte auf die Struktur von Ober- und Unterboden (Bakken et al., 2009). Um Unterbodenverdichtungen zu verhindern wird eine maximale Radlast von 3,3 t beim Befahren der Felder bei Feldkapazität gefordert (Horn et al., 2009). In diesem Sinne zeigen die drei Fallbeispiele, wie Bodenverdichtung in der Landwirtschaft vermieden werden kann. Dabei ist ausschlaggebend, dass die Landwirte ihr Ziel in erster Linie jedoch nicht aus abstrakten Gründen des Bodenschutzes verfolgen. Sondern, weil sie die praktische Erfahrung gemacht haben, dass bereits geringe Bodenverdichtungen unmittelbare negative Auswirkungen auf ihre Erträge haben. Diese unmittelbare Erfahrung ist bei einer Bearbeitung mit dem Pflug nicht gegeben, da hier die Verdichtungen mechanisch gelockert werden, sich aber in tiefere Schichten fortsetzen und dann längerfristig Probleme verursachen (Zink et al., 2009).

Die Unkrautregulierung ist in der Diskussion zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau ein wichtiges Thema. Alle drei Bauern sehen keine Probleme mit Unkräutern auf ihren Feldern. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass zwei der Betriebe Saatgutvermehrung betreiben. Ein hoher Unkrautdruck würde deutliche Ertragseinbußen durch höhere Reinigungskosten und auch die Gefahr der Aberkennung nach sich ziehen. Auf allen Betrieben wird eine Vielzahl von Maßnahmen zur Unkrautregulierung durchgeführt. Dies entspricht einem systemischen Ansatz in der Unkrautregulierung, der als erfolgsversprechende Methode im Ökolandbau gilt (Bärberi, 2002). Die aktive Unkrautregulierung erfolgt bei allen drei Bauern gezielt und konsequent durch eine flache, mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat. Diese Maßnahme wird von weiteren indirekten Maßnahmen, wie Fruchtfolge, Bodenbedeckung, Berücksichtigung von Bodenverhältnissen etc. unterstützt. Nur ein

Landwirt setzt als weitere direkte Maßnahme einen Striegel zur Unkrautregulierung ein. Die Stärke eines ökologischen Unkrautmanagements liegt dabei in der Kombination von verschiedenen Maßnahmen, gleichzeitig erhöht sich dadurch die Komplexität des Systems, dies setzt besondere Fähigkeiten des Bauern voraus (Bastiaans et al., 2008).

In allen drei vorgestellten Konzepten der konservierenden Bodenbearbeitung spielt die Beobachtung des Bodens eine bedeutende Rolle. Die Beobachtungen erfolgen in unterschiedlichster Ausführung und Intensität. In einem Fall wird unter anderem einmal im Jahr bis in eine Tiefe von 1,5 Metern in den Boden gegraben, um die Wurzelentwicklung der Pflanzen im Boden zu beobachten. Alle drei Landwirte sprechen davon, dass man ein "Gefühl (Gespür) für den Boden" bekommen muss. Dieses Gefühl für den Boden wurde nicht näher beschrieben (vergleiche Fry, 2001). Im Sinne der naturwissenschaftlichen Definition von Bodenfruchtbarkeit werden im „Gefühl für den Boden“ die verschiedenen Bodenparameter in ihren komplexen Zusammenhang gebracht. Vor allem die biologischen und physikalischen Parameter werden, in den vorliegenden Fallbeispielen in Beziehung zueinander gestellt und im Kontext des eigenen Betriebes analysiert. Anhand der aufgeführten Ziele wird dies für jedes Fallbeispiel deutlich. Es wird nicht abstrakt von der „Förderung der Bodenfruchtbarkeit“ gesprochen, sondern unter anderem von der „Vermeidung der Bodenverdichtung“, „Zwischenfruchtanbau“, „Fütterung des Bodenlebens durch jede Form von organischer Substanz“. Dabei sind die dahinterliegenden Maßnahmen so abgestimmt, dass sich diese in ihrer Wirkung nicht behindern.

7 Schlussfolgerung

Die Ökologische Landwirtschaft ist ein Anbausystem, das auf ökologischen Prozessen, Biodiversität und Kreisläufen beruht (IFOAM, 2006). In der Forschung der Ökologischen Agrarwissenschaften wird daher ein besonderer Wert auf die systemaren Beziehungen zwischen Boden, Pflanze, Tier, Mensch und Technik gelegt (FB11, Universität Kassel, 1999). Dabei sind neben den klassischen erprobten Forschungsansätzen der Agrarwissenschaften andere Methoden notwendig, die die Komplexität des Systems erfassen. Im Rahmen der Interventionstheorie, die sich mit der Steuerung von komplexen Systemen auseinandersetzt, wird darauf hingewiesen, dass adäquate Analysemethoden komplexe Systeme nicht künstlich zerteilen und in behandelbare Aspekte auflösen, denn so werden sie ihrer Systemqualität entledigt (Willke, 1994). In diesem Forschungsprojekt zur konservierenden Bodenbearbeitung wurden vier Methoden zur Untersuchung herangezogen, um durch verschiedene Schwerpunkte und Blickwinkel der Komplexität des Themas gerecht zu werden. Dadurch können unterschiedliche Aspekte der Bodenbearbeitung in einem Gesamtzusammenhang diskutiert werden. Eine Methode, die den oben genannten Anforderungen zur Analyse von komplexen Systemen am nächsten kommt, sind die Experteninterviews (Kapitel 5). Anhand der drei detaillierten Einzelfallanalysen werden die Ziele, Maßnahmen und dahinterliegenden Begründungen der Landwirte in der Bodenbearbeitung sichtbar.

Der Boden und vor allem die Bodenfruchtbarkeit sind zentrale Themen seit Entstehung der Ökologischen Landbaubewegung. Die Ergebnisse der Literaturrecherche von Langzeitprojekten zur Bodenbearbeitung zeigen, dass die konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau einen besonderen Beitrag zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit leisten kann. Aus diesem Grund ist eine weitere Forschung und Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau weiter zu verfolgen. Dabei sollte die Diskussion über eine Auswahl geeigneter Bodenparameter zur Definition von „Bodenfruchtbarkeit“ im Ökolandbau wiederbelebt und weitergeführt werden, um so ein Konzept und den Wert für die Forschung festzulegen (Patzel et al., 2000).

Die Ergebnisse des Feldversuchs zeigen, dass im Hinblick auf Teilaspekte der Bodenfruchtbarkeit wie dem Erosionsschutz besonders auf die Durchführung der Bearbeitungsmaßnahme zu achten ist. Bei der technischen Entwicklung der konservierenden Bodenbearbeitungsgeräte ist ein Schwerpunkt auf die Verbesserung der Einarbeitung der Ernterückstände gelegt worden. Im Feldversuch wird deutlich, dass im praktischen Einsatz die Bearbeitungstiefe in allen Strohvarianten großen Einfluss auf die zu erreichende Qualität des Erosionsschutzes hat. Unter den Bedingungen des Feldversuchs ist bei einer Bearbeitungstiefe von 15 cm bereits mit Einschränkungen des Erosionsschutzes und somit mit Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit zu rechnen.

Die Umfrageergebnisse zeigen im Bezug auf die Thematik der „Bodenfruchtbarkeit“ ein ambivalentes Bild der aktuellen Situation. Auf der einen Seite werden anhand der Ergebnisse ein großes Interesse und ein erhöhter Bedarf an Informationen zu Alternativen bei der Bodenbearbeitung ersichtlich. Gleichzeitig verzichten etwa 40 % der Ökobetriebe zumindest teilweise auf den Pflug. Auf der anderen Seite zeigt sich jedoch im Vergleich zur ökologischen Bodenbearbeitung vor 20 Jahren, dass tendenziell eine intensivere und tiefe-

re Bearbeitung auf den Ökobetrieben durchgeführt wird. Dies lässt, in Kombination mit den Ergebnissen der Literaturrecherche, des Feldversuchs und weiteren Hinweisen auf eine zunehmende „Konventionalisierung“ des Ökolandbaus (Lindenthal et al., 2007; de Wit et al., 2007; Best, 2008), die Schlussfolgerung zu, dass im praktischen Ökolandbau das obengenannte Ziel der „Förderung der Bodenfruchtbarkeit“ an Bedeutung verloren hat.

Anhand der Analyse der konservierenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen der drei vorgestellten Landwirte wird deutlich, dass in den untersuchten Betrieben das zentrale Ziel der Bodenbearbeitung, der Erhalt und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit ist. Dies bestätigt Ergebnisse von Cougenhour (2003), der bei konventionellen Landwirten, die ihre Bodenbearbeitung auf Direktsaat mit Herbizideinsatz umgestellt haben, eine neue Werte-Orientierung („new value-orientation“) und Verständnis für ein komplexes Ökosystem beobachtet. Anhand der Ergebnisse der Experteninterviews lässt sich jedoch nicht feststellen, ob es sich um eine „neue“ Werte-Orientierung handelt. Auf Grund der oben diskutierten Zielsetzung des Ökolandbaus ist theoretisch davon auszugehen, dass der Wert der „Förderung der Bodenfruchtbarkeit“ auf allen Ökobetrieben verankert ist. Für eine Beurteilung, ob diese Werte-Orientierung ausschließlich auf die konservierende Bodenbearbeitung zurückzuführen ist, sind weitere Untersuchungen notwendig, insbesondere auf Betrieben, die ihre Flächen jährlich tief pflügen.

In wissenschaftlichen Untersuchungen, wird das Management von komplexen Systemen in der Landwirtschaft meistens als „schwierig“ dargestellt (Watson et al., 2002; Bastiaans et al., 2008). Dabei wird die „Schwierigkeit“ oft als Erläuterung herangezogen, warum diese Strategien nur von wenigen Bauern angenommen werden. Die Ergebnisse der Experteninterviews zeigen, dass zumindest diese Bauern die Schwierigkeiten überwinden konnten und dies nicht als primären Hindernisgrund empfunden haben. Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Umsetzung waren die kontinuierliche Beobachtung des Bodens, sowie die Reflexion der eigenen Handlungen in Bezug auf die Auswirkungen auf den Boden, den Aufwuchs und/oder das Unkraut. Dabei ist besonders wichtig, dass sich die Bauern Spielräume geschaffen haben, die es ihnen ermöglichen in ihrem neuen System auch Fehler zu machen und unterschiedliche Möglichkeiten auszuprobieren. So wird ein Bodenbewusstsein und Wissen darüber entwickelt, welche Ziele mit welchen Maßnahmen erreicht werden können. An den Einzelbeispielen wird deutlich, dass die Durchführung von konservierender Bodenbearbeitung Entscheidungen in allen Managementbereichen des Betriebes erfordert, wie es für ein komplexes System zu erwarten ist.

Im Rückblick auf diese Forschungsarbeit stellen komplexe Systeme eine besondere Herausforderung für die Beratung und die Forschung dar. Da es in komplexen Systemen keine allgemeingültigen und einfach reproduzierbaren Ergebnisse und somit keine Patentlösungen gibt (Willke, 1994), muss jede individuelle Situation neu beurteilt werden. Dies erfordert eine Beratung, die ihren Schwerpunkt auf die Wissensvermittlung legt, damit Landwirte individuelle und standortangepasste Entscheidungen treffen können, um somit die Komplexität ihres Systems zu erhalten und zu fördern. Für die Forschung im Ökolandbau besteht die Herausforderung unter anderem darin, Ergebnisse aus einzelnen Exaktversuchen im Kontext des gesamten Systems zu beurteilen und zusammenzuführen und dabei die Vielfalt als Stärke zu sehen. Wie dies gelingen kann, beschreibt Sir Howard bereits 1940 im „An Agricultural Testament“, hier zitiert nach der deutschen Ausgabe von

(2005) : „...die Forscherin, muss sowohl Bäuerin und Wissenschaftlerin sein und muss gleichzeitig alle in Frage kommenden Faktoren bei ihren Erwägungen berücksichtigen...“.

8 Zusammenfassung

Trotz der unmittelbaren Abhängigkeit vom Boden gehört die heutige moderne Landwirtschaft weltweit zu den Hauptverursachern von Bodendegradation. Der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und die Förderung der Bodengesundheit waren eine der wichtigsten Zielsetzungen bei der Gründung der Ökologischen Landbaubewegung. Seitdem wird über eine angepasste Bodenbearbeitung diskutiert. Konservierende Bodenbearbeitungssysteme werden hauptsächlich aus Gründen der ungenügenden Unkrautregulierung für den Ökolandbau als nicht geeignet eingeschätzt. In der konventionellen Landwirtschaft breitet sich die konservierende Bodenbearbeitung immer mehr aus und hat eine breite Lobby, die den Erosionsschutz, die Energieeinsparungen und den Humusaufbau dieser Bearbeitungssysteme hervorhebt. Um auch in Zukunft dem Anspruch eines umweltfreundlichen und bodenschonenden Bewirtschaftungssystems gerecht zu werden, muss sich die Forschung im Ökolandbau den Herausforderungen einer konservierenden Bodenbearbeitung stellen.

Anhand von vier Methoden (Literaturrecherche, Feldversuch, Umfrage und Experteninterviews) werden die unterschiedlichen Aspekte der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau erfasst, um die Chancen und Risiken im Ökolandbau zu evaluieren.

Im Literaturteil werden die Entwicklungen in der Grundbodenbearbeitung und der aktuelle Stand der Forschung in der konservierenden Bodenbearbeitung im Ökolandbau aufgezeigt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Ergebnissen von neun Langzeitversuchen, die unter ökologischen Anbaubedingungen verschiedene Bodenbearbeitungssysteme im Feldversuch verglichen haben.

In dem dreijährigen Feldversuch auf den Versuchsflächen der Universität Kassel wurde das Mulchsaatverfahren nach Getreide mit zwei verschiedenen Bearbeitungstiefen (5-7 cm und 13-15 cm) zur Zwischenfrucht Ölrettich mit dem Pflugeinsatz (25 cm) verglichen. Dabei wurden insbesondere der Bodenbedeckungsgrad nach der Bearbeitung und der Feldaufgang des Ölrettichs untersucht.

- Bei tiefer Bearbeitung mit dem Grubber (15 cm) wird der für einen nennenswerten Erosionsschutz notwendige Bedeckungsgrad von 30 % nicht zuverlässig erreicht.
- Die geringen Unterschiede zwischen der flachen und tiefen Grubbervariante im Feldaufgang und in den Trockenmasseerträgen sprechen für eine flachere Bearbeitung.
- In allen drei Versuchsjahren sind die Trockenmasseerträge in der Pflugvariante am höchsten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Boden mehrere Jahre benötigt, um sich auf eine neue Bodenbearbeitung einzustellen. Dieser positive Langzeiteffekt kann sich bei einem gemischten Verfahren (Pflug und konservierend), wie es im Feldversuch praktiziert wurde, nicht entwickeln. Daher ist bei kurzfristigen konservierenden Verfahren mit Ertragseinbußen zu rechnen.

Um einen Überblick über die aktuelle Situation der Bodenbearbeitung auf Ökobetrieben in Deutschland zu erhalten, wurde ein Fragebogen an 3.000 Ökobetriebe verschickt. 367 Ackerbauern beantworteten fünf Fragen zur Bodenbearbeitung auf ihren Betrieben.

- 56 % der Betriebe geben an nur mit dem Pflug zu arbeiten, 38 % nennen neben dem Pflug mindestens ein weiteres Gerät zur Bodenbearbeitung und 6 % arbeiten ohne Pflug.
- 42 % der befragten Ökobetriebe in Deutschland bearbeiten den Boden tiefer als 20 cm. 22 % der Betriebe arbeiten maximal 15 cm tief, davon bleiben 4 % unter einer Bearbeitungstiefe von 10 cm. Die Ergebnisse zur Bearbeitungstiefe zeigen, dass sich im Vergleich zu einer ähnlichen Umfrage von 1990 eine intensivere Bodenbewirtschaftung durchgesetzt hat.
- Etwa 40 % der Ökobauern verzichten mindestens einmal in der Fruchtfolge auf den Pflug. Am häufigsten wird vor Zwischenfrüchten und vor Ackerfutter auf den Pflug verzichtet.
- Als Hauptgründe für den Pflugeinsatz nennen die Landwirte die „Unkrautbekämpfung“ (86 %), „organische Masse in den Boden bringen“ (56 %) und „viele Jahre schon gute Erfahrung mit dem Pflug“ (45 %).

Die langjährigen Erfahrungen von drei Ökobauern mit der konservierenden Bodenbearbeitung wurden mit Hilfe von Experteninterviews erfasst und analysiert.

- Alle drei Betriebsleiter stellen in der Bodenbearbeitung die Förderung des Bodenlebens als Zielsetzung in den Mittelpunkt. In diesem Zusammenhang spielt die Bearbeitungstiefe und das Vermeiden von Bodenverdichtung eine wichtige Rolle.
- Die aktive Unkrautregulierung erfolgt bei allen drei Bauern gezielt und konsequent durch eine flache, mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Aussaat. Diese Maßnahme wird von weiteren indirekten Maßnahmen unterstützt.
- Durch die Beobachtung und Auseinandersetzung mit dem Boden entwickeln die Landwirte - nach ihren Aussagen - ein „Gefühl für den Boden“. Der Wert des Bodenlebens für die Bodenfruchtbarkeit wurde für sie unmittelbar erfahrbar und erkannt.

Anhand der Ergebnisse aller vier Methoden wird deutlich, dass eine konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau möglich ist. Im Sinne der Förderung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der Entwicklung eines Bodenbewusstseins in der Ökologischen Landwirtschaft ist dieses Konzept der Bodenbearbeitung auch als notwendig zu bezeichnen. Allerdings ist dabei die Bodenbearbeitung nicht isoliert zu betrachten. Wie die Ergebnisse der Experteninterviews zeigen, sind im Konzept der konservierenden Bodenbearbeitung Entscheidungen in vielen Teilbereichen des Ökobetriebs zum Erfolg notwendig.

9 Summary

The major causes of soil degradation worldwide are the impacts of modern agriculture practices, although farming depends completely on soil. The protection and development of soil fertility have been one main objective for the founding of the organic agriculture movement. Since this time the discussion about the suitable tillage system for organic farming is ongoing. Conservation tillage systems are considered unsuitable due to insufficient weed control in plough less systems. Compared to organic agriculture, the conservation tillage methods are more and more adapted in conventional agriculture systems and have a wide spread lobby. Especially the soil protection against erosion problems, the less energy use and the development of humus in these tillage systems give strong arguments in terms of environmental issues. If the organic agriculture would like to defend its claim of an environmental and soil protective agriculture system the research has to deal with the challenges of conservation tillage.

With the help of four methods (research on literature, field experiment, survey and expert interview) the different aspects of conservation tillage have been recorded to evaluate the constraints and possibilities of this tillage system in organic agriculture.

In the literature part the development of the tillage systems and the current state of research of conservation tillage in organic agriculture are shown. The emphasis was on the results of nine long term field experiments which compared different tillage machinery under organic conditions.

In a three years field experiment at the research farm of the University of Kassel a conservation tillage system with two different tillage depths (5-7 cm and 13-15 cm) have been compared with the plough system (25 cm), before the seeding of the intercrop oil radish.

- A soil cover of 30 %, which is considered as the minimum for a soil protection effect has not been reached steadily in the field experiment with the working depth of 13-15 cm.
- The low differences in the dry matter mass of the oil radish between the two cultivator variations in the experiment support a shallow tillage.
- In all three years of the field experiment, the highest yield in oil radish dry matter has been reached in the ploughed plots. It should be considered, that the soil needs some time to adapt the conditions for shallow tillage. This positive long term effect for shallow tilled soils will probably not be developed in mixed systems, if the cultivator is only used for tillage of intercrop (like in this field experiment). Therefore in mixed systems there might be a yield depression in comparison with the plough.

A survey at 3000 organic farms in Germany has been conducted to get an overview of the current situation of tillage in Germany. 367 organic farmers with crop land answered five special questions about their tillage system.

- 56 % of the farmers are working only with the plough, 38 % mention at least one other machinery for tillage and 6 % till the soil without plough.

- 42 % of the organic farmers interviewed in Germany tilled the soil deeper than 20 cm. 22 % of them work not deeper than 15 cm, thereof 4 % working till 10 cm. The results of the working depth shows in comparison of results from a similar study in 1990, that in the organic farming concerning the working depth a more intensive farming system has been developed.
- About 40 % of the farmers questioned disclaim at least one time in their crop rotation the plough. Mainly before intercrops and before feed crops. This signs that other tillage systems have been tested at crops where there is a minor risk for the whole farm, if problems occurred.
- The major reasons for the organic farmer to use the plough are “weed control” (86 %), “incorporate organic matter in the soil” (56 %) and “the good and long experience with the plough” (45 %).

The long experience of three organic farmers with conservation tillage have been recovered and analyzed by expert interviews.

- All three farmers center as main objective “supporting the soil life” with different actions (e.g. “enough organic matter”, “inter crop”, “diversification of plants”) in combination with shallow tillage and avoiding of any soil compaction.
- None of them mentioned weed problems on their fields. The direct weed control is done at all three farms by so called “false seedbed”, which means preparing the seedbed a sufficient number of days before drilling to let the weed seeds germinate and emerge it with a second tillage. If there is a high number of weed emerged after the first time, the procedure is repeated. This direct weed control is supported by a several number of indirect measures.
- Due to the intensive observation and examination with their soil the farmers have developed – according their evidence – a “feeling for the soil”. For them the value of soil fertility built up by the soil life is evident.

The results of the four methods show that conservation tillage is suitable in organic farming. In the sense of protection and promotion of soil fertility and the development of soil conscience this concept should be considered as necessary in organic agriculture. However the tillage can not be separated from the whole system. The results of the expert interviews show that successful conservation tillage in organic farming needs decision in several parts of the organic farm system.

10 Literaturverzeichnis

- Abbott L. K. und Murphy D. V. [Hrsg.] 2007. Soil Biological Fertility. Dordrecht : Springer, 2007. S. 264.
- Abt T. 1983. Fortschritt ohne Seelenverlust. Bern : Hallwag AG, 1983.
- Amberger A. 1996. Pflanzenernährung. Stuttgart : Ulmer, 1996. S. 319. 4. Auflage.
- Anken T., Richner W., Mäder P. und Schmid O. 2009. Stickstoffausnutzung, Beikrautregulierung und Erträge unterschiedlicher Bestellverfahren. [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2009, Bd. 1, S. 30-33.
- Anken T., Irla E., Heusser J., Schmid O. und Mäder P. 2005. Bestellverfahren und Stickstoffdüngung in biologischen und integrierten Anbausystemen. Agroscope FAT Tänikon. Ettenhausen : Agroscope FAT Tänikon, 2005. S. 8.
- Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J. und Perhacova K. 2004. Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. Soil & Tillage Research. 2004, Bd. 78, S. 171-183.
- Anken T. und Irla E. 2000. Minimum tillage and mechanical weed control in winter wheat. [Hrsg.] Thomas Alföldi, William Lockeretz und Urs Niggli. Proceedings 13th IFOAM Scientific Conference. Zürich : vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2000, S. 409.
- Auerswald K., Kainz M. und Fierner P. 2003. Erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. Soil Use and Management. 2003, 19, S. 305-311.
- Auerswald K. 1998. Bodenerosion durch Wasser. [Hrsg.] Gerold Richter. Bodenerosion - Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1998, S. 33-42.
- Baars T. und Baars E. 2007. Erfahrungswissenschaften und Expertenblick - Eine Forschungsmethode inspiriert von der biologisch-dynamischen Landwirtschaft. [Hrsg.] S. Zikeli, et al. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau - Zwischen Tradition und Globalisierung. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2007, Bd. II, S. 791.
- Baeumer K. 1992. Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart : Eugen Ulmer, 1992.
- Baeumer K. 1991. Bodenfruchtbarkeit als wissenschaftlicher Begriff: Kenngrößen und Prozesse im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion im Agrarökosystem. [Hrsg.] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey, 1991, Bd. 1, S. 29-45.
- Baeumer K. 1970. First experiences with direct drilling in Germany. Netherlands Journal of Agricultural Science. 18, 1970, 4, S. 283-292.

- Bakken A.K., Brandstätter L.O., Eltun R., Hansen S., Mangerud K., Pommeresche R. und Riley H. 2009. Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. *Soil and Tillage Research*. 103, 2009, S. 433-441.
- Balfour E.B. 1956. *The Living Soil*. 6. London : Faber and Faber Limited, 1956. S. 258.
- Bàrberi P. 2006. Tillage: How bad is it in organic agriculture? [Hrsg.] Paul Kristiansen, Acram Taji und John Reganold. *Organic Agriculture: A Global Perspective*. Oxon : CABI Publishing, 2006, S. 295-303.
- Bàrberi P. 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed research*. 2002, 42, S. 177-193.
- Bassemir U.K. 2005. 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau - Auswirkung auf die Besiedlung von Collembolen. [Hrsg.] J. Heß und G. Rahmann. Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau. Kassel : Verlag Kassel university press, 2005, S. 9-10.
- Bastiaans L., Paolini R. und Baumann D.T. 2008. Focus on ecological weed management: what is hindering adoption? *Weed Research*. 2008, 48, S. 481-491.
- Batey T. 2009. Soil compaction and soil management - a review. *Soil Use and Management*. 2009, 25, S. 335-345.
- Berg M., Haas G., Leisen E. und Schenke H. 2003. Stickstoffmanagement im ökologisch wirtschaftenden Betrieb: Minderung von Stickstoffverlusten. [Hrsg.] Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Dokumentation 10 Jahre Leitbetriebe ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes: Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft Nr. 105. Bonn : s.n., 2003, S. 64-75. <http://orgprints.org/2295/>.
- Berner A., Hildermann I., Fließbach A., Pfiffner L., Niggli U. und Mäder P. 2008. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*. 2008, 101, S. 89-96.
- Berner A., Hildermann I., Thalmann M., Hügl C., Frei R. und Mäder P. 2006. Pflugloser Ökoanbau auf schweren Böden. *Lebendige Erde*. 2006, 3, S. 40-45.
- Berner A., Frei R. und Mäder P. 2006. Neuer Langzeitversuch über Bodenbearbeitung, Düngung und Präparate. *Organic Eprints*. [Online] September 2006. www.orgprints.org/9269.
- Berner A., Frei R., Dierauer H.-U., Vogelsang S., Forrer H.-R. und Mäder P. 2005. Effects of reduced tillage, fertilisation and biodynamic preparations on crop yield, weed infestation and the occurrence of toxigenic fusaria. [Hrsg.] Ulrich Köpke, et al. *Researching Sustainable Systems. Proceedings of the First Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR)*. Bonn : ISO FAR, 2005, S. 202-205.
- Berntsen J., Grant R., Olesen J.E., Kristensen I.S., Vinther F.P., Molgaard J.P. und Petersen B.M. 2006. Nitrogen cycling in organic farming systems with rotational grass-clover and arable crops. *Soil Use and Management*. 2006, 22, S. 197-208.

- Berry P.M., Sylvester-Bradley R., Philipps L., Hatch D.J., Cuttle S.P., Rayns F.W. und Gosling P. 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitorgen? *Soil Use and Management*. 2002, 18, S. 248-255.
- Best H. 2008. Organic agriculture and the conventionalization hypothesis: A case study from West Germany. *Agriculture and Human Values*. 2008, Bd. 25, S. 95-106.
- Beste A., Hampl U. und Kussel N. 2001. *Bodenschutz in der Landwirtschaft*. Bad Dürkheim : Stiftung Ökologie & Landbau, 2001. S. 111.
- Bioland e.V. Verband für organisch-biologischen Landbau, [Hrsg.]. 2008. *Bioland-Richtlinien für Pflanzenbau, Tierhaltung und Verarbeitung*. Mainz : s.n., 2008. S. 50.
- BMELV. 2007. Direktzahlungen Verpflichtungenverordnung. Gesetze und Verordnungen. [Online] BMELV, 04. 04 2007. [Zitat vom: 22. 02 2010.] http://www.bmelv.de/cln_163/SharedDocs/Rechtsgrundlagen/D/Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung.html.
- BMELV. 2004. Daten & Fakten. 96. Landwirtschaftliche Betriebe mit nichtwendender Bodenbearbeitung. [Online] 2004. [Zitat vom: 19. 01 2010.] <http://www.bmelv-statistik.de/index.php?id=139>.
- Böhm C., Landgraf D. und Makeschin F. 2009. Effects of two contrasting agricultural land-use practices on nitrogen leaching in a sandy soil of Middle Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2009, Bd. 172, 4.
- BÖLW. 2009. Zahlen, Daten, Fakten: die Bio-Branche 2009. Berlin : Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V. (BÖLW), 2009.
- Bond W. und Grundy A.C. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*. 2001, 41, S. 383-405.
- Brandt M., Heß J., Finckh M., Jörgensen R. G., Kölsch E., Sauke H., Schenck z. Schweinsberg M., Schüler C. und Otto M. 2003. Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. Universität Kassel. Witzenhausen : Bundesprogramm Ökologischer Landbau, 2003. S. 80.
- Brandt M., Wildhagen H. und Heß J. 2003. Flächendeckendes Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. [Hrsg.] B. Freyer. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien : Universität für Bodenkultur Wien, 2003, S. 671-672.
- Brandt M., Wildhagen H. und Heß J. 2001. Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen : Kartier- und Analysenergebnisse. Kassel : Arbeitsberichte/Universität Gesamthochschule Kassel, 2001. Arbeitsbericht 5.
- Braun M. 2008. Vergleich verschiedener Kleeegrasmischungen im ökologischen Landbau anhand der Wurzel- und Sprossleistung. Freising : Diplomarbeit Fachhochschule Weihenstephan Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, 2008.
- Brunotte J., Voßhenthich H.-H. und Epperlein J. 2008. Anforderungen an die Bodenbearbeitung - Deutschland. [Hrsg.] DLG e.V. Schonende Bodenbearbeitung - Systemlösungen für Profis. Frankfurt am Main : DLG Verlag, 2008.

- Brunotte J. 2003. Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis: Bodenerosion mindern, Bodenleben fördern. Nachhaltige Bodennutzung - aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht. Braunschweig : Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 2003, S. 79-86.
- Bugge H., Christian Rasmussen J. und Sogaard C. 2005. Kemink subsoiling before and after planting. *Soil and Tillage Research*. 2005, 80, S. 59-68.
- Catt J.A., Howse K.R., Christian D.G., Lane P.W., Harris G.L und Goss M.J. 2000. Assessment of tillage strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research*. 2000, 53, S. 185-200.
- Chen H., Marhan S., Billen N. und Stahr K. 2009. Soil organic-carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Württemberg (southwest Germany). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2009, 172, S. 32-42.
- Cleff T. 2009. Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse. Wiesbaden : Gabler, 2009. S. 202.
- Clive J. 2008. Global Status of Commercialized biotech/GM crops: 2008 . Ithaka, NY : ISAAA, 2008.
- Cook R. J. und Haglund, W. A. 1991. Wheat Yield Depression Associated with Conservation Tillage Caused by Root Pathogens in the soil not Phytotoxine from the straw. *Soil Biology Biochemistry*. 1991, Bd. 23, 12, S. 1125-1132.
- Cormack W. F. 2000. organic eprints; 8169: Energy use in organic farming systems (OFO 182). Bericht Terrington. [Online] 2000. [Zitat vom: 05. 05 2009.] <http://orgprints.org/8169/>.
- Coughenour C. M. 2003. Innovating Conservation Agriculture. The Case of No-Till Cropping. *Rural Sociology*. 2003, 68, S. 278-304.
- Dalgaard T., Halberg N. und Porter J. R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2001, 87, S. 51-65.
- de Wit J. und Verhoog H. 2007. Organic values and the conventionalization of organic agriculture. *NJAS-Wageningen journal of life science*. 2007, Bd. 54, 4, S. 449-462.
- Debruck J. 2001. Die Grundbodenbearbeitung im biologischen Landbau aus kritischer Sicht. [Hrsg.] Hans-Jürgen Reents. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2001, S. 199-202.
- Deike S., Pallutt B. und Christen O. 2008. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*. 2008, Bd. 28, 3, S. 461-470.
- Derpsch R. und Friedrich T. 2009. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. *Proceedings 4th World Congress on Conservation Agriculture*. New Delhi : 4th World Congress on Conservation Agriculture, 2009, S. 429-438. leadpaper: session 4.1.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). 2005. Perspektiven der agrarwissenschaftlichen Forschung: Denkschrift. Weinheim : Wiley-VCH, 2005. S. 148.
- Djurhuus J. und Olsen P. 1997. Nitrate leaching after cut grassclover leys as affected by time of ploughing. *Soil Use and Management*. 1997, 13, S. 61-67.

- DLG e.V., [Hrsg.]. 2008. Schonende Bodenbearbeitung - Systemlösungen für Profis. Frankfurt am Main : DLG-Verlags- GmbH, 2008. S. 220.
- Drücker H., Hartung E. und Reckleben Y. 2008. Förderung der Mulchsaat durch Entwicklung und Erprobung einer Sensor- und Verfahrenskombination zur Präzisionsbodenbearbeitung. Land.Technik 2008, Landtechnik regional und international. Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2008, S. 321-328.
- ECFA. 2005. CA in Europe. European Conservation Agriculture Federation. [Online] 2005. [Zitat vom: 22. 02 2010.]
http://www.ecaf.org/index.php?option=com_content&task=view&id=53&Itemid=52.
- EG-Öko-Basisverordnung 834/2007 Art. 12. 2007. EG-Öko-Basisverordnung 834/2007. [Online] BMELV, 28. Juni 2007. [Zitat vom: 22. 02 2010.]
http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/560584/publicationFile/28001/834_2007_EG_%C3%96ko-Basis-VO.pdf.
- Ehlers W., Werner D. und Mähner T. 2000. Wirkung mechanischer Belastung auf Gefüge und Ertragsleistung einer Löss-Parabraunerde mit zwei Bearbeitungssystemen. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2000, 163, S. 321-333.
- Emmerling C. 2003. Funktionen und Leistungen von Bodenorganismen unter den besonderen Bedingungen des Ökologischen Landbaus und Konsequenz für die Bodenbearbeitung. Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. Darmstadt : KTBL, 2003, S. 30-38.
- Emmerling C. 2001. Response of earthworm communities to different types of soil tillage. Applied Soil Ecology. 2001, 17, S. 91-96.
- Emmerling C., Seitz L. und Schröder D. 1997. Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau auf Nährstoffhaushalt und mikrobiologische Eigenschaften von Böden sowie die Besiedlung von Regenwürmern. [Hrsg.] Ulrich Köpke und Jons A. Eisele. Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 1997, S. 49-53.
- Engelke T. und Pallutt B. 2004. Bedeutung der Grundbodenbearbeitung für die Regulierung der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 2004, Sonderheft XIX, S. 553-561.
- Estler M. und Knittel H. 1996. Praktische Bodenbearbeitung. Frankfurt am Main : DLG - Verlags-GmbH, 1996. Bd. 2. völlig überarbeitete Auflage.
- Europäische Gemeinschaft [Hrsg.]. 2007. Europa in Zahlen, Eurostat Jahrbuch 2006-07. Luxemburg : s.n., 2007. S. 378.
- Europarat. 1972. Council of Europe. Committee of Ministers; 211 meeting of the Ministers' Deputies Res (72) 19E/30 May 1972, European Soil Charter. [Online] 30. May 1972. [Zitat vom: 15. 12 2009.]
<https://wcd.coe.int/com.instranet.InstraServlet?command=com.instranet.CmdBlobGet&InstranetImage=588295&SecMode=1&DocId=644074&Usage=2>.
- Eyth M. 2006. Baumwollfelder unterm Dampfpflug - Als Ingenieur in den Südstaaten Amerikas 1866-1868. [Hrsg.] Dr. Klaus Herrmann. Lenningen : Edition Erdmann, 2006. S. 319.

- FAL. 2003. Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau. [Hrsg.] Herwart Böhm, et al. Braunschweig : Landbauforschung Völkenrode, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 2003. S. 91.
- FAO. 2010. Conservation Agriculture. [Online] Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. [Zitat vom: 01. 03 2010.] <http://www.fao.org/ag/ca/index.html>.
- FAO. 1981. Report of the conference of FAO, Twenty-first Session Rome 7-25 November 1981. FAO Corporate Document Repository. [Online] 1981. [Zitat vom: 15. 12 2009.] <http://www.fao.org/docrep/x5564E/x5564e08.htm#d.%20world%20soil%20charter>.
- Faulkner E. H. 1943. plowman's folly. New York : University of Oklahoma Press, 1943. S. 155.
- FB11, Universität Kassel. 1999. Leitbild des Lehr- und Forschungsbereiches Ökologische Landwirtschaft am Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel. Ökologische Agrarwissenschaften/ Über uns. [Online] 1999. [Zitat vom: 02. 04 2010.] <http://www.uni-kassel.de/agrar/?c=249>.
- Feuerlein W. 1971. Geräte zur Bodenbearbeitung. 2. überarbeitete Auflage. Stuttgart : Eugen Ulmer, 1971.
- Foissner W. 1992. Comparative studies on the soil life in ecofarmed and conventionally farmed fields and grasslands of Austria. Agriculture, Ecosystems and Environment. 1992, 40, S. 207-218.
- Frielinghaus M. und Deumlich D. 2004. Wassererosion. [Hrsg.] H.-P. Blume. Handbuch des Bodenschutzes. 3. Landsberg am Lech : ecomed Verlagsgesellschaft, 2004, S. 220-229.
- Fry P. 2001. Bodenfruchtbarkeit: Bauernsicht und Forscherblick. Weikersheim : Margraf Verlag, 2001. S. 142.
- Garbe V. 2001. Strategien zur Bekämpfung von krankheitserregern in Pflanzenbausystemen mit konservierender Bodenbearbeitung. [Hrsg.] Norbert Lütke Entrup und Franz-Ferdinand Gröblichhoff. Bodenbewirtschaftung im Umbruch. Soest : s.n., 2001, S. 59-68.
- Garcia-Torres L. [Hrsg.]. 2003. Conservation Agriculture. Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 2003.
- Görbing J. 1948. Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. Hannover : Landbuch Verlag GmbH, 1948. S. 206.
- Gruber S. und Claupein W. 2009. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. Soil & Tillage Research. 2009, 105, S. 104-111.
- Gruber S. und Claupein W. 2008. Effects of Conservation Tillage on Canada Thistle (*Cirsium arvense*) in Organic Farming. [Hrsg.] Daniel Neuhoff, et al. Cultivating the Future Based on Science : Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), held at the 16th IFOAM Organic World Congress in June 2008 in Modena, Italy. Bonn : ISO FAR, 2008, Bd. 1, S. 430-433.

- Gruber S. und Claupen W. 2007. Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau auf Ertrag und Unkrautauflkommen. [Hrsg.] A. Herrmann und F. Taube. 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Rückblick und Perspektiven für die Zukunft. Kiel : Schmidt & Klauning KG, 2007, Bd. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 19.
- Haas G. 2001. Organischer Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2001. S. 152.
- Hakansson I. 1994. Subsoil compaction caused by heavy vehicles - a long-term threat to soil productivity. *Soil and Tillage Research*. 1994, 29, S. 105-110.
- Hakansson I., Stenberg M. und Rydberg T. 1998. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil and Tillage Research*. 1998, 46, S. 209-223.
- Halberg N. 2008. 13530: Energy use and Green house gas emission in organic agriculture. Beitrag präsentiert bei der Konferenz: Organic agriculture and climate change, Enita Clermont-Ferrand. [Online] April 2008. [Zitat vom: 04. 05 2009.] <http://orgprints.org/13530/>.
- HAMPL U., Hoffmann M., Kaiser-Heydenreich B., Kress W. und Markl J. 1995. Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung. [Hrsg.] Technik, Qualität und Stiftung Ökologie & Landbau Gesellschaft für Boden. Bad Dürkheim : Deukalion Verlag, 1995. S. 128.
- HAMPL U., Oesau A., Emmerling C., Bassemir U., Beste A. und Kussel N. 2005. Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung; zehn Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im ökologischen Ackerbau. Bad Dürkheim : Stiftung Ökologie & Landbau , 2005.
- Hamza M.A. und Anderson W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research*. 2005, 82, S. 121-145.
- Hansen B., Kristensen E. S., Grant R., Høgh-Jensen H., Simmelsgaard S. E. und Olesen J. E. 2000. Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems - a systems modelling approach. *European Journal of Agronomy*. 2000, 13, S. 65-82.
- Hartl W. und Lindenthal T. 2003. Wissenstransfer am Beispiel eines Weiterbildungsprojektes für Ackerbaubetriebe in Niederösterreich. [Hrsg.] Bernhard Freyer. Ökologischer Landbau der Zukunft. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien : Universität für Bodenkultur Wien, 2003, S. 435-438.
- Hartmann K.M., Götz S., Market R., Kaufmann T. und Schneider K. 2004. Die Effizienz der Bodenbearbeitung im Dunkeln und das variable Gedächtnis der Unkraut-Samenbank. [Hrsg.] K. Hurlé, P. Zwerger und R. Belz. *Journal of Plant Diseases and Protection; Proceedings 22nd German Conference on Weed Biology and Weed Control*. 2004, Special Issue XIX, S. 595-603.
- Hauggaard-Nielsen H., Mundus S. und Jensen E. S. 2009. Nitrogen dynamics following grain legumes and subsequent cash crops and the effects on succeeding cereal crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2009, Bd. 84(3), S. 281-291.

- Häusler A., Verschwele A. und Zwerger P. 2004. Bedeutung von Stoppelbearbeitung und Fruchtfolge für die Regulierung von Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 2004, Sonderheft XIX, S. 563-572.
- Herlitzius T. und Grosa A. 2010. Bodenbearbeitungstechnik. [Hrsg.] H.-H. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Harms, F. Dr. Meier und R. Dr. Metzner. Jahrbuch Agrartechnik. Darmstadt : Max-Eyth-Stiftung, 2010, Bd. 22, S. 87-95.
- Herlitzius T. und Grosa A. 2008. Bodenbearbeitungstechnik. Jahrbuch Agrartechnik 2008. Darmstadt : DLG Verlag, 2008, S. 87-94.
- Heß J., Pauly J., Roth A. und Franken H. 1992. Zum Einfluß der Stoppelbearbeitung bei Klee grasumbruch auf die Nitratdynamik im Boden und die Entwicklung der Folgefrucht Winterweizen. [Hrsg.] M. Zoschke, R. Marquard und W. Diepenbrock. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 36. Jahrestagung in Rostock. Giessen : Wissenschaftlicher Fachverlag, 1992, Bd. 5, S. 197-200.
- Heß J., Markus P. und Piorr A. 1990. Boden und Bodenfruchtbarkeit. bio-land. 1990, 1/90, S. 32-35.
- Heuser O. 1928. Grundzüge der praktischen Bodenbearbeitung. Berlin : Paul Parey, 1928. S. 226.
- Holland J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2004, 103, S. 1-25.
- Holzwarth F., Radtke H., Hilger B. und Bachmann G. 2000. Bundes-Bodenschutzgesetz/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Berlin : Erich Schmidt, 2000. S. 448. Bd. 2. neu bearb. und erw. Auflage.
- Horn R. und Fleige H. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. Soil & Tillage Research. 2009, 102, S. 201-208.
- Hörner R. und Demmel M. 2009. DLG-Praxis-Monitor Stoppelbearbeitung: Auf den Grund gegangen. [Hrsg.] DLG e.V. DLG Test Landwirtschaft. 2009, August, S. 8-15.
- Howard A. 2005. Mein landwirtschaftliches Testament. Xanten : OLV Verlag, 2005. Bd. Deutsche Ausgabe: 3. Auflage, 1. Auflage 1943.
- IFOAM. 2006. IFOAM Basic Standards and Norms. The Norms Documents Library. [Online] corrected version January 2009, Februar 2006. [Zitat vom: 16. 02 2009.] chapter 4.3 and 4.4.
http://www.ifoam.org/about_ifoam/standards/norms/norm_documents_library/Norms_EN_G_V4_20090113.pdf.
- International Trade Center UNCTAD/WTO, Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). 2007. Organic Farming and Climate Change. Geneva : ITC, 2007. S. 27.
- Jacobs A., Rauber R. und Ludwig B. 2009. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two Haplic Luvisols after 40 years. Soil and Tillage Research. 2009, 102, S. 158-164.

- Joergensen R. G. und Emmerling C. 2006. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2006, 169, S. 295-309.
- Kahnt G. 1997. Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Ertragsfähigkeit durch gezielte Bodenbearbeitung. [Hrsg.] U. Köpke und J.-A. Eisele. Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 1997, Bonn. Berlin : Verlag Dr. Köster, 1997, S. 35-42.
- Kahnt G. 1995. Minimal-Bodenbearbeitung. Stuttgart : Ulmer, 1995. S. 112.
- Kahnt G. 1976. Ackerbau ohne Pflug. Stuttgart : Eugen Ulmer, 1976.
- Kainz M. 2010. Weniger Bodenerosion durch Ökolandbau. [Hrsg.] AgrarBündnis e.V. Der kritische Agrarbericht 2010. Hamm : ABL Bauernblatt Verlags-GmbH, 2010, S. 89-92.
- Kainz M., Gerl G., Lemnitzer B., Bauchhenß J. und Hülsbergen K.-J. 2005. Wirkung differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. [Hrsg.] J. Heß und G. Rahmann. Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel : Verlag kassel university press, 2005, S. 1-4.
- Kainz M., Kimmelman S. und Reents H.-J. 2003. Bodenbearbeitung im Ökolandbau- Ergebnisse und Erfahrungen aus einem langjährigen Feldversuch. *Organic Eprints*. [Online] 2003. <http://orgprints.org/1980/01/kainz-m-bodenbearbeitung-2003.pdf>.
- Kainz M., Siebrecht N. und Reents H.-J. 2009. Wirkung des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Dr. Köster, 2009, Bd. 1, S. 53-56.
- Kaiser E.-A. 1994. Significance of microbial biomass for carbon and nitrogen mineralization in soil. *Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 1994, 157, S. 271-278.
- Kaufmann B. A. 2008. *Cybernetic Analysis of Socio-biological Systems. The Case of livestock Management in resource-Poor Enviroments*. Weikersheim : Margraf Publishers GmbH, 2008.
- Kelm M., Loges R. und Taube F. 2007. N surpluses of organic and conventional farms in Northern Germany Results from the COMPASS project. [Hrsg.] S. Zikeli, et al. Zwischen Tradition und Globalisierung; Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2007, S. 29-32.
- Kienle G. S. und Kiene H. 2009. Methodik der Einzelfallbeschreibung. *Der Merkusstab*. 2009, Heft 3, S. 239-242.
- Klöpfer F. 2007. Grundboden- und Stoppelbearbeitung im ökologischen Landbau. Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2007. S. 56.
- Köhler W., Schachtel G. und Voleske P. 2002. *Biostatistik*. 3. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2002. S. 301.
- Köller K. 1985. Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug. Darmstadt : KTBL e.V., 1985.
- Köller K. 1981. Bodenbearbeitung ohne Pflug. Stuttgart : Ulmer, 1981. S. 320. Dissertation Universität Hohenheim.

- Köller K. und Linke C. 2001. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. 2. neu überarbeitete Auflage. Frankfurt am Main : DLG-Verlag, 2001. S. 176.
- Köpke U. 2003. Spezifika der Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau aus Sicht der Wissenschaft und der Praxis. [Buchverf.] Florian Kloepfer. Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. Darmstadt : KTBL, 2003, S. 7-22.
- Kouwenhoven J.K. 2000. Mouldboard Ploughing For Weed Control. 4th EWRS Workshop on Physical Weed Control. [Online] 20. 03 2000. [Zitat vom: 25. 03 2009.] <http://www.ewrs.org/pwc/proceedings.asp>.
- Kranzler A. und Hartl W. 2002. Andreas Kranzler - Wilfried Hartl: Evaluierung von Regulierungsmöglichkeiten der Ackerkratzdistel im biologischen Landbau. Ländlicher Raum. [Online] 2002. [Zitat vom: 19. 4 2009.] <http://www.laendlicher-raum.at/article/archive/11766>.
- Krauss M., Berner A., Burger, D., Wiemken, A., Niggli, U. und Mäder, P. 2010. Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. Soil Use and Management. 2010, Bd. 26 (1), S. 12-20.
- KTBL. 2008. Energieeffiziente Landwirtschaft. Darmstadt : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2008. S. 248.
- Kuhlman T., Reinhard S. und Gaaff A. 2010. Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. Land Use Policy, Bd.1, 2010. S. 22-32.
- Kuipers H. 1970. Introduction: Historical notes in the zero-tillage concept. Netherlands Journal of Agricultural Science. 18, 1970, 4, S. 219-224.
- Kurstjens D. A.G. 2007. Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management. Soil & Tillage Research. 2007, 97, S. 293-305.
- Landbauforschung Völkenrode, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). 2003. Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau. [Hrsg.] Herwart Böhm, et al. Braunschweig : s.n., 2003. S. 91.
- LaSalle T. J. und Hepperly P. 2008. Regenerative Organic Farming: A Solution to Global Warming. Kutztown : Rodale Institut, 2008. S. 13.
- Lauenstein G. 2008. Massenvermehrung rechtzeitig erkennen. Landwirtschaft ohne Pflug. 2008, 5, S. 18-23.
- Leica Geosystems AG. 1999. GPS Ausrüstung Bedienungsanleitung. Herrbrugg : Leica Geo Systems AG, 1999.
- Lindenthal T., Verdorfer R. und Bartel-Kratochvil R. 2007. Konventionalisierung oder Professionalisierung: Entwicklung des Biolandbaus am Beispiel Österreich. [Hrsg.] K. Hirte, et al. Ökolandbau - mehr als eine Verfahrenslehre? Ökologie und Wirtschaftsforschung Band 70. Marburg : Metropolis Verlag, 2007, S. 47-57.
- Lindstrom M. J. und Archer D.W. 2003. Crop residue management in the United States. [Hrsg.] Rudolf Artmann und Franz-Josef Bockisch. Nachhaltige Bodennutzung - aus technischer, pflanzlicher, ökologischer und ökonomischer Sicht. Sonderheft 256. Braunschweig : Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2003, S. 114.

- Loibl B. 2006. Einteilung der Bodenbearbeitungssysteme unter Berücksichtigung der Bodendeckung. Landtechnik. SH, 2006, 61, S. 302-303.
- Loll C. 2003. Vorsorgender Bodenschutz im Bundes-Bodenschutzgesetz. Berlin : Duncker & Humboldt, 2003. S. 243. Bd. Schriften zum Umweltrecht Band 129.
- Lu Y., Watkins B. und Teasdale J. 2000. Economic and environmental comparison of an organic farming system with alternative no-tillage systems. [Hrsg.] Thomas Alföldi, William Lockeretz und Urs Niggli. Proceedings 13th IFOAm Scientific Conference. Zürich : vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2000, S. 408.
- Lukashyk P., Berg M. und Köpke U. 2007. Strategies to control Canada thistle (*Cirsium arvense*) under organic farming conditions. Renewable Agriculture and Food systems. 2007, Bd. 23, 1, S. 13-18.
- Lux G. und Schmidtke K. 2009. Einfluss der Bodenbearbeitung zur Saat auf Ertragsbildung, N-Aufnahme und N_{min} -Vorrat im Boden bei Rispenhirse (*Panicum miliaceum* L.) nach Winterzwischenfrucht Erbse (*Pisum sativum* L.). [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2009, Bd. 1, S. 205-208.
- Lynch J.-M. 1977. Phytotoxicity of Acetic Acid Produced in the Anaerobic Decomposition of Wheat Straw. Journal of Applied Bacteriology. 1977, 42, S. 81-87.
- Mäder P., Fließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. und Niggli U. 2002. Organic Ep-rints/302/01. Bodenfruchtbarkeit und biologische Vielfalt im ökologischen Landbau. [Online] April 2002. [Zitat vom: 2. 11 2008.] <http://orgprints.org/302/01/maeder-et-al-2002-oel-dok-science.pdf>.
- Maurin J. 2009. Mehr Ertrag mit weniger Pflug. taz. 04. 01 2009
- Metzke M., Potthoff M., Quintern M., Heß J. und Joergensen R. G. 2007. Effect of reduced tillage systems on earthworm communities in a 6-year organic rotation. European Journal of Soil Biology. 2007, 43, S. 209-215.
- Mohler C. L. 2001. Mechanical management of weeds. [Hrsg.] Matt Liebman, Charles L. Mohler und Charels P. Staver. Ecological Management of Agricultural Weeds. Cambridge : Cambridge University Press, 2001, S. 139-209.
- Moitzi G. und Boxberger G. 2009. Kraftstoffverbrauch und Reduktionspotentiale. [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2009, Bd. 1, S. 394-397.
- Moller Hansen E. und Djurhuus J. 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and cash crop. Soil & Tillage Research. 1997, 41, S. 203-219.
- Müller E., Wildhagen H., Quintern M., Heß J., Wichern F. und Joergensen R. G. 2009. Spatial patterns of soil biological and physical properties in a ridge tilled and a ploughed Luvisol. Soil & Tillage Research. 2009, 105, S. 88-95.
- Naturland. 2007. Richtlinien. Erzeugung. [Online] Naturland e.V., 5. 12 2007. [Zitat vom: 21. 1 2008.] <http://www.naturland.de/richtlinien.html>.
- Patzel N. 2003. Bodenwissenschaften und das Unbewusste. München : ökom verlag, 2003. S. 227.

- Patzel N., Sticher H. und Karlen D. L. 2000. Soil Fertility - Phenomenon and Concept. *Journal Plant Nutrition Soil Science*. 2000, 163, S. 129-142.
- Peigné J., Cannavaciolo M., Gautronneau Y., Aveline A., Giteau J.-L. und Cluzeau D. 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil & Tillage Research*. 2009, 104, S. 207-214.
- Peigné J., Aveline A., Cannavaciolo M., Giteau J.-L. und Gautronneau Y. 2008. Soil tillage in organic agriculture: impacts of conservation tillage on soil fertility, weeds and crops. [Hrsg.] Daniel Neuhoff, et al. *Cultivating the Future Based on Science : Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), held at the 16th IFOAM Organic World Congress in June 2008 in Modena, Italy*. Bonn : ISO FAR, 2008, Bd. 1, S. 422-425.
- Peigné J., Ball B.C., Roger-Estrade J. und David C. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? *Soil Use and Management*. 2007, Bd. 23, S. 129-144.
- Pekrun C. und Claupein W. 2006. The implication of stubble tillage for weed population dynamics in organic farming. *Weed Research*. 2006, 46, S. 414-423.
- Pekrun C., Kaul H.-P. und Claupein W. 2003. Soil Tillage for Sustainable Nutrient Management. [Hrsg.] Adel El Titi. *Soil Tillage in Agroecosystems*. Boca Raton : CRC Press LLC, 2003, S. 83-114.
- Pekrun C., Schneider N., Wüst C., Jauss F. und Claupein W. 2003. Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkrautdynamik und Regenwurmpopulation im Ökologischen Landbau. [Hrsg.] Bernhard Freyer. *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Ökologischer Landbau der Zukunft*. Wien : Universität für Bodenkultur Wien, 2003, S. 21-24.
- Pekrun C. und Claupein W. 1998. Forschung zur reduzierten Bodenbearbeitung in Mitteleuropa. *Pflanzenbauwissenschaften*. 1998, Bd. 2, 4, S. 160-175.
- Pfeiffer E. 1969. *Die Fruchtbarkeit der Erde*. 5. Auflage. Dornach : Rudolf Geering-Verlag, 1969. S. 332.
- Pforte F. 2010. Entwicklung eines Online-Messverfahrens zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Stoppelbearbeitung zu Mulchsaatverfahren. Witzenhausen : in Bearbeitung, 2010. Dissertation.
- Pforte F. und Hensel O. 2008. Entwicklung einer automatisierten Referenzmethode zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Mulchsaat. *Conference Agricultural Engineering 2008*. Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2008, S. 419-426.
- Plümer T. 2005. 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau - Untersuchungen zur Wurzelndynamik. [Hrsg.] J. Heß und G. Rahmann. *Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. Kassel : Verlag kassel university press, 2005, S. 11-12.
- Poiret M. 1999. *Landwirtschaft, Umwelt, ländliche Entwicklung: Zahlen und Fakten - Herausforderungen für die Landwirtschaft. Spezialisierung der Betriebe und intensivere Verfahren*. [Online] 07 1999. [Zitat vom: 23. 2 2009.] <http://ec.europa.eu/agriculture/envir/report/de/index.htm>.

- Postma-Blaauw M. B., Bloem J., Faber J. H., van Groenigen J. W., de Goede R. G. M. und Brussaard L. 2006. Earthworm species composition affects the soil bacterial community and net nitrogen mineralization. *Pedobiologia*. 2006, 50 (3), S. 243-256.
- Puppe F. 1991. Wissensrepräsentation mit Regeln. [Hrsg.] Peter Struß. Wissensrepräsentationen. München : Oldenbourg Verlag, 1991, S. 123-130.
- Rasmussen I. A. 2004. The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*. 2004, 44, S. 12-20.
- Reents H.-J. und Möller K. 2001. Stickstoffmanagement im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zwischenfrüchten. [Hrsg.] Hans-Jürgen Reents. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau; Von Leit-Bildern zu Leit-Linien. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2001, S. 178-192.
- Riemens M. M., Groeneveld R. M. W., Lotz L. A. P. und Kropff M. J. 2007. Effects of three management strategies on the seedbank, emergence and the need for hand weeding in an organic arable cropping system. *Weed Research*. 2007, Bd. 47, S. 442-451.
- Rosenthal G. 2005. Interpretative Sozialforschung. Weinheim und München : Juventa Verlag, 2005. S. 241.
- Rusch H. P. 1980. Bodenfruchtbarkeit. Heidelberg : Karl F. Haug Verlag, 1980. S. 243. 4. Auflage.
- Schäfer-Landefeld L., Brandhuber R., Fenner S., Koch H.-J. und Stockfisch N. 2004. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. *Soil and Tillage Research*. 2004, 75, S. 75-86.
- Schaumann W., Siebeneicher G. E. und Lünzer I. 2002. Geschichte des ökologischen Landbaus. Bad Dürkheim : Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), 2002. S. 200.
- Scheffer F. und Schachtschabel P. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Heidelberg : Springer-Verlag, 2002. S. 593.
- Scheller E. 1993. Die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen aus dem Stickstoff-Stoffwechsel des Bodens. Weikersheim : Verlag Josef Margraf, 1993. S. 33, 37, 49, 66.
- Scheller E. und Joergensen R. G. 2008. Decomposition of wheat straw differing in nitrogen content in soils under conventional and organic farming management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2008, 171, S. 886-892.
- Schepl U und Paffrath A. 2003. Entwicklung von Strategien zur Regulierung des Drahtwurmbefalls (*Agriotes* ssp. L.) im Ökologischen Kartoffelanbau. [Hrsg.] Bernhard Freyer. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Wien : Universität für Bodenkultur, 2003, S. 133-136.
- Schmidt H. 2003. Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Forschungsbericht im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau. 2003. Abschlußbericht. <http://orgprints.org/5020/1/5020-02OE458-uni-giessen-2003-viehloser-ackerbau.pdf>.

- Schmidt H. und Leithold G. 2003. Einfluss unterschiedlicher Grundbodenbearbeitungssysteme auf den Unkrautdruck in ökologischen Fruchtfolgen. [Hrsg.] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. Darmstadt : KTBL, 2003, S. 76-79.
- Schmidt H. und Leithold G. 2005. Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof, Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung in der ersten Rotation. in: Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Kassel : J.Heß und G. Rahmann (Hrsg.), 2005. S. 255-258.
- Schmidt H., Ahrberg S. und Leithold G. 2003. Grundbodenbearbeitung im ökologischen Landbau- Ergebnisse aus dem Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof. [Hrsg.] Bernhard Freyer. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Ökologischer Landbau der Zukunft. Wien : Universität für Bodenkultur Wien, 2003, S. 25-28.
- Schmidt H., Schulz F. und Leithold G. 2006. Organic Farming Trial Gladbacherhof. Effects of different crop rotations and tillage systems. [Hrsg.] ISOFAR. Long-term Field Experiments in organic Farming. Bonn : Verlag Dr. Köster, 2006, S. 165-183.
- Schmidt W., Nitzsche O., Stahl H. und Marschall K. 2004. Umsetzung des Bodenschutzes - Erfahrungen aus Sachsen. [Hrsg.] Umweltbundesamt. Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung - Umwelteinwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. Berlin : Umweltbundesamt, 2004, S. 61-70.
- Schneider F. 2008. The Quest for Sustainable Soil Cultivation in Swiss Agriculture. Bern : s.n., 2008. S. 221. Dissertation.
- Schneider F, Ledermann T., Fry P. und Rist S. 2008. Soil Conservation in Swiss Agriculture Approaching Abstract and Symbolic Meanings in Farmers Lifeworlds. Land Use Policy. 2008, submitted.
- Schneider L. 2003. Konservierende Bodenbearbeitung als Perspektive für den ökologischen Landbau? - Analyse einer Praxiserhebung. Witzenhausen : s.n., 2003. Diplomarbeit.
- Schneider M. 2009. Fruchtfolgegestaltung und konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat - Eine pflanzenbaulich/ökonomische Analyse. Weihenstephan : Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan, 2009. Dissertation.
- Schulz F., Brock C. und Leithold G. 2009. Effekte unterschiedlicher Systeme der Grundbodenbearbeitung auf Erträge und Beikraut im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Dr. Köster, 2009.
- Schwertmann U., Vogl W. und Kainz M. 1987. Bodenerosion durch Wasser. Stuttgart : Ulmer, 1987.
- Schwinge H. 2008. konservierende Bodenbearbeitung in der Wetterau - Unter das Strohsäen. Landwirtschaft ohne Pflug. 2008, 5, S. 4-9.
- Sekera M. 1984. Gesunder und kranker Boden. 5. Auflage. Graz : Leopold Stocker, 1984. S. 100.

- Siegrist S., Schaub D., Pfiffner L. und Mäder P. 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1998, 69, S. 253-264.
- Smolka S. 2005. PAN Germany. Roundup verantwortlich für weltweites Amphibiensterben? [Online] 01. 09 2005. [Zitat vom: 22. 02 2010.] <http://www.pan-germany.org/deu/~news-297.html>.
- Söhne W. 1992. Bodenbearbeitungs- und Erntetechnik - Ein historischer Abriß von Anbeginn bis heute. Frankfurt/Main : DLG Verlag, 1992. S. 97.
- Soil Association [Hrsg.]. 2009. Soil Association standards for producers. Bristol : s.n., 2009. S. 375.
- SÖL [Hrsg.]. 2008. Stiftung Ökologie & Landbau. Ökolandbau in Deutschland - Aktuelle Situation. [Online] 2008. [Zitat vom: 21. 03 2010.] http://www.soel.de/fachthemen/oekolandbau_in_deutschland/aktuell.html#a.
- StMELF. 2010. Cross Compliance - Broschüren und Checklisten. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. [Online] StMELF, 2010. [Zitat vom: 22. 02 2010.] <http://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/11030/>.
- Stockdale E.A., Shepherd M.A., Fortune S. und Cuttle S.P. 2002. Soil fertility in organic farming systems - fundamentally different? *Soil Use and Management*. 2002, 18, S. 301-308.
- Stockfisch N., Forstreuter T. und Ehlers W. 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil & Tillage research*. 1999, Bd. 52, S. 91-101.
- Sturz A.V., Carter M.R. und Johnston H.W. 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil and Tillage Research*. 1997, Bd. 1, 41, S. 169-189.
- Tabatabaeefar A., Emamzadeh H., Ghasemi Varnamkhasti M., Rahimizadeh R. und Karimi M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*. 2009, 34, S. 41-45.
- Teasdale J. R., Coffman C. B. und Mangum R. W. 2007. Potential Long-Term Benefits of No-Tillage and Organic Cropping Systems for Grain Production and Soil Improvement. *Agronomy Journal*. 2007, 99, S. 1297-1305.
- Teasdale J.R., Rosecrance R.C., Coffman C.B., Starr J.L., Platineanu I.C. und Lu Y.C. 2000. Performance of reduced-tillage cropping systems for sustainable grain production in Maryland. *American Journal Alternative Agriculture*. 2000, 15, S. 79-87.
- Timmons F. L. 2005. A History of Weed Control in the United States and Canada. *Weed Science*. 53, 2005, S. 748-761.
- TRANSGEN [Hrsg.]. 2010. Transgen. Sojabohne. [Online] 7. 01 2010. [Zitat vom: 22. 02 2010.] <http://www.transgen.de/datenbank/pflanzen/67.sojabohne.html>.
- Uekötter F. 2007. Virtuelle Böden. Über Konstruktion und Destruktion des landwirtschaftlichen Bodens in den Agrarwissenschaften. *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie*. 55. Jg., 2007, 2, S. 23-42.

- Uphoff N., Ball A. S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N. und Thies J. 2006. Understanding the Function and Management of Soil Systems. [Buchverf.] Norman Hrsg.: Uphoff, et al. Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. Boca Raton : Taylor & Francis, 2006, S. 3-13.
- Vakali C-A. 2004. Spross- und Wurzelentwicklung von Getreide bei reduzierter Grundbodenbearbeitung im organischen Landbau in Deutschland und Griechenland. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2004. S. 112.
- van den Bossche A., de Bolle S., de Neeve S. und Hofman G. 2009. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. Soil and Tillage Research. 2009, 103, S. 316-324.
- Verch G., Kächele H., Hörtl K., Richter C. und Fuchs C. 2009. Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany - A field trial from 2002 to 2005. Soil and Tillage Research. 2009, Bd. 1, 104, S. 16-21.
- Verschwele A. und Häusler A. 2004. Effect of crop rotation and tillage on infestation of *Cirsium arvense* in organic farming systems. 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 2004. [Online] 2004. [Zitat vom: 24. 03 2009.] <http://www.ewrs.org/pwc/proceedings.asp>.
- Vian J.F., Peigné J., Chaussod R. und Roger-Estrade J. 2009. Effects of four tillage systems on soil structure and soil microbial biomass in organic farming. Soil Use and Management. 2009, 25, S. 1-10.
- Voigt D., Lindenthal T. und Spornberger A. 2007. Landscape, land use and soul: ecopsychology: mending a troubled relationship. [Hrsg.] Werner Zollitsch, et al. Sustainable food production and ethics. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, 2007, S. 506-511.
- Voßhenrich H.-H. 2001. Strohmanagement in pfluglosen Anbausystemen. [Hrsg.] N. Lütke Entrup und Franz-Ferdinand Gröblichhoff. Bodenbewirtschaftung im Umbruch. Soest : s.n., 2001.
- Voßhenrich H.-H. und Brunotte J. 2008. Systematik der Bodenbearbeitung. Schonende Bodenbearbeitung. Frankfurt am Main : DLG-Verlags GmbH, 2008, S. 51-55.
- Watson C.A., Bengtsson H., Ebbesvik M., Loes A.-K., Myrbeck A., Salomon E., Schroder J. und Stockdale E.A. 2002. A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. Soil Use and Management. 2002, 18, S. 264-273.
- Watson C.A., Atkinson D., Gosling P., Jackson L.R. und Rayns F.W. 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. Soil Use and Management. 2002, 18, S. 239-247.
- WBGU, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. 1994. Die Welt im Wandel. Gefährdung der Böden. Bonn : Economica Verlag, 1994.
- Weber M. und Emmerling C. 2005. Zehn Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im ökologischen Ackerbau - Entwicklung der organischen Bodensubstanz, Nährstoffgehalte sowie bodenbiologischen Eigenschaften. [Hrsg.] J. Heß und G. Rahmann. Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel : Verlag Kassel university press, 2005, S. 5-8.

- Wehsarg O. 1954. Ackerunkräuter; Biologie, Allgemeine Bekämpfung und Einzelbekämpfung. Berlin : Akademie Verlag, 1954. S. 294.
- Weichel E. 1981. Neue Verfahren und Geräte zur ökologisch orientierten Bodenbearbeitung. [Hrsg.] Stiftung Ökologischer Landbau. Praxis des Öko-Anbaus, Berichte und Diskussionen zum Land- und Weinbau. Karlsruhe : Verlag C.F. Müller, 1981.
- Werland K. 1990. Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. Bonn : s.n., 1990. S. 72, Diplomarbeit.
- Wilhelm B., Baars T. und Kaufmann B. A. 2009. Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - mit qualitativer Sozialforschung erfolgreiche Systeme wissenschaftlich erfassen und naturwissenschaftliche Ergebnisse ergänzen. [Hrsg.] Jochen Mayer, et al. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Verlag Dr. Köster, 2009, S. 49-52.
- Willke H. 1994. Systemtheorie II: Interventionstheorie. Stuttgart : Gustav Fischer Verlag, 1994.
- Winkel H. 1991. Historische Entwicklung der Vorstellung von Bodenfruchtbarkeit und ihr Bezug zu den produktionstechnischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. [Hrsg.] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Hamburg und Berlin : Paul Parey, 1991, Bd. 1, S. 14-28.
- Wischmeier W. und Smith D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington D.C. : Government Print. Office, 1978. S. 58.
- Wolff S. 2004. Wege ins Feld und ihre Varianten. [Hrsg.] Uwe Flick, Ernst von Kardoff und Ines Steinke. Qualitative Forschung. 3. Auflage. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2004.
- Young I.M. und Ritz K. 2000. Tillage, habitat space and function of soil microbes. Soil and Tillage Research. 2000, 53, S. 201-213.
- Zink A., Fleige H. und Horn R. 2009. Effect of wheel load, tire inflation pressure and tillage treatment on stress distribution and soil physical properties under agricultural land use. Izmir : Ege University, 2009. ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings.