



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,  
ERNÄHRUNG, WEINBAU  
UND FORSTEN

# BODENBEARBEITUNGS- SYSTEME

---



Bodenbearbeitungssysteme  
im Fokus von Ökonomie und  
Ökologie

Handreichung für eine  
differenzierte Beurteilung





Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,  
ERNÄHRUNG, WEINBAU  
UND FORSTEN

# BODEN-BEARBEITUNGS- SYSTEME IM FOKUS VON ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE

---

Handreichung für eine  
differenzierte Beurteilung

## **Impressum:**

Herausgegeben von der Landwirtschaftskammer und der Landesregierung Rheinland-Pfalz

Erscheinungsdatum: März 2012

Schriftleitung:

Prof. Dr. Thomas Appel, Fachhochschule Bingen, Email: [appel@fh-bingen.de](mailto:appel@fh-bingen.de)

Titelbild:

Ingo Scheid, DLR RNH

# VORWORT



Boden ist der wichtigste Produktionsfaktor für landwirtschaftliche Betriebe, und zwar nicht nur als Standort für Kulturpflanzen. Der Boden spielt darüber hinaus als Ökosystem, Kohlenstoffspeicher und Wasserfilter eine zentrale Rolle bei der Klimaregulation und im Wasserhaushalt.

Aber diese wertvolle Ressource ist bedroht: Ein ständiger Verlust fruchtbarster Ackerböden durch Bebauung in den Industrieländern, Versalzung durch falsche Bewässerung, Wüstenbildung durch nicht angepasste Bewirtschaftung, Erosion und Schadverdichtung sind nur einige Ursachen. Deshalb ist der Schutz des Bodens nicht nur eine landwirtschaftliche, sondern auch eine gesellschaftliche und umweltpolitische Herausforderung. Dabei tragen besonders die Bewirtschafter landwirtschaftlicher Flächen eine große Verantwortung für die heutige und für zukünftige Generationen.

Diese Broschüre richtet sich vorrangig an Landwirte, Berater und Wissenschaftler, denen der Schutz des Bodens am Herzen liegt. Zu dessen Schutz ist es erforderlich, den Boden möglichst schonend zu bearbeiten, ohne auf angemessene Erträge und wirtschaftlichen Erfolg verzichten zu müssen. Die vielen unterschiedlichen Böden und Anbaubedingungen in unserem Land erfordern individuelle und standortangepasste Anbausysteme. Welche Intensität ist die richtige? Pflug oder Direktsaat? Welches System ist mit welcher technischen Ausstattung auf den einzelnen Standorten überhaupt möglich? Wie müssen Düngung, Pflanzenschutz und Fruchtfolge berücksichtigt werden? Bei der reduzierten Bodenbearbeitung ist insbesondere der Einsatz von Totalherbiziden kritisch zu hinterfragen. Können möglicherweise die nicht unbedenklichen Herbizide durch andere Maßnahmen oder mechanische Verfahren ersetzt werden? Dies sind Fragen, die in diesem Zusammenhang beantwortet werden müssen, um sich den neuen Herausforderungen des Umwelt-, Boden-, und Klimaschutzes im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung zu stellen.

Bei der zukünftigen Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) gilt es, die Interessen der Verbraucher stärker zu berücksichtigen. Entwicklungen für eine flächendeckende, wettbewerbsfähige und qualitätsorientierte Landwirtschaft sind dabei weiter zu fördern. Die Einhaltung einer abwechslungsreichen Fruchtfolge zum Erhalt der Artenvielfalt sowie der Schutz des Bodens und der Gewässer sind in diesem Zusammenhang die zentralen Anforderungen im Rahmen der GAP zur Unterstützung einer umweltschonenden und nachhaltigen Landwirtschaft.

Diese Broschüre soll mittels wissenschaftlicher Ergebnisse und praktischer Erfahrung helfen, maßgeschneiderte Bodenbewirtschaftungssysteme in den einzelnen Betrieben zu etablieren und weiter zu entwickeln. Sie soll Grundlage sein für fruchtbare Diskussionen in einem Prozess, zu dem ich alle einlade, die sich mit der Thematik auseinandersetzen wollen.



Ulrike Höfken

Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft,  
Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz

# VORWORT



## **Bodenbearbeitung, ein zentrales Element des Pflanzenbaues**

Die derzeitige Preis- und Kostensituation bei der Produktion von Marktfrüchten zwingt die Landwirte mehr denn je, durch die Optimierung des Faktoreinsatzes und die Steigerung der Leistung die Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren zu verbessern.

Eine Maßnahme ist dabei sicherlich die Umstellung der Bodenbearbeitungssysteme von der konventionellen Methode mit dem Pflug auf konservierende nicht wendende Varianten bis hin zur Direktsaat.

In der Wissenschaft wird vor dem Hintergrund des sich verstärkt fortsetzenden Strukturwandels gerade hier ein enormes Potenzial zur Senkung der Kosten der Arbeitserledigung gesehen. Zudem seien über diese modernen Verfahren der Bodenbearbeitung die gesellschaftlichen Forderungen an die Bodenbewirtschaftung, wie Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur, Vermeidung von Bodenverdichtungen und Bodenabträgen sowie der Förderung der biologischen Aktivität des Bodens leichter umzusetzen.

Trotz all dieser positiven Effekte, der durchaus guten Erfahrungen einiger Landwirte mit der Umstellung und der verfügbaren Technik wird die Abkehr von der bisher guten fachlichen Praxis der wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug über die seit Generationen auch die Bodenfruchtbarkeit erhalten werden konnte, eher kritisch gesehen. Für die Betriebsleiter sind Ertragssicherheit, Qualität und Marktwarenanteil, Unwägbarkeiten bei der Gräserbekämpfung, Pilzdruck, erhöhter Stickstoffbedarf aufgrund niedriger Mineralisationsraten, Risiken durch übermäßigen Schnecken- und Mäusebefall oder Auswirkungen auf die Fruchtfolgeplanung noch zu sehr offene Fragen, auf die sie eine schlüssige Antwort erwarten. Ihnen ordnen sie die positiven Effekte in der Arbeitserledigung, aber auch die günstigen Einflüsse auf Struktur, biologische Aktivität, Wasserhaushalt und Nährstoffdynamik der Böden unter.

Um hier das Bewusstsein etwas mehr zu schärfen, aber auch Überzeugungsarbeit durch Anschauung vor Ort leisten zu können, hat die Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz schon 1997, lange vor der Diskussion um Wasserrahmenrichtlinie und Erosionskataster, an je einem Standort in Rheinhessen, dem Hunsrück und der Eifel Versuche zu verschiedenen Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen angelegt.

Primär ausgerichtet waren diese Versuche zunächst auf Fragen des Pflanzenbaus und der Ökonomie. Bodenkundliche Aspekte wurden erst ab 2007 durch die Fachhochschule Bingen und die Universität Trier mit in die Untersuchungen einbezogen.

Insgesamt soll die Broschüre, in die auch die Ergebnisse der Versuche eingeflossen sind, zur objektiven Bewertung der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme beitragen und den Landwirten, aber auch Behörden und gesellschaftlichen Gruppen als Entscheidungshilfe dienen.

Bad Kreuznach, im September 2010

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Schindler'.

Ökonomierat Norbert Schindler MdB

Präsident der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

# INHALT

<b>1 Soziale, politische und wissenschaftliche Aspekte der Bodenbearbeitung</b>	<b>3</b>
<b>2 Kosten und Leistungen der Bodenbearbeitung</b>	<b>5</b>
2.1 Vorüberlegungen zur Erosionsschutzgesetzgebung	5
2.2 Einleitung	6
2.3 Arbeiterledigungskosten eines Standardbodenbearbeitungssystems	7
2.5 Ertragseffekte	20
2.6 Schlussfolgerungen	23
2.7 Literatur	24
<b>3 Unkraut- und Schaderreger-regulierung in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung</b>	<b>25</b>
3.1 Einleitung	25
3.2 Unkrautvorkommen und die Unkrautdynamik	25
3.3 Ähren-, Blatt- und Halmbasiserkrankungen des Getreides	28
3.4 Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Schadtieraufkommen	32
3.5 Fazit	34
3.6 Literatur	34
<b>4 Bodenbearbeitungs-versuche der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz</b>	<b>35</b>
4.1 Einleitung	35
4.2 Versuche	36
4.3 Versuchsergebnisse Rheinhessen	43
4.4 Versuchsergebnisse Eifel	47
4.5 Versuchsergebnisse Hunsrück	49
4.6 Standortübergreifende Erkenntnisse	52
4.7 Schlussfolgerungen	55

<b>5</b>	<b>Bedeutung der pfluglosen Bodenbearbeitung für den Gewässerschutz</b>	<b>56</b>
5.1	Einleitung	56
5.2	Wasserinfiltration	59
5.3	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	62
5.4	Verteilung der Nährstoffe im Bodenprofil	63
5.5	Fazit	65
5.6	Literatur	65
<b>6</b>	<b>Bedeutung der pfluglosen Bodenbearbeitung für den Klimaschutz</b>	<b>67</b>
6.1	Einleitung	67
6.2	Methan	67
6.3	Lachgas	67
6.4	Kohlenstoffdioxid	69
6.5	Fazit	75
6.6	Literatur	76
<b>7</b>	<b>Bedeutung der pfluglosen Bodenbearbeitung für den Bodenschutz</b>	<b>78</b>
7.1	Einleitung	78
7.2	Bodengefüge bzw. Bodenstruktur	79
7.3	Bodenphysikalische Eigenschaften und Funktionen	81
7.4	Bodenschadverdichtungen	87
7.5	Bodenabtrag und flächenhafter Wasserrückhalt	88
7.6	Fazit	90
7.7	Literatur	90
7.8	Danksagung	90
<b>8</b>	<b>Bedeutung der pfluglosen Bodenbearbeitung für die Biodiversität</b>	<b>91</b>
8.1	Einleitung	91
8.2	Diversität von Bodenorganismen bei differenzierter Bodenbearbeitung	92
8.3	Bodenbearbeitungsversuch Rommersheim	97
8.4	Bodenbearbeitungsversuch Sachsen	100
8.5	Schlussfolgerungen	104
8.6	Literatur	104
<b>9</b>	<b>Praktiker berichten</b>	<b>106</b>
9.1	Konservierende Bodenbearbeitung in einem Trockengebiet: Betriebsreportage	106
9.2	Betrieb Manfred Mades, erfolgreich pfluglos seit über 10 Jahren	112

# 1 SOZIALE, POLITISCHE UND WISSENSCHAFTLICHE ASPEKTE DER BODENBEARBEITUNG

**Manfred Schnorbach, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz**

Vorrangige Aufgabe einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Ackerflächen ist die Erhaltung der Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Böden. Dabei kommt der Bodenbearbeitung im gesamten Maßnahmenkatalog eine besondere Bedeutung zu. Mit ihr müssen die Landwirte ackerbauliche Belange, ökonomische Aspekte, umweltpolitische Ziele und gesellschaftliche Forderungen miteinander in Einklang bringen.

Im Einzelnen gilt es etwa, die Bodenstruktur zu erhalten, Abträge von Boden und Nährstoffen zu vermeiden, die biologische Aktivität zu verbessern sowie dauerhaft hohe Erträge zu erzielen. Dabei stellt sich allerdings die Frage: Ist zur Erreichung dieser Ziele der Einsatz des Pfluges notwendig oder können alternative Bearbeitungsverfahren, die sich elementar vom Pflug unterscheiden, ebenfalls zielführend sein?

Durch die Bearbeitung mit dem Pflug wird der Boden gewendet, gelockert und gelüftet. Darüber hinaus können mit ihm Ungräser und Unkräuter reduziert und gute Ernterückstände eingearbeitet werden, was die Aussaat erleichtert, das Wachstum der Bestände fördert und die Erträge stabilisiert. Dem stehen ein hoher Energieverbrauch, begrenzte Leistung, mehrere Folgearbeitsgänge bis zur Saat, die Bildung von Pflugsohlen, die Gefahr der Erosion und die Störung des Bodenlebens entgegen.

Der pfluglosen Bodenbearbeitung, die sich vornehmlich durch eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität und einem Belassen der Ernterückstände an der Bodenoberfläche auszeichnet, werden ökonomische Vorteile und ökologische Leistungen zugeschrieben. Begründet wird dies mit den niedrigeren Kosten für die Arbeitserledigung, der Erhaltung von Bodenfeuchte und -struktur, der Vermeidung von Erosion und der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Bei der Direktsaat, bei der sich die Bodenbearbeitung auf die Saat in die Stoppel der Vorfrucht mit Hilfe spezieller Technik beschränkt, werden die Vorteile als noch ausgeprägter angesehen.

Trotz dieser Vorteile bestehen bei vielen Landwirten noch große Unsicherheiten, wenn die Entscheidung weg vom Pflug hin zu anderen Bodenbearbeitungsverfahren und Bestellsystemen ansteht. Diskutiert werden hier vor allem die Fragen der Auswirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung auf Ertrag und Marktwarenanteil, die Eignung der Systeme für Standort und Fruchtfolge, notwendige Investitionen in geeignete Technik, die Konsequen-



zen für Düngung, Pflanzenschutz, Schnecken- und Mäusebekämpfung des innerbetrieblichen und pflanzenbaulichen Managements, aber auch der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Systeme.

Neben diesen eher pflanzenbaulich orientierten Fragen stehen aber auch noch Antworten auf eher umweltpolitische und gesellschaftliche Forderungen aus. Vorrangig sind dies die Auswirkungen der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt, die klimarelevanten Gase, die Nährstoffanreicherung im Oberboden und die derzeit verbundenen Risiken des Abtrages, die biologische Aktivität sowie die bodenphysikalischen Eigenschaften.

Mit der Broschüre sollen alle diese Fragen so weit als möglich beantwortet und Handreichungen für eine differenzierte Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen gegeben werden.

# 2 KOSTEN UND LEISTUNGEN DER BODENBEARBEITUNG

Thore Toews, Fachhochschule Bingen

## 2.1 Vorüberlegungen zur Erosionsschutzgesetzgebung

Dauerhafte Erosion mindert die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Böden nachhaltig und im Extrem vollständig. Bei langfristiger Betrachtung sind deshalb Maßnahmen zur Erosionsminderung bzw. -vermeidung betriebswirtschaftlich sinnvoll. Doch obwohl dies grundsätzlich und theoretisch unstrittig ist, wird dem Bodenschutz bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden nicht ausreichend Rechnung getragen, da die Kosten z. T. nicht vollständig wahrgenommen werden und nur schwer zu quantifizieren sind.

Neben den durch Erosion ausgelösten langfristigen Kosten (Minderung der Ertragspotenziale landwirtschaftlicher Böden) führt Erosion auch zu unmittelbaren kurzfristigen Kosten, indem beispielsweise Pflanzen abgeschwemmt oder verschüttet und Nährstoffe verlagert werden. Doch selbst eine Quantifizierung dieser unmittelbaren kurzfristigen Kosten ist kaum exakt möglich.

Wenn Akteure in ihren wirtschaftlichen Entscheidungen die langfristigen Folgen Ihres Tuns nicht ausreichend berücksichtigen, dann rechtfertigt dies grundsätzlich staatliche Eingriffe, beispielsweise in Form von Gesetzen, wie beim Erosionsschutz geschehen. Solange diese Gesetze tatsächlich Erosion vermindern und nicht darüber hinaus im Sinne des Bodenschutzes unnütze Bewirtschaftungseinschränkungen enthalten, ist davon auszugehen, dass die zusätzlichen Kosten der Bewirtschaftungsaufgaben durch den Nutzen der vermiedenen Erosion mehr als ausgeglichen werden.

Konkret hat die Europäische Kommission von ihren Mitgliedstaaten verlangt, dass sie räumlich differenziert in Abhängigkeit von der Erosionsgefährdung landwirtschaftlicher Einzelschläge Bewirtschaftungsaufgaben bzw. -einschränkungen erlassen. In Rheinland-Pfalz bedeutet dies seit 14.03.2011 die Einteilung der gesamten Landesflächen in 3 unterschiedlichen Wassererosionsgefährdungskategorien mit entsprechenden Bewirtschaftungsaufgaben (ErosionSchV RP).

Zur Kategorie 1 gehören Flächen mit keiner oder nur einer geringen Erosionsgefährdung. Hier gibt es keine Bewirtschaftungseinschränkungen.

In der Kategorie 2 (mittel erosionsgefährdet): Wassererosionsgefährdungsklasse 1 (CCW1) darf vom 1.12. bis zum 15.02 nicht gepflügt werden und ab dem 1.12. muss die Fläche, sofern sie gepflügt wurde, mit einer Kultur bestellt sein. Alternativ kann die Fläche quer zum Hang bewirtschaftet werden und alle zuvor genannten Auflagen entfallen.

Die dritte Kategorie (hoch erosionsgefährdet): Wassererosionsgefährdungsklasse 2 (CCW2) gelten grundsätzlich restriktivere Auflagen (§ 2 Abs. 3 der DirektZahlVerpflV).

- Pflugverbot in der Zeit vom 1.12. bis zum 15.02. Nach dem Pflugeinsatz muss unmittelbar die Aussaat erfolgen.
- Generelles Pflugverbot vor Reihenkulturen mit einem Reihenabstand von =45 cm (Kartoffeln, Mais, Rüben)

Diese Einschränkungen für die CCW2-Flächen werden für das Land Rheinland-Pfalz (§3 ErosionSchV RP) jedoch deutlich abgemildert.

- Sofern Sommergetreide oder Raps angebaut werden, darf ohne weitere Auflagen immer quer zur Haupthangrichtung gepflügt werden.
- Auch vor Reihenkulturen (=45 cm) darf vom 16.02. bis 31.05. gepflügt werden, wenn über den Winter eine ausreichende Bodenbedeckung bestand und die Aussaat unmittelbar nach dem Pflügen erfolgt. Bei Kartoffeln sind zusätzlich Querdämme erforderlich.

Die gesetzlichen Einschränkungen sind sowohl für die CCW1 und für RLP auch für die CCW2 Flächen gering. Auf der anderen Seite sind auch die zu erwartenden Erosionsschutzwirkungen niedrig. Häufig weisen Flächen nicht eine konstante Exposition auf, sondern haben wechselnde Hangrichtungen und -neigungen. Sofern die Bewirtschaftung parallel zur Haupthangrichtung erfolgt, sind die Bestimmungen der CCW1-Flächen (und CCW2-Flächen beim Anbau von Sommergetreide oder -raps) erfüllt, was im Einzelfall keinen ausreichenden Erosionsschutz bietet.

Für Mais und Zuckerrüben existieren Möglichkeiten ohne Ertragseinbußen auf eine Frühjahrsfurche zu verzichten. Beispielsweise durch die Aussaat von abfrierenden Winterzwischenfrüchten (mit/ohne Herbstfurche) können im darauffolgenden Frühjahr nach flacher Bodenbearbeitung problemlos Rüben oder Mais gesät werden. Den Kosten der Bewirtschaftungsauflagen (Arbeitserledigungskosten für die Zwischenfruchtaussaat + Saatgut für Zwischenfrucht) ist der Nutzen der verminderten Erosion gegenüberzustellen. Neben den gesetzlichen Bestimmungen sollten Landbewirtschaftler also im Eigeninteresse versuchen weitergehende Maßnahmen umzusetzen, um Erosion zu vermindern.

## 2.2 Einleitung

Unabhängig von gesetzlichen Einschränkungen existiert seit langem eine Diskussion über die optimale Art und das optimale Maß der Bodenbearbeitung. Auf Grund komplexer Wechselbeziehungen ist ein einfaches Patentrezept nicht zu erwarten, sondern es ist eine problem- bzw. zielorientierte Herangehensweise, die auf die Erfordernisse des Einzelfalls eingeht, erforderlich. Doch so richtig diese Formulierung ist, genauso unkonkret ist sie.

Auch wenn es diesem Buchbeitrag nicht gelingen wird, die Frage nach der ökonomisch optimalen Bodenbearbeitung erschöpfend zu beantworten, sollen dennoch wichtige Aspekte dargestellt werden, um im Einzelfall zu einer Verbesserung der Entscheidungsgrundlage beizutragen. Insbesondere die Arbeitserledigungskosten in Abhängigkeit von der gegebenen Flächengröße und Betriebsflächenausstattung werden für unterschiedliche technische Bodenbearbeitungssysteme dargestellt. Da Wintergetreide und Raps die größten Flächen-

anteile in Deutschland ausmachen, wird der Schwerpunkt auf diese Kulturen gelegt. Vereinfachend wird eine Fruchtfolge von Raps-Weizen-Weizen betrachtet. Bei diesen Kulturen ist nach wie vor der Pflugeinsatz auch auf CCW2-Flächen erlaubt, solange er außerhalb der Sperrfrist und die Aussaat unmittelbar in Folge stattfinden. Nichtsdestotrotz kann aber auch in diesen Winterkulturen Erosion stark gemindert werden, wenn die Bodenbearbeitungsintensität gemindert wird und so mehr organische Substanz auf der Bodenoberfläche verbleibt.

Zunächst wird in Kapitel 2.3 dargestellt, welche Kosten durch ein "Standardbodenbearbeitungssystem" in einem typischen Marktfruchtbetrieb in Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Flächengröße und der betrieblichen Flächenausstattung entstehen. Als Standard wird ein 120 PS Schlepper (88 kW), ein 4-Schar-Volldrehpflug mit einer Arbeitsbreite (AB) von 1,72 m, eine Kreiselegge mit aufgesattelter Drillmaschine (AB: 3 m), die zusammen mit einem Frontpacker für die Aussaat verwendet werden, und eine Kurzscheibenegge mit ebenfalls 3 m AB für die Stoppelbearbeitung definiert.

Anschließend werden diesem Standardsystem moderne großtechnische Lösungen - sowohl konventionell (wendend) als auch konservierend - in Kapitel 2.4 gegenübergestellt, deren Auslastungen nicht mehr durch eine vorgegebene Betriebsfläche bestimmt werden, sondern durch die verfügbaren Feldarbeitstage. Beispielsweise Lohnunternehmer oder Betriebsgemeinschaften können so kalkulieren.

Kapitel 2.5 erweitert den Blick weg von den reinen Arbeitserledigungskosten hin zu den Ertragseffekten unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Es können genauso Fälle gefunden werden, in denen eine Verminderung der Bearbeitungsintensität zu Ertragssteigerungen wie auch zu Ertragsdepressionen führen. Eine allgemein gültige Interpretation dieser Ergebnisse und eine eindeutige Übertragung dieser Ergebnisse auf die Zukunft bzw. auf andere Flächen sind bisher nur eingeschränkt möglich.

## **2.3 Arbeitserledigungskosten eines Standardbodenbearbeitungssystems**

### **2.3.1 Ausgangsdaten**

In Tabelle 2-1 sind wichtige Eingangsgrößen enthalten, um die Kosten der Bodenbearbeitung inklusive Aussaat zu bestimmen. Das KTBL (2010b) geht beim Nutzungspotenzial (Nutz-Pot) in vielen Fällen vereinfachend davon aus, dass jeder Meter Arbeitsbreite 1.000 ha Nutzungspotenzial aufweist; ein 3 m breiter Grubber also nach 3.000 ha wertlos ist. Diese recht pessimistische Annahme wird dahingehend verändert, dass je m Arbeitsbreite 1.500 ha Nutzungspotenzial unterstellt werden. Die technische Lebensdauer betrage bei allen Maschinen 15 Jahre.

Die dargestellten Reparatur und Wartungskosten (Rep) entsprechen denen des KTBL (ebenda). Obwohl diese nach Auffassung des Verfassers überhöht sind, werden sie so in den Kalkulationen verwendet.

**Tabelle 2-1: Parametrisierung des Standardbodenbearbeitungssystems**

	Listenpreis €	Nutz-Pot ha	Rep €/ha	Tiefe cm	AB m	Zugkraft kN	v km/h	Diesel l/ha
4-Schardrehpflug	18.000	3.000	12	24	1,72	26,7	7,1	17,6
Kreiselegge + Drillmaschine	25.800	4.500	10	6	3	7,1*	8,8	4,0
Frontpacker	5.300	4.500	2	6	3	3,6	8,8	1,4
Kurzscheibenegge	12.500	4.500	5	6	3	10,8	17,6	4,1

\*reine Zugkraft, Drehmoment an der Zapfwelle ist in der Zugkraft nicht enthalten

Die erforderlichen Zugkräfte sind von Dutzi (2007) entnommen bzw. abgeleitet worden. Die maximale Zugleistung, die ein Schlepper aus seiner Motorleistung generieren kann, hängt von Ballastierung, Reifen, Reifeninnendruck, Bodenverhältnissen, Getriebewirkungsgrad und Nebenverbrauchern ab. Geht man von einem Zugkraftwirkungsgrad auf dem Acker von 60% aus, dann entfaltet ein 88 kW Schlepper 53 kW Zugleistung. Division von Zugleistung durch die erforderliche Zugkraft des Bodenbearbeitungsgerätes ergibt die mögliche Geschwindigkeit (v) in m/s, die durch Multiplikation mit 3,6 in die Einheit km/h transformiert wird. Beim Drillen wird die Geschwindigkeit nicht durch die Motorleistung des Schleppers begrenzt. Für eine gute Arbeitsqualität werden mit der Kreiseleggenkombination 8,8 km/h vorgegeben. Neben diesen Angaben ist in Tabelle 2-1 der Dieserverbrauch in l/ha während der ausführenden Arbeit ohne Wende- und Rüstzeiten angegeben (spez. Verbrauch: 200 g/kWh = 243,9 ml/kWh).

Wie sich die Dieserverbräuche für die reine ausführende Arbeit errechnen lassen, wird an folgendem Beispiel gezeigt:

Der Zugkraftbedarf der Kreiseleggendrillmaschinenkombination beträgt 7,1 kN. Aus der Gleichung Kraft mal Geschwindigkeit (in Meter pro Sekunde) ergibt sich die Leistung in kW:

$$7,1 \text{ kN} \cdot \frac{8,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{3,6} = 17,4 \text{ kW}$$

Zusätzlich wird an der Zapfwelle eine Leistung von 11,5 kW abgerufen (Dutzi, 2007). Bei der Frage, wie viel Motorleistung bei der Aussaat abgegeben wird, sind die Wirkungsgrade zu berücksichtigen. Bei einem Zugkraftwirkungsgrad von 60% und einem Wirkungsgrad an der Zapfwelle von 85% ergeben sich 43,3 kW Motorleistung. Bei einem spezifischen Verbrauch von 0,244 l/kWh verbraucht der Schlepper also 10,57 l/h bzw. 4,0 l/ha bei der reinen Drillarbeit ohne Nebenarbeiten (z. B. Wenden). Die hierbei verwendete Flächenleistung von 2,6 ha/h ergibt sich aus folgender Formel:

$$8,8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 3 \frac{\text{m}}{10} = 2,6 \text{ ha}$$

Komplettiert wird der Verbrauch des Arbeitsverfahrens Aussaat durch Hinzurechnen der 1,4 l/ha für den Frontpacker.

### 2.3.2 Kostenkalkulation

Am Beispiel des Arbeitsverfahrens "Aussaat" wird im Weiteren die Vorgehensweise zur Berechnung der Arbeiterledigungskosten demonstriert. Wichtige bisher nicht genannte Parameter sind Lohn, Zinssatz bzw. Dieselpreis. Sie werden auf 15 €/h, 5% bzw. 1,20 €/l festgesetzt.

Es wird zwischen den Bereitstellungskosten (AfA, Zinsen), die mit der jährlichen Einsatzfläche (Auslastung) variieren und den Betriebsgrößen unabhängige Kosten (Reparaturen, Diesel, Lohn) unterschieden. Letztere sind im Hinblick auf die Flächenausstattung des Betriebes konstant.

### 2.3.3 Bereitstellungskosten

Für das Arbeitsverfahren "Drillen" sind neben Kreiselegge und Drillmaschine der Frontpacker und der 88 kW Schlepper erforderlich. Die Bereitstellungskosten von letzterem bleiben zunächst unberücksichtigt, um sie in einem späteren Abschnitt zu erklären. Die addierten Kaufpreise der übrigen Maschinen betragen 31.100 € (vgl. Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2). Bei einer Auslastung oberhalb der Auslastungsschwelle erfolgt die Abschreibung leistungsabhängig; darunter zeitabhängig. In Abbildung 2-2 sind die Bereitstellungskosten für zwei unterschiedlich große Betriebe mit 80 und 150 ha Gesamtfläche dargestellt. Da in beiden Fällen die Auslastungsschwelle

$$\frac{4.500ha}{15a} = 300 \frac{ha}{a}$$

unterschritten ist, wird zeitabhängig abgeschrieben. Nach dynamischer Investitionsrechnung betragen die Bereitstellungskosten bestehend aus Zinsen (923 €/a) und Abschreibung (2.073 €/a) in der Summe 2.996 € pro Jahr. Auf dem größeren Betrieb liegen diese Kosten mit 20 €/ha deutlich unter denen des 80 ha Betriebs mit 37,5 €.

**Tabelle 2-2: Ableitung der Bereitstellungskosten für das Arbeitsverfahren "Drillen"**

Kaufpreis	€	31.100	
Restwert	€	0	
Nutzungspotenzial	ha	4.500	
Auslastung	ha	80	150
mögliche Nutzung	Jahre	15	15
Annuitätenfaktor		0,0963	0,0963
Bereitstellungskosten	€/Jahr	2.996	2.996
	€/ha	37,5	20,0

### 2.3.4 Betriebsgrößen unabhängige Kosten

Die Flächenleistung wird nicht nur von der Leistungsfähigkeit der Maschinenkombination bestimmt, sondern auch durch die Flächenstruktur (Schlaggröße und Verkehrslage). Ohne Rüst-/Wege- und Wendezeiten werden mit 8,8 km/h und 3 m Arbeitsbreite 2,63 ha pro Stunde bewirtschaftet. Mit Hilfe des Programms "Unregelmäßige Schläge" (KTBL, 2010a) lassen sich die Flächenleistungen auf dem Feld (siehe Tabelle 2-3, Spalte 3) für unterschiedliche Schlaggrößen ermitteln. Die Unterschiede zur theoretischen Flächenleistung sind erheblich, obwohl Rüst- und Wegezeiten und andere Unterbrechungen außerhalb des Schlages noch nicht berücksichtigt sind.

Berücksichtigt man zusätzlich, dass bei einer 12 h Arbeitsschicht 2 h für Pausen zum Warten der Maschinen, Essen und für die An- und Abfahrt wegfallen und dass der Wechsel von einem zum anderen Feld 6 min dauert, dann sinken die unter praktischen Bedingungen erzielbaren Flächenleistungen weiter (Spalte 4). In den Spalten 5 und 6 ist zusätzlich die erforderliche Zeit für das Befüllen des Saattanks berücksichtigt. Während diese Befüllzeit bei der Rapsaussaat kaum ins Gewicht fällt, reduziert sie die Flächenleistung bei der Weizenaussaat erheblich. Denn bei einem Tankvolumen von 440 l  $\Leftrightarrow$  360 kg und einer Aussaatstärke von 180 kg/ha muss die Drillmaschine nach 2 ha aufgefüllt werden, was Annahmen gemäß 30 min dauert. Bei der Weizenaussaat sinkt die tatsächliche praktische Flächenleistung bei 1 ha-Schlägen also von 2,63 ha/h auf 0,93 ha/h (Spalten 6).

**Tabelle 2-3: Flächenleistungen in Abhängigkeit von der Schlaggröße**

Flächengröße	theoretische Flächenleistung	Flächenleistung			
		nur auf Feld*	incl. Umsetzen und Nebenzeiten	incl. Befüllen des Saattanks	
				Raps	WW
ha		ha/h			
1	2,63	1,68	1,21	1,17	0,93
5	2,63	2,16	1,74	1,66	1,21
20	2,63	2,40	1,99	1,88	1,33

\*Quelle: KTBL 2010 a, eigene Berechnungen

Anhand des Zugkraftbedarfs wird der Dieserverbrauch errechnet und ist in Tabelle 2-1 mit 5,4 l/ha für die reine Drillarbeit (inklusive Frontpacker) angegeben. Diese Angabe hat jedoch noch wenig mit dem tatsächlichen Dieserverbrauch gemein, der für das gesamte Arbeitsverfahren Drillen inklusive aller Rüst- und Wegearbeiten anfällt.

Die Ermittlung des tatsächlichen Dieserverbrauchs je Hektar wird in Tabelle 2-4 (Spalte 3) am Beispiel der 1 ha Fläche für die Rapsaussaat erläutert. Bei der Drillarbeit verbraucht der Schlepper - abgeleitet aus der Zugleistung (siehe Tabelle 2-1) - 14,1 l/h bzw. 5,4 l/ha. Am Vorgewende bei ausgehobener Maschine oder beim Umsetzen ist der Verbrauch pro Stunde dagegen geringer. Hier beträgt er nur 8 l/h. Eine theoretische Flächenleistung von

2,63 ha/h entspricht einem Zeitbedarf für das reine Ausdrillen von 0,38 h/ha. Die tatsächliche Flächenleistung beträgt aber lediglich 1,17 ha/h oder anders ausgedrückt, pro ha sind nicht 0,38 sondern 0,86 h erforderlich. Die Differenz zwischen diesen beiden Zeiten ergibt die Zeit an der der Schlepper unter Teillast fährt (Wenden, Transport). Der Dieserverbrauch für das komplette Arbeitsverfahren Drillen beträgt demnach:

$$14,1 \frac{l}{h} \cdot 0,38 \frac{h}{ha} + 8 \frac{l}{h} \cdot 0,48 \frac{h}{ha} = 9,2 \frac{l}{ha}$$

(siehe Tabelle 2-4).

**Tabelle 2-4: Kostenkalkulation der Rapsaussaart in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Schlaggröße**

1	2	3	4	5
		Raps	Weizen	Fruchtfolge
Schlaggröße	ha	1,0		
theoretische Flächenleistung	ha/h	2,6		
theoretischer Zeitbedarf	h/ha	0,38		
Dieserverbrauch beim Drillen (14,1 l/h)	l/ha	5,4		5,4
reale Flächenleistung	ha/h	1,17	0,93	1,01
realer Zeitbedarf	h/ha	0,86	1,08	1,00
Zeit unter Teillast	h/ha	0,48	0,70	0,62
Dieserverbrauch unter Teillast (8 l/ha)	l/h	3,81	5,59	5,0
Dieserverbrauch komplett	l/ha	9,2	11	10,4
Lohnkosten (15 €/h)	€/ha	12,8	16,2	15,1
Reparaturkosten Schlepper (7 €/h)	€/ha	6,0	7,6	7,0
Dieselskosten	€/ha	11,0	13,2	12,4
Reparaturkosten Drillmaschine+ KE + FP	€/ha	12		12
<b>Betriebsgrößen unabhängige Kosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>41,9</b>	<b>48,9</b>	<b>46,5</b>

Die erforderliche Gesamtzeit (0,86 h/ha) wird mit den Reparaturkostensatz für den Schlepper (7 €/h) und dem Lohnsatz (15 €/h) multipliziert. Des Weiteren fallen Dieselskosten von 11 €/ha (Dieselpreis: 1,20 €/l) und Reparaturkosten von 6 €/ha für die Kreiselegge, Drillmaschine und Frontpacker an, so dass die Betriebsgrößen unabhängige Kosten für die Rapsaussaart bei 1 ha Schlägen 41,9 €/ha betragen.

Da, wie geschildert, der Zeitbedarf bei der Weizenaussaat höher ist, ergeben sich hier mit 48,9 €/ha höhere Kosten. In Spalte 5 von Tabelle 4 sind die mittleren Betriebsgrößen unabhängigen Kosten der Aussaat für die betrachtete Fruchtfolge (2/3 Weizen, 1/3 Rap) angegeben.

### 2.3.5 Bereitstellungskosten für den Schlepper

Die Bereitstellungskosten für den Schlepper sind nicht unerheblich. Sie können jedoch nicht ohne die jährliche Auslastung des Schleppers bestimmt werden. Da die Auslastung aber nicht allein durch die Summe an Schlepperstunden für die Bodenbearbeitung und Aussaat bestimmt wird, sondern gegebenenfalls noch weitere Arbeiten (z. B. Düngerstreuen, Pflege- oder Transportarbeiten) zu berücksichtigen sind, müssen Annahmen zu Auslastung des Schleppers getroffen werden.

Durch die Ergebnisse der bisherigen Kalkulationen können für die unterschiedlichen Betriebsgrößen und die aus den Flächengrößen resultierenden Arbeitszeiten die jährlichen Schlepperstunden für die Bodenbearbeitung + Aussaat bestimmt werden. Als vereinfachende Annahme werden diese jährlichen Schlepperstunden mit 1,8 multipliziert, um einen Näherungswert für die jährliche Gesamtauslastung der Schleppers zu erhalten.

In Tabelle 2-5 sind die Kosten für die Aussaat vervollständigt. Bei einer jährlichen Auslastung des Schleppers von 438 h betragen die Bereitstellungskosten (AfA + Zinsen) für diesen 18,20 €/h. Multipliziert mit dem Zeitbedarf von 0,86 h/ha (siehe Tabelle 2-4) ergeben sich Bereitstellungskosten für den Schlepper von 15,4 €/ha. Die Bereitstellungskosten für die Drillmaschine sind aus Tabelle 2-2 übernommen. Die Vollkosten des Arbeitsverfahrens Aussaat betragen für Raps 94,7 und für Weizen 105,8 €/ha. Bei einer Fruchtfolge bestehend aus 2/3 Weizen und 1/3 Raps ergeben sich im Mittel 102,1 €/ha.

**Tabelle 2-5: Bereitstellungskosten und Gesamtkosten der Aussaat für 1 ha-Schläge bei 80 ha Gesamtfläche**

		Raps	Weizen	Fruchtfolge
Schlaggröße	ha	1,0		
Auslastung Schlepper (80 ha)	h/a	438		
Bereitstellungskosten Schlepper	€/ha	15,4	19,4	18,1
Bereitstellungskosten Drillmaschine	€/ha	37,5		37,5
<b>Bereitstellungskosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>52,9</b>	<b>56,9</b>	<b>52,9</b>
<b>Kosten komplett</b>	<b>€/ha</b>	<b>94,7</b>	<b>105,8</b>	<b>102,1</b>

### 2.3.6 Kosten des Standardsystems in Abhängigkeit von Betriebsgröße und Schlaggröße

Nach der beschriebenen Vorgehensweise werden auch die Arbeitserledigungskosten für die anderen Arbeitsverfahren bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2-6 zusammengefasst. In kleinstrukturierten Betrieben (Flächengröße 1 ha) betragen die gesamten Arbeits-

erledigungskosten von Bodenbearbeitung und Aussaat 273 €/ha beim 80 ha Betrieb und 213 €/ha beim 150 ha Betrieb. Mit anderen Worten nehmen die Kosten für Aussaat und Bodenbearbeitung beim betrachteten Betriebsgrößenvergleich um 22% ab.

**Tabelle 2-6: Arbeitserledigungskosten des Standardsystems**

Betriebsgröße	Ø-Feldgröße	4-Schar Drehpflug	Kurzscheibenegge	Kreiselegge+ Drillmaschine + Packer	Summe
ha	ha	€/ha			
80	1	120	51	102	273
	5	112	42	94	248
	10	110	40	93	244
100	1	110	46	91	248
	5	102	38	83	222
	10	100	36	82	218
150	1	97	40	76	213
	5	88	31	68	188
	10	87	30	67	183

Doch nicht allein die Flächenausstattung des Betriebs, sondern auch die Flächenstruktur nimmt selbstverständlich Einfluss auf die Arbeitserledigungskosten. Bei allen Betriebsgrößen führt eine Erhöhung der durchschnittlichen Feldgrößen von 1 auf 5 ha Schläge zu Kostenreduktionen von ca. 10%. Bei einer weitere Anhebung der durchschnittlichen Feldgrößen von 5 auf 10 ha fallen die Kosteneinsparungen gering aus.

## 2.4 Arbeitserledigungskosten moderner Bodenbearbeitungssysteme

### 2.4.1 Systemvergleich

Zur Darstellung und zum Vergleich moderner Bodenbearbeitungsstrategien sowohl konservierend als auch konventionell werden 4 unterschiedliche Strategien in Anlehnung an die Versuche der Firma Amazone (Amazone, 2009; Dutzi, 2007) definiert (siehe Tabelle 2-7). Auf die realisierten Erträge dieser Versuche wird in Kapitel 2.5 eingegangen.

**Tabelle 2-7: Bodenbearbeitungsstrategien**

A	K.-Sch.-Egge (6 cm) - Pflug - Aussaat incl. Frontpacker	konventionell
B	K.-Sch.-Egge (6 cm) - Grubberkomb. (18 cm) - Aussaat	
C	K.-Sch.-Egge (6 cm) - Grubberkomb. (12 cm) - Aussaat	Mulchsaat (konservierend)
D	K.-Sch.-Egge (6 cm) - K.-Sch.-Egge (6 cm) - Aussaat	

## 2.4.2 Ausgangsdaten

Um die Kosten moderner technischer Verfahren zu bestimmen werden exemplarisch Maschinen der Firmen Amazone und Lemken betrachtet. Dies ist keine Wertung, die Auswahl hätte ebenso gut auf andere Hersteller fallen können. Die Produkte Centaur, Catros bzw. Cirrus der Firma Amazone sind eine 4 balkige Grubber-Scheibeneggenkombination incl. Keilringwalze, eine Kurzscheibenegge incl. Keilringwalze bzw. eine gezogene Drillmaschine mit davor laufender Catros Kurzscheibenegge. Die 3 Maschinentypen werden in jeweils zwei unterschiedlichen Größen betrachtet; die kleinere Variante wird von einem 140 kW (190 PS), die größere von einem 220 kW (300 PS) Schlepper gezogen.

Alternativ zu den Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung wird der Pflug Vari-Tansanit 8 der Firma Lemken (7 furchig), der besonders leichtzügig ist, herangezogen. Ein 140 kW Schlepper ist nach Testergebnissen von profi für diesen Pflug mit einer eingestellten Arbeitsbreite von 3,8 m empfehlenswert (Eikel, 2007). Zugkraftmessungen wurden von Eikel allerdings nicht durchgeführt.

In Tabelle 2-8 sind weitere wichtige Eingangsgrößen enthalten, um die Kosten der Bodenbearbeitung zu bestimmen.

**Tabelle 2-8: Ausgangsdaten zur Berechnung der Arbeitserledigungskosten**

	Preis €	N.-Pot ha	Rep. KTBL €/ha	Rep. Ama- zone €/ha	Tiefe cm	AB m	Zug- kraft kN	v km/h	Diesel l/ha
Centaur 3001 super (140 kW)	31.320	4.500	11	3,25	12	3	28	10,7	10,6
					18		35	8,5	13,4
Centaur 5001-2 super (220 kW)	63.440	7.500	11	3,25	12	5	47	10,1	10,7
					18		59	8,1	13,3
Cirrus 3001 special (140 kW)	43.505	4.500	12	2,25	6	3	14	15	5,3
Cirrus3001 spec. + Packer	50.505	4.500	13		6	3	18	11	6,7
Cirrus 6001 special (220 kW)	74.925	9.000	12	2,25	6	6	22	15	4,1
Lemken Vari-Tansanit 8 (140 kW)	45.000	5.700	13		24	3,5	46	6,5	14,9
Catros 5001-2 (140 kW)	24.450	7.500	6	1	6	5	18	14,9	4,1
Catros 7501-T (220 kW)	52.150	11.250	6	1	6	7,5	27	17,6	4,1

N.-Pot: Nutzungspotenzial, Rep.: Reparaturkosten; AB: Arbeitsbreite, v: Arbeitsgeschwindigkeit, Diesel: Verbrauch bei ausführender Arbeit (ohne z. B. Wendearbeiten)

Bei den Reparaturkosten gibt es zwischen den Angaben von Amazone (Prospekte) und KTBL (2010b) größere Diskrepanzen. Möglicherweise liegt dies daran, dass das KTBL Reparatur- und Wartungskosten über die gesamte Nutzungsdauer betrachtet. Da beide Quellen nicht angeben, wie die Zahlen zustande kommen bzw. welche empirische Basis hinter den Angaben steht, können die Angaben nicht gegeneinander abgewogen werden. Für eine bessere Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus Kapitel 3 werden die Reparaturkostensätze des KTBL verwendet.

Die erforderlichen Zugkräfte sind aus Testberichten der DLG, den Zeitschriften profi und DLZ und von Dutzi (2007) entnommen. Geht man, wie in Kapitel 3, von einem Zugkraftwirkungsgrad auf dem Acker von 60% aus, dann entfaltet ein 140 kW (220 kW) Schlepper 84 kW (133 kW) Zugleistung. Beim Drillen mit der gezogenen Drillmaschinenkombination wird für eine gute Arbeitsqualität die Vorfahrtgeschwindigkeit auf nicht gepflügtem Land auf 15 km/h begrenzt. Da nach einer Pflugfurche die gezogene Drillmaschinenkombination trotz davor laufender Kurzscheibenegge und Keilringwalze nicht ohne Frontpacker eingesetzt werden kann, muss die Geschwindigkeit auf gepflügtem Land auf 11 km/h gedrosselt werden, um mögliche Schädigungen des Gussfrontpackers durch Steine auszuschließen (Dutzi, 2010).

Um Vergleichbarkeit in den Zugkraftwerten zwischen den unterschiedlichen Arbeitsgeräten gewährleisten zu können, wird der spezifische Zugkraftbedarf (kN/m) des Pfluges VariTansanit aus dem Zugkraftbedarf abgeleitet, den Dutzi (2007) in seinen Versuchen für einen 4-Scharpflug mit 1,72 m AB gemessen hat. Auf Grund der Leichtzügigkeit wird der spezifische Zugkraftbedarf des VariTansanit um 15% niedriger angenommen.

Neben diesen Angaben ist in Tabelle 2-8 der Dieselverbrauch in l/ha während der ausführenden Arbeit ohne Wende- und Rüstzeiten angegeben.

### **2.4.3 Kostenkalkulation**

Die Methodik zur Kostenkalkulation ist weitestgehend identisch zur in Kapitel 2.3 beschriebenen Methodik. Lediglich bei der Auslastung und demzufolge bei den Bereitstellungskosten der Verfahren existieren Unterschiede, die im folgenden Abschnitt 2.4.3.1 dargelegt werden.

#### **2.4.3.1 Auslastung, Bereitstellungskosten**

Durch eine Steigerung der Einsatzfläche sinken die Maschinenbereitstellungskosten (AfA + Zinsen). Sofern die eigene Betriebsfläche für eine hohe Auslastung nicht ausreicht, sollte entweder nicht in eigene Maschinen investiert werden und stattdessen lediglich die Arbeiten zugekauft werden oder die aus einer Investition resultierenden Kapazitäten werden zusätzlich durch den Verkauf überbetriebliche Dienstleistungen verwertet. Bei "straffer" Organisation sollten letztlich also nicht die eigenen Flächen, sondern die verfügbaren Feldarbeitstage die Auslastung bestimmen, wovon in diesem Kapitel ausgegangen wird.

Für ein Produktionsprogramm bestehend aus ? Winterraps und ? Winterweizen bildet die Rapsaussaat den kritischen zeitlichen Engpass. Unterstellt man für eine termingerechte Rapsaussaat 6 Tage à 12 h dann lässt sich hieraus unter Berücksichtigung der tatsächlichen Flächenleistung (abhängig von gewählter Technik und Feldstruktur) die maximal Rapsaussaatfläche ermitteln. Die jährliche Gesamtaussaatfläche der Drillmaschine ent-

spricht dann der 3-fachen Rapsfläche. Diese Gesamtfläche bildet gleichfalls die Auslastung der anderen Bodenbearbeitungsgeräte.

An einem Beispiel sollen diese Überlegungen verdeutlicht werden. Wenn 6 Tage à 12 h zur Verfügung stehen, dann könnten bei durchschnittlichen Feldgrößen von 1 ha mit der 3 m breiten Drillmaschine Cirrus 99 ha Raps bestellt werden ( $72 \text{ h} \times 1,37 \text{ ha/h} = 99$ ). In strukturell günstigeren Regionen (z. B. Ø Feldstücksgröße 30 ha) sind es dagegen 230 ha ( $72 \text{ h} \times 3,19 \text{ ha/h} = 230$ ) (Flächenleistungen siehe Tabelle 2-9). Die jährliche Gesamtfläche entspricht der 3-fachen Rapsfläche; für die betrachteten Beispiele also 297 bzw. 688 ha.

Die Auslastungsschwelle von 300 ha (4.500 ha/15 Jahre) wird im einen Fall knapp erreicht und im anderen deutlich überschritten (siehe Tabelle 2-10). Da oberhalb der Auslastungsschwelle die Kostendegression der Bereitstellungskosten nur noch gering ausfällt, sinken mit der Steigerung der Einsatzfläche von knapp 300 auf knapp 700 ha die Kosten nur um 2,5 €/ha.

Auch beim Schlepper bestimmt nicht mehr die Betriebsfläche die jährliche Auslastung, sondern es wird von einer Auslastung der Schlepper von 1.000 h pro Jahr ausgegangen. Bei einem Nutzungspotenzial von 10.000 h betragen die Bereitstellungskosten des 140 kW-Schleppers (220 kW-Schlepper) bei einem Neupreis von 120.000 € (185.000 €) 15,5 €/h (24 €/h).

**Tabelle 2-9: Flächenleistung [ha/h] bei der Weizen- bzw. Rapsaussaat mit der Drillmaschine**

1 Flächengröße [ha]	2 theoretische Flächenleistung	3 Flächenleistung auf dem Feld*	4 reale Flächenleistung mit Rüst- und Wegezeiten	
			Raps	WW
1	4,50	1,97	1,37	1,30
5	4,50	3,13	2,44	2,20
30	4,50	3,91	3,19	2,79

Quelle: eigene Berechnungen, \*KTBL 2010a

**Tabelle 2-10: Maschinenbereitstellungskosten in Abhängigkeit von der Auslastung**

Kaufpreis	€	43.505	
Restwert	€	0	
Nutzungspotenzial	ha	4.500	
Auslastung	ha	297	688
mögliche Nutzung	Jahre	15,00	6,54
Annuitätenfaktor		0,0963	0,1830
jährliche Bereitstellungskosten (AfA+Zinsen)	€/Jahr	4.191	7.962
	€/ha	14,1	11,6

### 2.4.3.2 Kosten der modernen Bodenbearbeitungsstrategien

Tabelle 2-11 stellt die kompletten Arbeiterledigungskosten der unterschiedlichen Arbeitsverfahren für unterschiedliche durchschnittliche Schlaggrößen dar. Im unteren Abschnitt werden die Kosten für die gesamten Strategien summiert.

Zwischen den Strategien A bis C in denen die Bearbeitungsintensität sukzessive gemindert wird, kommt es zu Kostenreduktionen von maximal 31 €/ha (A gegen C bei 1 ha Schlaggröße). Strategie D ist zwischen 52 und 65 €/ha günstiger als die Pflugvariante. Beschränkt man den Vergleich auf die Varianten A bis C und mittelt in den Varianten jeweils über die Flächengrößen, dann ergeben sich für A: 161, für B: 141 und für und C 135 €/ha. Beim Übergang von A nach C sind - gemittelt über die Flächengrößen - also 27 €/ha Kostenreduktion möglich.

**Tabelle 2-11: Kosten unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien in Abhängigkeit von der Feldstruktur; Zugschlepper 140 kW**

			Catros 5001, 1 x pro Jahr, 6 cm tief	Catros 5001, 2 x pro Jahr, 6 cm tief	Lemken Vairi. 24 cm tief	Centaur 3001, 18 cm tief	Centaur 3001, 12 cm tief	Cirrus 3001	Cirrus 3001 + Packer
Strategie	<b>A</b>		1		1				1
	<b>B</b>		1			1		1	
	<b>C</b>		1				1	1	
	<b>D</b>			2				1	
		Auslastung	Arbeiterledigungskosten je Arbeitsverfahren						
Ø F.-größe [ha]	1	297 ha (261)	38 (40)	35	85	72	66	70	81
	5	528 ha (427)	26 (26)	25	68	59	52	51	60
	10	604 ha (475)	24 (24)	23	66	56	50	48	57
	30	688 ha (526)	22 (23)	22	64	54	48	45	54
		Kosten der Strategie (A-D)							
Ø F.-größe [ha]		Auslastung	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>			
	1	297 ha (261)	205	180	174	140			
	5	528 ha (427)	154	135	128	100			
	10	604 ha (475)	147	128	121	94			
	30	688 ha (526)	140	121	115	88			

\*Werte in Klammern gelten für die Pflugvariante

Zusätzlich sind in Tabelle 2-11 die Auswirkungen unterschiedlicher Flächengrößen dargestellt. Beim Sprung von 1 auf 30 ha Schläge sinken die Gesamtkosten bei den Strategien A bis D um 51 bis 65 €/ha, wobei sich der größte Kostensprung bereits beim Übergang von 1 auf 5 ha Schläge ergibt (39 bis 51 €/ha).

Es wird also deutlich, dass den Flächengrößen bedeutenderer Einfluss zukommt als der Frage, ob die Bodenbearbeitung wendend oder konservierend durchgeführt wird. Da die Agrarstruktur in der Regel nur sehr langsam beeinflussbar ist, sollten für kleinere und zerstreute Flächen entsprechend niedrigere Pachtpreise gezahlt werden. Hierbei sollte man jedoch bedenken, dass der Sprung von 1 auf 5 ha Schläge bereits deutliche Effekte bringt. Weitere Flächenvergrößerungen führen zwar zu weiter sinkenden Arbeitserledigungskosten, aber in sinkenden Raten.

**Tabelle 2-12: Kosten unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien in Abhängigkeit von der Feldstruktur; Zugschlepper 220 kW**

	Flächengröße		Catros7501, 1 x pro Jahr, 6 cm tief	Catros750 1, 2 x pro Jahr, 6 cm tief	Cen- taur5001, 1 x pro Jahr, 18 cm tief	Cen- taur5001, 1 x pro Jahr, 12 cm tief	Cir- rus6001, 1 x pro Jahr, 6 cm tief	
	<b>B</b>		1		1		1	
	<b>C</b>		1			1	1	
	<b>D</b>			2			1	
		Auslastung	Arbeitserledigungskosten je Arbeitsverfahren					
Ø F.-größe [ha]	1	518 ha	41	38	74	67	59	
	5	1003 ha	26	26	60	52	42	
	10	1169 ha	24	24	57	50	39	
	30	1351 ha	23	22	55	48	37	
			Kosten der Strategie (A-D)					
		Auslastung	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	/		
Ø F.-größe [ha]	1	518 ha	175	167	135			
	5	1003 ha	128	120	93			
	10	1169 ha	121	113	87			
	30	1351 ha	116	108	82			

Unbeantwortet blieb bisher die Frage, inwieweit eine Erhöhung der Maschinengrößen zu einer Minderung der Kosten beiträgt. Erstaunlicherweise sind diese Effekte beim Übergang von der Technik passend für einen 140 kW Schlepper (Tabelle 2-11) hin zu der Technisierung für einen 220 kW Schlepper (Tabelle 2-12) gering. In allen Fällen spart die „große

Technik" weniger als 10 €/ha. Erklärbar ist dies dadurch, dass die Maschinenpreise in etwa proportional zu Ihrem Leistungsvermögen sind. Ähnlich verhält es sich beim Dieserverbrauch und den Reparaturkosten. Lediglich der Lohnaufwand sinkt mit steigendem Leistungspotenzial der Technik. Bei einem geringeren Lohnsatz als 15 €/h wären die Unterschiede also geringer und bei höhere Lohnsatz größer

#### 2.4.4 Gegenüberstellung moderner Bodenbearbeitungssysteme mit dem Standardsystem

In Tabelle 2-13 sind die Ergebnisse aus Kapitel 2.3 mit denen der modernen Pflugvariante gegenübergestellt. Der Kostenvorteil des modernen hoch ausgelasteten Verfahrens ist umso höher, je kleiner die für das Standardsystem zur Verfügung stehende Betriebsfläche ist.

Und ebenfalls zu beachten ist, dass der Vorteil des modernen Systems bei kleinen Schlägen deutlich kleiner als bei großen Schlägen ist. Bei 1-ha Durchschnittsschlaggröße liegen die Kosten der modernen und der Standardvariante (150 ha Betriebsfläche) nur 8 €/ha auseinander, wohingegen sich bei 10 ha Schlaggröße immerhin eine Kostendifferenz von 46 €/ha ergibt.

Nun könnte man vermeintlich argumentieren, dass die aufgezeigten Kostendifferenzen unerheblich sind. Dies ist aber nicht richtig, wenn man bedenkt, dass im Mittel Ackerbaubetriebe keine Vollkostendeckung erzielen und nur bessere Betriebe einen positiven Unternehmergewinn erwirtschaften (BMELV, 2009).

**Tabelle 2-13: Kostenvergleich der modernen Pflugvariante mit dem Standardsystem**

Schlaggröße ha	moderne Pflugvariante		Standardsystem Betriebsgröße		
	Auslastung		80 ha	100 ha	150 ha
			Kosten [€/ha]		
1	261 ha	205	273	248	213
5	427 ha	154	248	222	188
10	475 ha	147	244	218	183
		100%	151%	136%	116%

Wenn aber moderne hoch ausgelastete technische Lösungen zur Bodenbearbeitung günstigere Vollkosten aufweisen als einzelbetriebliche Lösungen, dann stellt sich die Frage, warum Landwirte nicht in stärkerem Maße Lohnunternehmer für die Feldbearbeitung beauftragen. Eine mögliche Erklärung ist die, dass Landwirte eben keine Vollkostenkalkulation durchführen also beispielsweise für die eigene Arbeit oder das eigene eingebrachte Kapital keine Opportunitätskosten berücksichtigen, sondern in ihren Kalkulationen nur auszahlungsgleiche Kosten heranziehen.

## 2.5 Ertragseffekte

Beim Kostenvergleich der modernen Strategien A - C (Kapitel 2.4) wurde deutlich, dass die Kostenunterschiede zwischen konventioneller und intensiver konservierender Bodenbearbeitung (Bearbeitungstiefe  $\geq 12$  cm) gering sind. Dies bedeutet dann, dass Erträge bzw. andere durch die Bodenbearbeitung veränderte Kosten (z. B. Herbizidaufwand) von größerer Bedeutung für die Wahl des ökonomisch sinnvollsten Bearbeitungssystems sind als die Arbeiterledigungskosten der Bodenbearbeitung selbst. Um das bisherige Bild zu vervollständigen, wird deshalb in komprimierter Form ein Blick auf mögliche Ertragseffekte geworfen.

Zunächst soll dafür am Beispiel der Versuche von Amazone gezeigt werden, dass eine konsequente Trennung zwischen konservierender und konventioneller nicht erforderlich ist.

Wie gesagt, gehen die Auffassungen über das optimale Maß an Bodenbearbeitung auseinander. Während einige Jahre beispielsweise im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung tendenziell ein flacher Eingriff (6 - 8 cm) propagiert wurde, wird aktuell betont, dass alle 2 bis 3 Jahre doch eine krumentiefe Lockerung vorteilhaft sei. Allerdings wird im Falle einer tieferen Lockerung selten der Pflug empfohlen, weil so die durch konservierende Bodenbearbeitung aufgebaute Struktur wieder zerstört wird. Obwohl dies richtig ist, wird sich der Pflugeinsatz wahrscheinlich nicht negativ auf den Ertrag auswirken. Denn der auf manchen Standorten vorhandene Vorteil der konservierenden Bodenbearbeitung wächst nicht mit den Jahren des Pflugverzichtes. Dies bestätigen beispielsweise die Versuchsergebnisse der Firma Amazone in Leipzig (siehe Abbildung 2-1). Der tendenzielle Ertragsvorteil der vorzüglichsten Variante (Mulchsaat 12 cm) gegenüber der Pflugvariante wird im Laufe der Jahre nicht größer. Je nach Umweltbedingungen (Witterung, Krankheiten, Mäuse, Fusarien etc.) ist er mal größer oder mal kleiner.

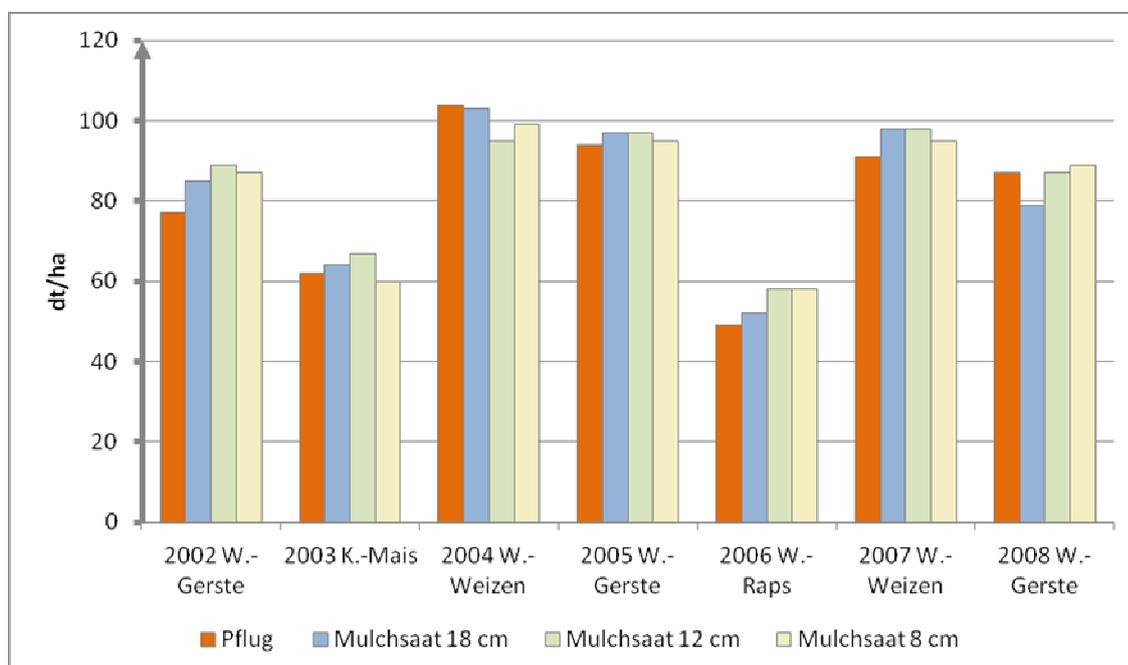
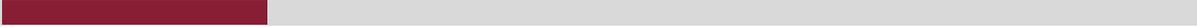


Abbildung 2-1: Bodenbearbeitungsversuch am Standort Leipzig (Amazone); Quelle: Verändert nach Amazone (2009)



Wenn dies aber so ist, dann gibt es - abgesehen von Erosionsproblemen - aus produktionsökonomischer Sicht keinen Grund, die Systemgrenzen nicht verwischen zu lassen, also auch in tendenziell konservierenden Produktionssystemen wiederkehrend immer mal wieder zu pflügen. Beispielsweise Trespenprobleme ließen sich so wirkungsvoll entschärfen.

Aus den Ergebnissen des Amazone-Versuchs ist die Bodenbearbeitungsvariante Mulchsaat 12 cm = C (siehe Tabelle 2-7) im Mittel der Jahre die ertragsstärkste. Für diesen Standort ergeben sich also einerseits Vorteile durch niedrigere Kosten und andererseits höher Leistungen durch höhere Erträge. Diese win-win-Situation mag für trockene Standorte, wie den Leipziger Versuchsstandort, zutreffend sei. Auf anderen Standorten kann es aber auch ganz anders aussehen.

Ausgangsbasis der folgenden Betrachtung sind Versuchsergebnisse eines Bodenbearbeitungsversuches an 4 Standorten in Deutschland (siehe Abbildung 2-2) über 3 Ernten von 2003 bis 2005 (Schneider, 2009). Die Fruchtfolge der Versuche bestand aus Winterraps gefolgt von 3 Jahren Winterweizen. Jedes Fruchtfolgeglied wurde in jedem Jahr angebaut. Für die folgenden Betrachtungen werden für jedes Jahr die Weizenerträge aus allen drei Fruchtfolgestellungen gemittelt. Die Bodenbearbeitung war an den unterschiedlichen Standorten nicht einheitlich, um den örtlichen Bedingungen Rechnung zu tragen. Festgelegt war, dass in der konservierenden Variante nie gepflügt wurde. Im konventionellen System wurde z. T. im Rapsweizen auf den Pflug verzichtet; in allen anderen Jahren wurde immer gepflügt.

In Leinetal (70 BP) war die konservierende der konventionellen Bodenbearbeitung leicht und in Gülzow (42 BP) deutlich (+6 dt/ha) überlegen. An diesen beiden Standorten wurde allerdings auch in jedem Jahr 20 cm tief gegrubbert.

In Soest (75 BP) waren die Erträge in der konservierenden Bodenbearbeitung (max. 8 cm) geringfügig niedriger als in der Pflugvariante. Der Ertragsnachteil war im Stoppelweizen deutlicher als im Rapsweizen.

In Freising gab es deutliche Ertragsreduktionen (-13 dt/ha) in der konservierenden Bodenbearbeitung (12 cm). Möglicherweise führte eine verspätete Erwärmung der konservierenden Variante auf diesem Standort mit langer Vegetationsruhe zu den Ertragsnachteilen.

An den einzelnen Standorten folgen die Jahreserträge in erkennbarem Maße den Niederschlagssummen von Oktober bis Juli. Dies ist bei Versuchsauswertungen nicht immer in dieser Deutlichkeit der Fall, da hohe Niederschlagssummen nicht automatisch mit günstigen Niederschlagsverteilungen und entsprechend günstigen Temperaturen einhergehen (siehe Standort Freising in Abbildung 2-3).

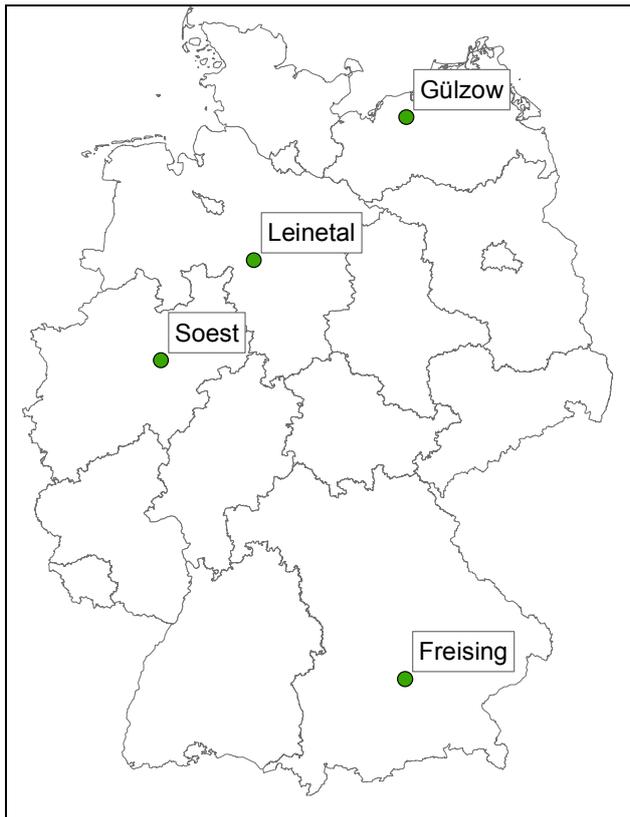


Abbildung 2-2: Versuchsstandorte eines Bodenbearbeitungsversuches in den Erntejahren 2003-2005; Quelle: Eigene Darstellung nach Schneider (2009)

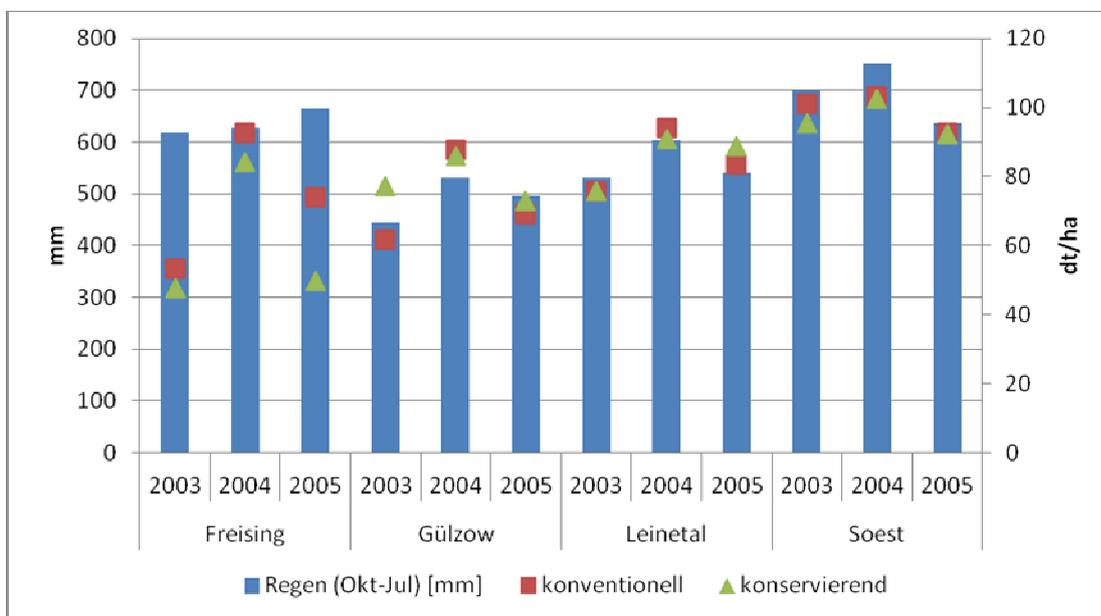


Abbildung 2-3: Niederschlagssummen (Oktober bis Juli) und Winterweizen-Erträge differenziert nach konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung; Quelle: Eigene Darstellung; DWD; Schneider (2009)

Trotz mittlerweile vieler pflanzenbaulicher Versuche gehen die Meinungen über das erforderliche Maß an Bodenbearbeitung immer noch stark auseinander. Die Versuche am Standort Leipzig (Abbildung 2-1) und die von Schneider legen jedoch nahe, dass eine zu geringe Eingriffsintensität (< 12 cm) - insbesondere in ungünstigen Fruchtfolgestellungen (Weizen nach Körnermais oder in Selbstfolge) - mit Ertragsrückgängen verbunden sein kann.

Auf gut strukturiertem Boden und in entsprechenden Fruchtfolgestellungen mögen dagegen 8 bis 10 cm Bearbeitungstiefe ausreichend sein. Auf Sandböden und bei Gefahr der Staunässe sind Krümen tiefe Bearbeitungsgänge (20 bis 30 cm) nötig (Amazone, 2009).

## 2.6 Schlussfolgerungen

Grundvoraussetzung für günstige Arbeitserledigungskosten ist eine hohe Auslastung der Maschinen. Unterhalb der Auslastungsschwelle sind die Bereitstellungskosten (AfA + Zinsen) deutlich höher. Da oberhalb der Auslastungsschwelle die Bereitstellungskosten nur noch unwesentlich sinken, sind extreme Auslastungen nicht zu empfehlen. Denn diese reduzieren die Kosten nur noch unwesentlich; sind aber mit dem Nachteil zunehmend nicht mehr termingerechter Arbeiten verbunden.

Die Unterschiede in den Kosten der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme, ob mit oder ohne Pflug, sind weniger groß als erwartet. Die eingangs aufgeworfene Frage ist also dahingehend zu beantworten, dass auf Grund pflanzenbaulicher Erfordernisse die Bodenbearbeitung zu wählen ist, die Höchsterträge ermöglicht. Sofern es möglich ist, die Bearbeitungsintensität ohne Ertragseffekte zu reduzieren, so ist dies natürlich willkommen. Eine bewusste Inkaufnahme von Mindererträgen scheint dagegen nicht erfolversprechend zu sein.

Sollte für gegebene Situationen der Pflugeinsatz vorteilhaft sein, spricht nichts dagegen, ihn auch einzusetzen. Die einzige Ausnahme bildet der Erosionsschutz. Denn auf erosionsgefährdeten Lagen ist ein konsequenter Pflugverzicht häufig erforderlich.

Andere Arbeitserledigungskosten (Ernte, Pflanzenschutz, Düngung) wurden in der Untersuchung nicht betrachtet. Auch hier gilt natürlich, dass größere Flächen zu sinkenden Arbeitserledigungskosten führen. Aber nicht allein die Einzelfeldgröße ist entscheidend, sondern ebenfalls, wie die Felder zueinander liegen. Denn liegen mehrere - auch kleinere - Flächen dicht nebeneinander, dann sind die Bearbeitungszeiten auf Grund kurzer Umsetzzeiten geringer. Beide Effekte, Größe und Lage der Flächen, sollten bei der Bemessung von Pachtpreisen berücksichtigt werden.

Die verwendeten Zugkräfte und Dieserverbräuche wurden in empirischen Versuchen gemessen. Auf anderen Standorten (Sandböden oder schwere Tonböden) sind andere Werte zu erwarten. In dieser Hinsicht erfolgte keine Differenzierung. Genauso ist es mit den exemplarisch dargestellten pflanzenbaulichen Versuchen. Es handelt sich hierbei um Einzelfälle, die nicht ohne weiteres und nicht 1 zu 1 auf andere Standortgegebenheiten und andere Fruchtfolgen übertragen werden können. Um die im Beitrag gewonnenen Erkenntnisse auf den eigenen Betrieb zu übertragen, wäre es deshalb sinnvoll, testweise unterschiedliche Bodenbearbeitungstechnik im eigenen Betrieb auszuprobieren. Und erst nach einem

intensiven Auswahlprozess unter Berücksichtigung der Kosten und Erträge die Bodenbearbeitungsstrategie anzupassen oder zu verändern.

## 2.7 Literatur

Amazone (2009): Intelligenter Pflanzenbau. Online im Internet:

URL: <http://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=13635>, Abrufdatum: 29.04.2011

BMELV (2009): Ergebnisse der Testbetriebe 2008/09. Online im Internet:

URL: <http://www.bmelv-statistik.de/de/service/archiv-testbetriebsnetz-buchfuehrungsergebnisse/>, Abrufdatum: 29.04.2011

Dutzi, Sven. (2007): Bewertung unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Säverfahren anhand technischer, pflanzenbaulicher, bodenkundlicher und ökonomischer Parameter im Rahmen eines großflächigen Dauerversuchs. Dissertation, Universität Hohenheim

Dutzi, Sven. (2010): persönliches Gespräch am 28.09.2010

DWD (2009): Wetterdaten der Wetterstationen auf Tagesbasis

Eikel, Gottfried (2007): So schwer und doch so leicht. Profi, Heft 6]

KTBL (2010a): Unregelmäßige Schläge. URL: <http://ktbl.de/index.php?id=796>

KTBL, (2010b): MaKost. URL: <http://ktbl.de/index.php?id=800>

Schneider, Marco. (2009): Fruchtfolgegestaltung und konservierende Bodenbearbeitung / Direktsaat - Eine pflanzenbaulich/ökonomische Analyse. Dissertation, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan

# 3 UNKRAUT- UND SCHAD- ERREGER-REGULIERUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER GRUNDBODENBEARBEITUNG

Ingo Scheid, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück/ Bad Kreuznach

Jan Petersen, Fachhochschule Bingen

## 3.1 Einleitung

Ein Charakteristikum der reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren ist, dass Ernterückstände der Vorkultur oder ggf. einer Zwischenfrucht bis über den Saattermin der nachfolgenden Frucht hinaus auf der Bodenoberfläche verbleiben. Da sich einige Schaderreger an den Ernteresten erhalten, können je nach Fruchtfolge höhere Schaderregerdichten in der Folgefrucht auftreten als bei einer wendenden Bodenbearbeitung. Außerdem kann die Mulchauflage Auswirkungen auf die Effizienz von Pflanzenschutzmitteln oder auch auf mechanische Unkrautbekämpfungsverfahren haben. Ferner werden Samen der Vorkultur und auch der abgereiften Unkräuter bei Mulchsaaten in der Regel sich oberflächennah konzentrieren. Dies kann zu höheren Unkrautdichten und zu einem veränderten Unkrautartenspektrum führen. Schließlich kann der Verzicht auf eine tiefreichende Bodenbearbeitungsmaßnahme vorteilhaft für die Ausbreitung ausdauernde Unkrautarten und von Feldmäusen sein, da deren Entwicklung weniger gestört wird als bei entsprechenden intensiven Verfahren.

Die Kenntnis dieser Einflüsse der Bodenbearbeitung auf die Dynamik von Unkräutern und Schaderregern ist essentiell, um über angepasste ackerbauliche und pflanzenschützerische Maßnahmen Ertragsverluste bei reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren zu vermeiden.

## 3.2 Unkrautvorkommen und die Unkrautdynamik

Von einem Verzicht auf eine wendende Grundbodenbearbeitung profitieren im Wesentlichen die Unkrautarten, die kurzlebige Samen verfügen. Hierzu zählen u.a. das Ausfallgetreide und einige Ungrasarten wie Trespen, Ackerfuchsschwanz und Windhalm. Besonders das Auftreten von Ausfallgetreide und Trespenarten sind charakteristisch für Mulchsaaten. Das Ausfallgetreide führt zu Konkurrenzschäden und zu Fremdbesatz vor allem in Raps aber auch anderer Getreidearten. Ferner werden die positiven Fruchtfolgeeffekte beim

Fruchtwechsel reduziert, da Schaderreger der Vorrucht sich am Ausfallgetreide erhalten oder gar vermehren können. Durch (mehrmalige) Stoppelbearbeitung lässt sich der Ausfallgetreidebesatz in der Regel reduzieren. Reichen diese Maßnahmen nicht (z. B. bei trockenen Sommern oder sehr kurzen Teilbrachezeiträumen), muss in manchen Kulturen ein zusätzlicher Herbizideinsatz erfolgen. Im Raps ist dies unproblematisch. Eine Reihe von Herbiziden steht hier zur Verfügung (z.B. Agil, Focus Ultra, Fusilade, ...). Aus Resistenzmanagementgründen sind Wirkstoffe mit den Endungen dim, wie etwa Focus Ultra oder Select 240, zu bevorzugen. Im Getreide hingegen ist aufgrund nicht ausreichender Selektivität oft ein Herbizideinsatz unmöglich (Ausnahme: Ausfallgerste aus Weizen durch Einsatz von Monitor). Die Trespenarten können durch Stoppelbearbeitung kaum bekämpft werden. Ackerbaulich bleibt bei hohem Besatz nur der Pflug. Spätere Saattermine bei Wintergetreide können den Auflauf von Trespen reduzieren. Herbizide zur Trespenbekämpfung stehen zwar zur Verfügung deren Einsatz ist aber nicht in allen Getreidearten möglich.



**Abbildung 3-1: Trespen etablieren sich gerne bei pflugloser Wirtschaftsweise; Bild: SCHEID 2007**

So ist deren Applikation in Gerste und in Hafer ausgeschlossen. Im Weizen (teilweise auch in Roggen und Triticale) ist der Einsatz von Atlantis, Attribut, Broadway und Monitor gegen Trespen möglich. Allerdings kann die Verwendung dieser Herbizide teilweise zu Einschränkungen bei der Fruchtfolge führen. Bei einigen Herbiziden ist der Nachbau bei-

spielsweise von Zuckerrüben oder Raps ausgeschlossen. Ackerfuchsschwanz und Windhalm kommen zwar auch auf gepflügten Flächen vor, aber auch sie profitieren vom Verzicht auf den Pflug. Sehr häufig werden höhere Ungräserbesätze in Mulchsaaten festgestellt. Dies gilt besonders in Fruchtfolgen mit hohem Winterungsanteil. Neben den Konkurrenzwirkungen sind höhere Ungrasbesätze besonders anfällig für die Selektion herbizidresistenter Ungräser, die es für Windhalm und Ackerfuchsschwanz leider vielerorts bereits gibt. Soll auf den Pflug verzichtet werden, müssen spätere Saattermine und Fruchtfolgen mit höherem Sommerungsanteil die Ungrasdichten niedrig halten. Der Herbizideinsatz muss sehr gezielt erfolgen, um hohe Wirkungsgrade zu erreichen und über ein Wirkstoffmanagement (Wechselnder Einsatz von Wirkstoffmechanismen auf einer Fläche über die Jahre) die Bildung von Resistenzen zu verhindern.

Zweikeimblättrige Unkrautarten werden durch die Grundbodenbearbeitung aufgrund der meist langlebigen Samen kaum in Dichte und Artenzusammensetzung beeinflusst. Ausnahmen bilden hier nur wenige Arten. Besonders bei Direktsaaten oder bei Verfahren mit nur flacher Bodenbearbeitung kommen Arten wie Berufskraut, Löwenzahn oder Weidenröschen in die Flächen. Diese Arten haben windbürtige Samen und keimen zumeist nur von der Bodenoberfläche. Diese Arten setzen sich dann auch deshalb durch, weil sie durch Herbizide (insbesondere durch Glyphosat, das häufig zur Vorbereitung der Direktsaat eingesetzt wird) nur schlecht bekämpft werden können.

Ausdauernde Unkrautarten sind von besonderer Relevanz für den Pflanzenbauer. Diese Unkräuter verfügen über eine besondere Konkurrenzkraft und sind häufig schwer zu bekämpfen. Wird das Wurzelwerk dieser Unkräuter durch reduzierte Bodenbearbeitungsintensität nur wenig gestört, so können sich diese Arten schneller ausbreiten als bei jährlichem Pflugeinsatz. Die Quecke als ein sehr häufiges ausdauerndes Ungras kann durch mehrmalige Stoppelbearbeitung mit dem Grubber bei trockenen Bedingungen ganz gut mechanisch bekämpft werden. Reicht dies nicht aus, so kann ein Glyphosateinsatz auf der Stoppel (sobald genügend Blattmasse der Quecke nach der Ernte wieder vorhanden ist) oder aber vor der Getreideernte erfolgen (nicht bei Saat- und Braugetreide).

Die Ackerkratzdistel als zweites häufiges ausdauerndes Unkraut kann durch das Teilbrachemanagement aufgrund des tiefer reichenden Wurzelwerkes kaum beeinflusst werden. Die wirksamste Maßnahme gegen die Ackerkratzdistel sind konkurrenzkräftige Kulturpflanzenbestände. Reicht dies nicht aus, oder gibt es größere Lücken in den Beständen, bzw. spät schließende Bestände, so stehen für fast alle Kulturen entsprechende Herbizide zur Distelbekämpfung zur Verfügung. Aufgrund des späten Auftretens der Disteln im Frühjahr sind dann aber in der Regel andere Einsatztermine und auch andere Herbizide notwendig als zur Regulierung der einjährigen Unkrautarten.

Die Applikation gerade von "bodenwirksamen" Herbiziden in Zuckerrüben oder Mais auf eine Mulchschicht könnte die Wirksamkeit beeinflussen. Dies wird gelegentlich postuliert, dürfte aber nur in wenigen Fällen tatsächliche Relevanz besitzen. Was allerdings durch die Mulchsaat beeinflusst werden kann, ist event. ein veränderter Auflaufzeitpunkt der Unkräuter, der im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung eine Anpassung der Applikationstermine notwendig macht.

Durch eine Mulchauflage werden die Möglichkeiten der mechanischen Unkrautkontrolle eingeschränkt. Zu einen kann es zu Problemen bei der Arbeitsqualität der eingesetzten

Geräte kommen, da das organische Material an der Bodenoberfläche zu Störungen an den Aggregaten führen kann. Zum anderen wird bei einer mechanischen Bearbeitung des Oberbodens, sofern sie technisch möglich ist, die Boden schützende Mulchschicht zerstört, so dass die Erosionsanfälligkeit eher wieder zunimmt. Von daher schließen sich Mulchsaaten und mechanische Unkrautbekämpfungsverfahren während der Vegetationszeit der Kultur weitgehend aus.

### 3.3 Ähren-, Blatt- und Halmbasierkrankungen des Getreides

#### 3.3.1 Winterweizen – Biologie der Krankheiten

In nicht gepflügtem Winterweizen treten je nach Region die Blattdürre (*Septoria tritici*) und der parasitärer Halmbruch verstärkt auf. Echten Mehltau und Braunrost findet man unabhängig von der Bodenbearbeitung. Bei pfluglos bestelltem Stoppelweizen besteht die Gefahr von Infektionen mit DTR.

**Septoria tritici** (Abbildung 3-2) infiziert, von befallenen Strohresten ausgehend, schon im Herbst die jungen Getreidepflanzen. Die weitere epidemische Ausbreitung hängt von den Feuchtebedingungen, wie Regen und Taubildung, ab. Mit erstem Befall ist bei Tagesminimumtemperaturen ab 4° C zu rechnen. Bei 8 - 10° läuft die Epidemie viel schneller ab. Ihr Optimum liegt bei 20 - 25° C. Bei diesen Temperaturen benötigt der Pilz zur Sporeneimung 20 Stunden Blattnässe, bei 12° über 50 Stunden. Günstige Temperaturen, eine Blattnässedauer von 35 Stunden gefolgt von weiteren 48 Stunden mit einer Luftfeuchte von über 80 % ist die optimale Grundlage für erfolgreiche Infektionen. Je nach Temperatur benötigt der Pilz von der Infektion bis zur ersten Symptomausprägung 14 - 30 Tage.



Abbildung 3-2: *Septoria tritici* Infektion bei Winterweizen; Bild: SCHEID 2008

Die **Halmbruchkrankheit** wird durch den Pilz *Pseudocercospora herpotrichoides* hervorgerufen. An den Blattscheiden junger Pflanzen sind unter Umständen bereits im Spätherbst kleine ovale bis längliche, hellbraune Flecke zu finden, die später breiter werden

und gelegentlich die Form eines Augen- oder Medallionflecks annehmen. Der Pilz überdauert mindestens 2 Jahre lang im Boden als Dauermycel an infizierten Getreidestoppeln, die langsamer als unbefallenen zersetzt werden. Die Erstinfektion im Herbst geht von Sporen aus, die an verseuchten Pflanzen im Boden, an Ausfallgetreide und Wildgräsern über Wochen und Monate gebildet werden. Die Ausbreitung im Bestand erfolgt hauptsächlich durch Regenspritzer in einem Umkreis von 1-2 m. Ältere Blattscheiden (Abbildung 3-3) bilden die Eintrittspforten für die keimenden Sporen. Von dort durchdringt der Pilz unter günstigen Bedingungen die nächst folgenden Blattscheiden.



**Abbildung 3-3: Verbräunung der Blattscheide durch Infektion mit *Pseudocercospora herpotrichoides*; Bild: Scheid 2008**

Eine typische Krankheit von Stoppelweizen ist DTR bzw. HTR. Die Erstinfektion erfolgt ausgehend von Strohresten auf der Bodenoberfläche im April und Mai. Es entstehen runderlich, gleichmäßig hellbraun gefärbte Flecke auf den unteren Blättern. Charakteristisch sind die später entstehenden dunkelbraunen Infektionspunkte, sie sind umgeben von einem gelben Hof. Zum Ausstoßen der Sporen ist Feuchtigkeit erforderlich, nächtlicher Tau reicht aus.

Die Gefahr des Auftretens von Fusariosen ist beim pfluglosen Anbau von Winterweizen nach Mais sehr hoch. Fusariuminfektionen können an der Halmbasis auf den Blättern und in der Ähre auftreten. Bei einem Befall an der Halmbasis treten zunächst strichelförmige Verbräunungen auf. Diese gehen später in halmumfassende Verfärbungen über. Sie sind scharf vom gesunden Gewebe abgegrenzt. Im Halminnern entwickelt sich ein weißes Pilzmyzel. An den Blättern können bei Befall einzelne große ovale Flecken festgestellt werden. Diese sind zunächst wassergetränkt-graugrün, anschließend bilden sich rosa Sporenlager,

schließlich verfärben sie sich braun. Am gefährlichsten ist der Befall der Ähren. Die Infektion erfolgt unter feucht warmen Bedingungen in die offene Blüte. Erreicht der Schadpilz früh die Ährenachse stirbt eine Kornanlage oder die ganze Spindel ab. Die hieraus resultierende Taubährigkeit kann zu Ertragsausfällen führen. Weit aus problematischer als diese Ertragsausfälle sind die von den Fusarienpilzen produzierte Pilzgifte (Mykotoxine). Diese für Mensch und Tier gefährlichen Toxine können dazu führen, dass ganze Getreidepartien nicht mehr als Futter- oder Nahrungsmittel verwendet werden können. Bei einem Anbau von Weizen nach Mais in pfluglosen Systemen sollten unanfällige Sorten gesät werden. Als vorteilhaft hat sich das Zerkleinern der Maistoppel erwiesen. Sind die Stoppeln mit Boden bedeckt reduziert sich das Infektionspotential.

### 3.3.2 Fungizidstrategien

Ziel einer Fungizidstrategie muss es sein, die obersten drei Blattetagen befallsfrei zu halten und die Ausbreitung von Halmbasiserkrankungen zu verhindern. In pfluglos geführten Beständen, gerade bei früher Aussaat und Getreidevorfrucht, muss aufgrund des hohen Ausgangsinfektionsmaterials mit früheren Infektionen, gerade bei *Pseudocercospora* und *Septoria tritici* gerechnet werden. Eine gerade in den wärmeren Lagen später auftretende Rostepedemie sollte ebenfalls in die Bekämpfungsstrategie mit einbezogen werden. Die Sortenwahl spielt hier eine nicht unwesentliche Rolle. Die Fungizidstrategieversuche der staatlichen Beratung in Rheinland-Pfalz haben in den vergangenen Jahren gezeigt, dass eine Einmalbehandlung im Stadium 39 - 49 des Weizens am wirtschaftlichsten ist. Bei frühen Infektionen, kann jedoch eine gezielte, auf den Infektionszeitpunkt ausgerichtete, Doppelbehandlung mit angepassten Aufwandmengen Sinn machen. Ab dem Einknotenstadium sollten die Bestände daher genau beobachtet werden. Stellt man Verbräunungen an der Halmbasis fest, ist Ausgangsbefall mit *Septoria tritici* vorhanden und ist die Wetterlage weiterhin unbeständig, sollte eine Fungizidmaßnahmen evtl. in Kombination mit einem Wachstumsregler durchgeführt werden.

Bei späteren Saatterminen und Blattfrüchten, wie Zuckerrüben oder Raps, als Vorfrucht ist die Situation etwas entspannter zu beurteilen. Zwischen gepflügten und pfluglos bestellten Flächen sind keine gravierenden Unterschiede bei dem Infektionsgeschehen festzustellen. Allerdings kann auch hier bei unbeständiger Witterung ein etwas früherer Fungizideinsatz notwendig werden.

**DTR** ist eine Krankheit, die wie bereits erwähnt vorrangig im Stoppelweizen auftritt. Auch bei der Bekämpfung dieser Krankheit ist es notwendig die Infektion rechtzeitig zu stoppen, daher ist es wichtig die Bestände in diesem Jahr schon früh zu beobachten, werden erste Symptome an den Ertrags bildenden Blattetagen festgestellt sind wirksame Fungizide einzusetzen.

**Fusariosen** müssen sehr nahe am Infektionszeitpunkt bekämpft werden. Die macht eine separate Applikation in der Blüte erforderlich. Problematisch ist zudem die Zielfläche. Idealerweise müssen die Wirkstoffe in die Blüte gelangen. Tendenziell zeigen bestimmte Zusatzstoffe oder die Verwendung von Doppelflachstrahldüsen bessere Wirkungsgrade.

Die möglichen Einsatztermine für eine Fungizidbehandlung sind abhängig von der zu bekämpfenden Krankheit: Im 2-Knotenstadium (BBCH 32) gegen Infektionen der Halbbasis,

zum Grannenspitzen (BBCH 49) gegen Blattkrankheiten und während der Blüte (BBCH 61 bis 69) gegen Fusariosen. Wird eine Doppelbehandlung, etwa bei der Bekämpfung von Halmbruch und später auftretenden Braunrost präferiert, kann die Aufwandmenge in den einzelnen Behandlungen reduziert oder auf günstigeren Präparate zurückgegriffen werden. Als Mittel für den frühen Bereich haben sich die Präparate Champion, Aviator Xpro und Radius bewährt. Beide Präparate wirken gegen parasitären Halmbruch und Septoria tritici. Tritt zu diesem Termin kein Halmbruch auf, können Infektionen von Blattkrankheiten durch den Einsatz von chlortalonilhaltigen Präparaten oder dem neu zugelassenen Dithane Neo-Tec verzögert werden. Diese Präparate töten vorhandene Sporen im Bestand ab. Im Blattbereich haben sich Azol- Strobilurinkombinationen aufgrund der lang anhaltenden Wirkung gegen Rost bewährt. Präparate sind hier z. B. Champion + Diamant, Amistar Opti + Gladio oder oder Fandago-Input Perfekt, welches neben den vorgenannten Wirkstoffgruppen wie auch Aviator Xpro den Wirkstoff Bixafen aus der Gruppe der SDHI's enthält. Die Einsätze im Stadium 39 (Ausbildung des Fahnenblatts) - 49 (Öffnung der Blattscheide) haben sich bewährt. Eine Maßnahme erst zum Ährenschieben oder gar bei vollständigem Erscheinen der Ähre ist in vielen Fällen zur Kontrolle von Blattkrankheiten nicht optimal. Oft sind dann die Infektionen schon so weit fortgeschritten, dass eine kurative Wirkung nicht mehr möglich ist. Die Fahnenblätter stellen sich zu diesem Zeitpunkt bei vielen Sorten waagrecht, so dass eine Applikation auf die unteren Blattetagen nicht mehr gelingt, ein Teil der ertragsbildenden Blätter somit ungeschützt bleibt. Speziell für die Bekämpfung von Fusariosen in der Ähre können Mittel wie Prosaro, Osiris oder Don-Q herangezogen werden.

### **3.3.3 Triticale und Roggen**

In pfluglos bestellten Triticale und Roggenbeständen findet man bei Getreidevorfrucht und frühen Saatterminen vermehrt parasitären Halmbruch. In Roggen ist dann zum späteren Zeitpunkt mit Braunrost zu rechnen, daher muss zu dem frühen Termin keine weitere Krankheit bei der Mittelwahl berücksichtigt werden. In Triticale muss in Abhängigkeit von der Sorte ein früher Mehltaubefall mit einkalkuliert werden. Problem ist, dass zulassungsbedingt nur wenige Mittel zur Verfügung stehen.

### **3.3.4 Gerste**

Problematisch im pfluglosen Anbau sind Gersten, die nach Vorfrucht Gerste stehen. So findet man in manchen Betrieben Sommergerste nach Wintergerste oder Sommergerste im mehrjährigen Anbau hintereinander. Hauptkrankheiten sind Netzflecken und Rhynchosporium Blatfflecken (Abbildung 3-4). Beide Erreger besiedeln von befallenen Ernteresten und Ausfallgersten die jungen Pflanzen. Somit ist, wie bei den Weizenkrankheiten im pfluglosen Anbau, bei suboptimalen Fruchtfolgen mit früheren Infektionen zu rechnen. Wichtig ist, dass auch hier der Befall frühzeitig gestoppt wird. Bei Symptomausprägung auf den oberen Blättern kommt die Behandlung zu spät. Als optimaler Behandlungstermin gilt das Stadium 37 - 39. Hier ist gewährleistet, dass die ausgebrachten Wirkstoffe die unteren Blattetagen erreichen. Eine Kombination aus Strobilurinen evtl. in Kombination mit SDHI's und Azolen garantieren zu diesem Zeitpunkt eine ausreichende Wirkungsdauer.



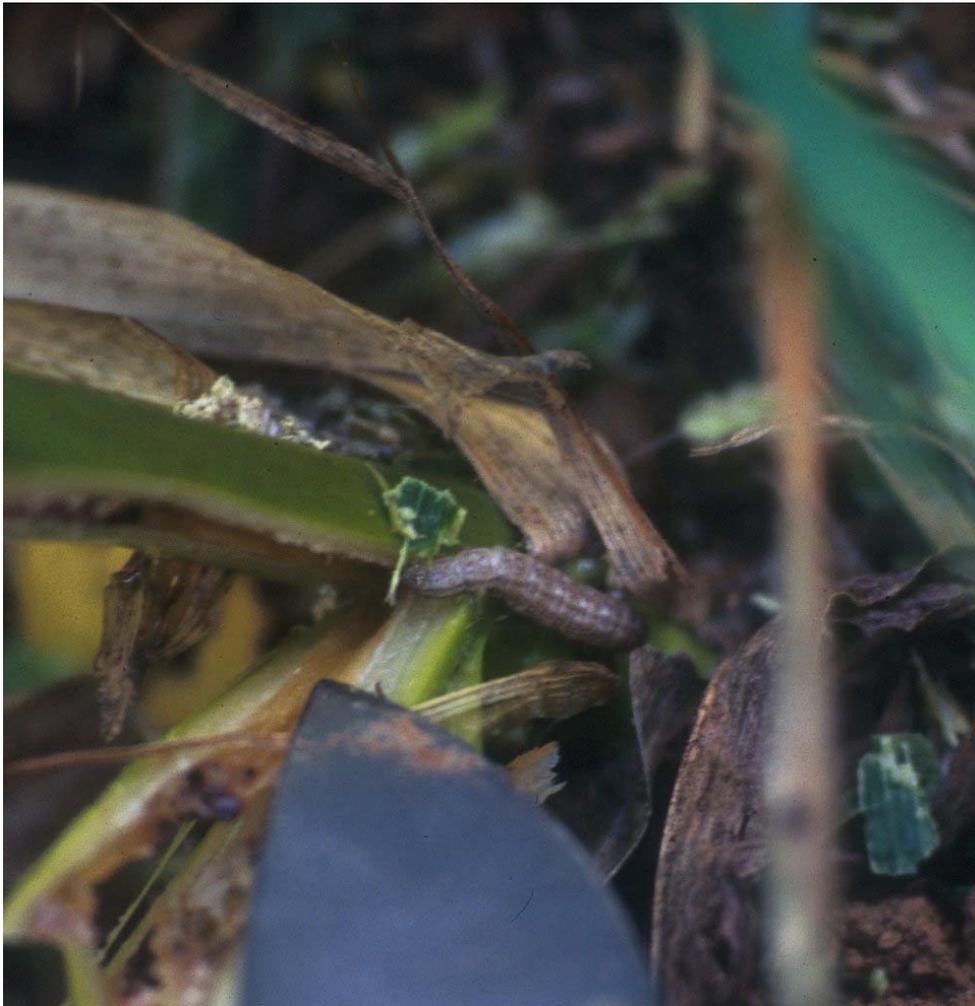
**Abbildung 3-4: Blattkrankheiten in Gerste; Bild: Scheid 2008**

### **3.4 Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Schadtieraufkommen**

Viele Schadtiere sind entweder recht mobil und meist nur zeitweise auf den Ackerflächen zu finden oder sie sind sehr ortstreu und wandern aber vertikal durch das Bodenprofil. In beiden Fällen ist der Einfluss der Bodenbearbeitungsverfahren auf die Schaderregerdynamik eher gering. Dies gilt beispielsweise für die Rapsschadkäferarten, Blattläuse oder auch Nematoden und Drahtwürmer.

Bei einigen Schadtieren kann aber durchaus ein Einfluss der Bodenbearbeitung beobachtet werden. Der Maiszünsler ist so ein Beispiel. Die Larve des Zünslers entwickelt sich im Sommer im Maisstängel oder im Kolben. Im Spätsommer wandert die Larve am Stängel zur Maisstoppel und bohrt sich dort ein. Die Larve überdauert dann in der Maisstoppel den Winter und verpuppt sich schließlich. Liegen die Stoppeln auf bzw. an der Bodenoberfläche, kann dann im späten Frühjahr der Zünsler schlüpfen und seine Eier am Mais ablegen, so dass der Befallszyklus erneut beginnt.

Die Maisstoppeln sollten bei Verzicht auf den Pflug unbedingt durch einen Mulcher zerkleinert werden. Danach sollte ein Bodenbearbeitungsgang die Maisstoppeln zumindest teilweise in den Boden bringen. So kann die Überlebensrate der Larven und die Schlupfrate im Frühjahr deutlich reduziert werden. Reichen diese Maßnahmen nicht, können direkte Bekämpfungsverfahren im Mais eingesetzt werden. Hier ist dann aber der Applikationszeitpunkt (Falterflug - Warndienst beachten) und die Technik zu beachten, um hohe Wirkungsgrade zu erzielen. Neben den biologischen Verfahren mit der Schlupfwespe *Trichogramma evanescens* sind auch einige Insektizide zur Maiszünslerbekämpfung zugelassen (z.B. Steward, ...). Eventuell müssen Stelzenschlepper für die Insektizidapplikation eingesetzt werden.



**Abbildung 3-5: Die Larve des Maiszünslers kann erhebliche Schäden verursachen; Bild: Scheid 2006**

Die Feldmaus macht in günstigen Jahren Massenvermehrungen (Gradationen), die zu beträchtlichen Schäden an den Ackerbaukulturen führen können. Für die Feldmausentwicklung sind kalte und schneereiche Winter mit einer langsamen Schneeschmelze sowie trockene Frühjahrs- und Herbstwitterungen sehr günstig. Neben dem Feldrandbereich legen die Feldmäuse ihre Bauten in der Ackerfläche meist in der Tiefe von 20 bis 30 cm an. Bei flachen Bodenbearbeitungsgängen werden die tiefer angelegten Bauten daher nicht tangiert. Deshalb können gerade in Mulchsaaten mit generellem Verzicht tiefer reichenden Bearbeitungsvarianten die Entwicklungszyklen der Feldmäuse nicht ausreichend gestört werden. Um Schäden vorzubeugen, muss der Feldmausbesatz kontrolliert werden und ggf. Rodentizide (zinkphosphid-haltige Präparate) mit der Legeflinte in die bewohnten Bauten eingebracht werden. Sind höhere Besätze in einer Fläche, so sollte die Grundbodenbearbeitung zur nächsten Frucht eine entsprechende Arbeitstiefe (>25 cm) aufweisen.

Nacktschnecken treten in zwei Gattungen als Schädlinge in Ackerbaukulturen auf. Die Wegschnecken wandern nachts in die Flächen vom Rand her ein und führen zu Fraßschä-

den bis etwa 15 m von den Randstrukturen entfernt. Diese Schäden sind recht unabhängig von der Bodenbearbeitung. Etwas anders kann dies bei den Ackernacktschnecken sein. Diese Tiere leben ständig im Acker und benötigen daher Rückzugsmöglichkeiten, die sie vor Wind und Sonne und damit vor der Austrocknung schützen. Diese Rückzugsmöglichkeiten werden von der Bodenbearbeitung beeinflusst. Unabhängig vom Grundbodenbearbeitungssystem reduzieren weitere Bodenbearbeitungsgänge wie etwa das Walzen die Überlebenschancen der Schnecken. Zwar kommen Ackernacktschnecken auch auf gepflügten (besonders bei grobklutigen Böden) Flächen vor, jedoch können bei Mulchsaatflächen zusätzliche Rückzugsräume hinzukommen, die die Überlebenswahrscheinlichkeit der Schnecken im Acker erhöhen. Bei Direktsaaten können dies Regenwurmröhren sein, die bis an die Bodenoberfläche reichen und durch die fehlende Bodenbearbeitung oberflächlich nicht zerstört werden. Bei Mulchsaaten mit Bodenbearbeitung können die Ernterückstände an der Oberfläche teilweise gute Rückzugsräume für die Ackerschnecken bieten. Bei kritischen Phasen (junger Kulturbestand, besonders Raps und Weizen sowie haltend feuchter Witterung) muss daher unbedingt der Nacktschneckenbesatz z.B. mit Schneckenkissen auf der Ackerfläche abgeschätzt werden, um gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einzuleiten. Werden höhere Besätze oder Schäden an der Kultur festgestellt, so empfiehlt sich das Ausbringen von Schneckenkorn. Um die Regenwürmer zu schonen, sollten hauptsächlich metaldehyd-haltige Präparate ausgebracht werden.

### 3.5 Fazit

Grundsätzlich treten im pfluglosen Anbau nicht mehr Krankheiten, Unkräuter und Schädlinge auf wie bei pflugwendender Wirtschaftsweise. Zum Teil sind die Probleme des Pflanzenschutzes anders gelagert und spezifischer. Ackerbauliche Managementbausteine wie Fruchtfolge, Saattermin und Strohmanagement spielen eine wesentlich größere Rolle. An das Wissen um Biologie und der damit eng verbundenen Bekämpfungsstrategien der spezifischen Schadorganismen werden hohe Anforderungen an die Betriebsleiter gestellt, denn ein frühzeitiges Erkennen und Regulieren der Schadursachen ist Voraussetzung einer erfolgreichen und wirtschaftlichen Bekämpfung. Der Kontrollaufwand für die einzelnen Flächen steigt. Pfluglose Wirtschaftsweise muss als ein System gesehen werden. So ist auch der Pflanzenschutz immer im systemaren Zusammenhang zu betrachten. Die Bekämpfung der Schaderreger erfolgt nicht erst beim Auftreten sondern schon bei der Planung des gesamten Anbaus. Viele erfolgreich pfluglos wirtschaftende Betriebe in Rheinland-Pfalz beweisen in jedem Jahr, dass die Vorteile des pfluglosen Anbaus auf der betriebswirtschaftlichen und der ökologischen Seite ohne Ertragseinbußen und ohne wesentlich höhere Einsätze von Pflanzenschutzmitteln in Anspruch genommen werden können.

### 3.6 Literatur

DLR RNH (2010): Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland, Empfehlungen 2011, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (Hrsg.)

Obst, Alfred und Paul, Volker H. (1993): Krankheiten und Schädlinge des Getreides. Gelsenkirchen-Buer. Verlag Thomas Mann. - ISBN 3-7862-0096-3

# 4 BODENBEARBEITUNGS- VERSUCHE DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND-PFALZ

Volker Berg, Ottmar Laufer, Manfred Schnorbach, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

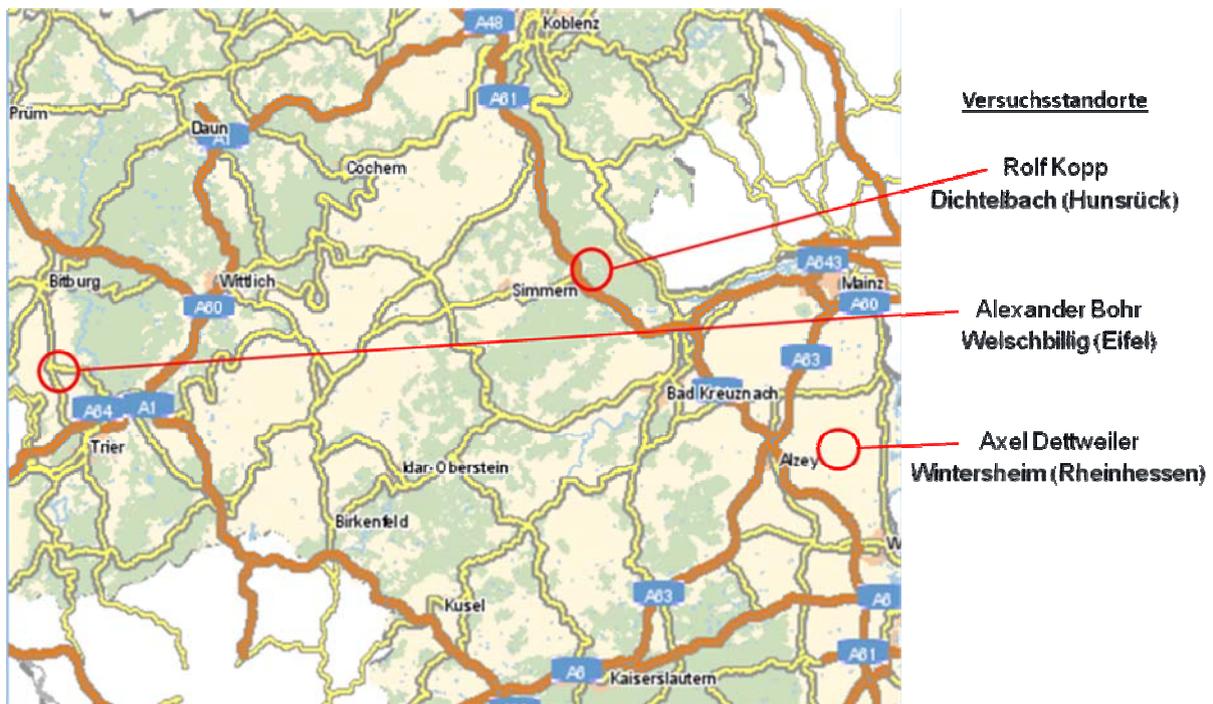
## 4.1 Einleitung

Die konservierende Bodenbearbeitung hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und ist mittlerweile vielfach fester Bestandteil in der pflanzlichen Produktion. Die Frage nach der Notwendigkeit des Pflugeinsatzes in der Grundbodenbearbeitung und der Standorteignung von Mulchsaaten wird aber immer noch differenziert betrachtet und auch kontrovers diskutiert. Aber gerade auf den schweren Lehmböden der Mittelgebirgslagen will man oftmals nicht auf den Pflug als Hauptbodenbearbeitungsgerät verzichten. Um die Ertragsicherheit der Kulturen zu gewährleisten, tendiert man hier eher zu einer etwas höheren Intensität in der Bodenbearbeitung und die pfluglose Bodenbearbeitung erfolgt in der Fruchtfolge oftmals nur temporär zu Weizen nach Raps. Aber auch in den Regionen, in denen sich die konservierende Bodenbearbeitung schon etabliert hat, wird bei bestimmten Feldfrüchten z. B. Zuckerrüben immer wieder auf die tiefgründige, wendende Bearbeitung zurückgegriffen. Ließ der kurzzeitige Anstieg der Erzeugerpreise im Jahr 2007/08 die Praktiker wieder über höhere Intensitäten im Pflanzenbau und somit die Rentabilität des Pflugeinsatzes debattieren, zwingen nun erneut veränderte Marktverhältnisse verstärkt zu Rationalisierungsmaßnahmen und stellen die Betriebe vor die Aufgabe, die Kostenstruktur der Produktionsverfahren zu überdenken. Die Einsparmöglichkeiten im Bereich Düngung und Pflanzenschutz sind bei meist optimierter Verfahrenstechnik weitgehend ausgereizt. Die Arbeitserledigungskosten bieten dagegen noch erhebliche Einsparpotentiale. So spielen bei den Landwirten bei ihrer Entscheidung für einen Wechsel zur konservierenden Bodenbewirtschaftung in erster Linie dann auch ökonomische und arbeitswirtschaftliche Aspekte eine ausschlaggebende Rolle. Sie bietet die Möglichkeit die Arbeits- und Maschinenkosten durch Einsparung von Arbeitsgängen und die Reduzierung der Arbeitstiefe zu senken.

Neben der Ökonomie haben auch ökologische Aspekte wie etwa die Anforderungen an den Erosionsschutz (Erosionskataster) beim Pflugverzicht eine größere Bedeutung. Durch den Einsatz nichtwendender Bodenbearbeitungsgeräte verbleiben mehr Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche, mit der Folge durch die Bedeckung mit Mulchmaterial, den Boden gegen Verschlammung und Erosion zu schützen und die Bodenstruktur zu stabilisieren.

Es stellt sich daher die Frage nach dem notwendigen Ausmaß der Bodenbearbeitung, die einerseits den ökologischen Ansprüchen der Gesellschaft und andererseits auch den wirtschaftlichen Interessen der landwirtschaftlichen Betriebe gerecht wird.

In welchem Umfang die Eingriffsintensität eventuell bis zum völligen Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung auch ohne nachteilige Folgen für Ertrag und Qualität reduziert werden kann, sollen seit 1999 laufende Versuche zeigen. Um ein möglichst breites Spektrum typischer Ackerbauregionen in Rheinland-Pfalz mit unterschiedlichen geologischen, bodenkundlichen und klimatischen Ausgangsbedingungen zu berücksichtigen, wurden für die Anlage von Dauerbeobachtungsflächen drei Standorte von der Eifel im Nordwesten (Welschbillig) über den Hunsrück im zentralen Bereich (Dichtelbach) bis nach Rheinhessen im Südosten (Wintersheim) ausgewählt (Abbildung 4-1).



**Abbildung 4-1: Versuchsstandorte zur differenzierten Bodenbearbeitung der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz**

## 4.2 Versuche

### 4.2.1 Standorte

Der Versuch in Rheinhessen liegt auf einem tiefgründigen tonigen Lößlehm mit durchschnittlich 75 Bodenpunkten. Die Jahresniederschlagsmenge beträgt 510 mm bei einem Temperaturmittel von 9,3 °C. Der Boden ist mit den Grundnährstoffen in den Gehaltsklassen D bis E hoch versorgt. Mit 7,5 tendiert der pH-Wert in den alkalischen Bereich.

Die Versuchsfläche in der Eifel befindet sich auf einem quellfähigen tonigen Lehm mit 47 Bodenpunkten bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,0 °C und einer Gesamtnie-

erschlagsmenge von 700 mm. Die Grundnährstoffversorgung liegt in den Gehaltsklassen C bis D, der pH-Wert durch den Muschelkalkverwitterungsboden bei 7,2.

Am Standort Hunsrück sorgen der staunasse sandige Lehm mit 40 Bodenpunkten bei 690 mm Niederschlag und der Tendenz zur Vergleyung sowie der doch niedrige Temperaturdurchschnitt von 7,3 °C für eine ungleich schwierigere Ausgangssituation. Phosphor erreicht hier die Versorgungsstufen C bis D, Kalium ist sehr hoch in E eingeordnet. Mit durchschnittlich pH 6,0 liegt der Boden im neutralen bis schwach sauren Bereich.

Die wichtigsten naturräumlichen Standortbedingungen sind aus Tabelle 4-1 und ersichtlich:

**Tabelle 4-1: Standorteigenschaften der Versuchsflächen**

Naturraum	Standort	Geologie	Boden	Niederschlag im langjährigen Mittel pro Jahr l/m <sup>2</sup>	Temperatur der Luft im langjährigen Jahresmittel °C
Rhein-hessen	Wintersheim	Löss über Kalk- und Mergelsteinverwitterung	Pararendzinen und degradierte Schwarzerden	510	9,3
Eifel	Welschbillig	Lösslehm über Kalksteinverwitterung	Stauanässe beeinflusste Braunerden	700	8,0
Hunsrück	Dichtelbach	Schiefer- und Quarzitverwitterung	Pseudogleye	690	7,3

**Tabelle 4-2: Bodenkennwerte (0 bis 30 cm) der Versuchsflächen**

Standort	Sand %	Schluff %	Ton %	Carbonat <sup>1)</sup> %	organischer Kohlenstoff %
Rheinhausen/ Wintersheim	5,9	69,2	24,9	6,8 (0,6 - 19,4)	1,5 (1,0 - 1,8)
Eifel/ Welschbillig	8,8	59,6	31,6	9,3 (0,6 - 32,5)	1,8 (0,8 - 2,7)
Hunsrück/ Dichtelbach	23,7	47,2	29,1	< 0,2	1,5 (0,5 - 2,1)

1) Angabe in g CaCO<sub>3</sub>-Äquivalente je 100 g Boden

2) In Klammern minimaler und maximaler auf der Versuchsfläche gemessener Wert

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Bodenverhältnisse der drei Versuchsstandorte.



Abbildung 4-2: Versuchsstandort Welschbillig/Eifel im Überblick



Abbildung 4-3: Schürfgarbe in der Pflugparzelle (Pseudogley-Braunerde) auf dem Standort Welschbillig in der Eifel



**Abbildung 4-4: Versuchsstandort Dichtelbach/Hunsrück im Überblick**



**Abbildung 4-5: Schürfgrube in der Direktsaatparzelle (Pseudogley) auf dem Standort Dichtelbach im Hunsrück**



**Abbildung 4-6: Versuchsstandort Wintersheim/Rheinhausen im Überblick**



**Abbildung 4-7: Profilwände zweier Schürfguben auf dem Standort in Wintersheim, links Pararendzina rechts degradierte Schwarzerde (die weißen Markierungen kennzeichnen jeweils 10 cm-Schichten bis in 60 cm Tiefe)**

#### 4.2.2 Fruchtfolge

Die Fruchtfolgen orientieren sich an den betrieblichen und regionalen Gegebenheiten und bestehen auf allen Versuchsstandorten aus vier Fruchtfolgegliedern:

- in Rheinhessen: Winterweizen - Sommergerste - Zuckerrüben - Sommergerste
- in Hunsrück und Eifel: Winterraps - Winterweizen - Sommergerste - Wintersgerste

#### 4.2.3 Bestandesführung

Die Bestandesführung ist in wesentlichen Punkten betriebsüblich und nicht nach Verfahren differenziert, um die quantitativen und qualitativen Auswirkungen der Bodenbearbeitungssysteme auf die Ernteprodukte zu erfassen.

#### 4.2.4 Versuchsdurchführung

Im Vergleich der großflächigen Feldversuche stehen vier Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung zur konventionellen Pflugfurche. Die fünf Varianten mit spiegelbildlicher Wiederholung sind durch Unterschiede in Bearbeitungshäufigkeit und -tiefe sowie der Bestellsysteme gekennzeichnet (Tabelle 4-3). Abbildung 4-8 zeigt den Versuchsplan exemplarisch für den rheinhessischen Standort.

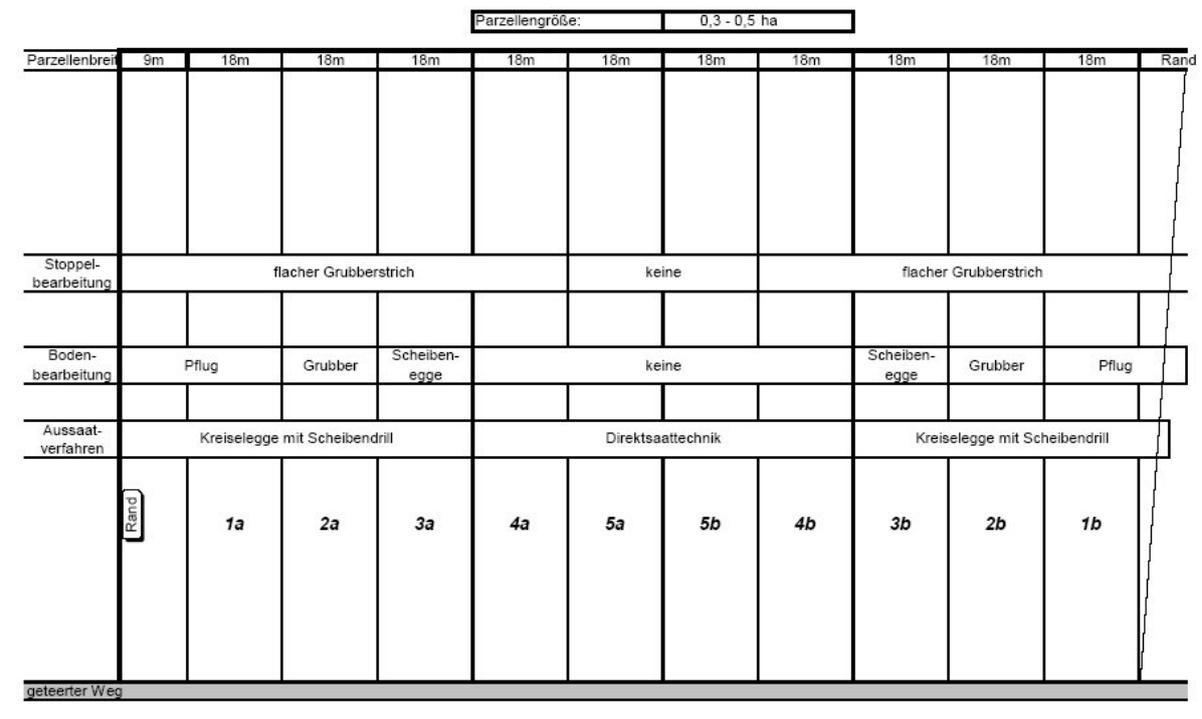


Abbildung 4-8: Plan für den Versuch in Wintersheim (Rheinhessen)

**Tabelle 4-3: Bodenbearbeitungsvarianten**

Varianten-Nr.	Bezeichnung	Eingriffstiefe (cm)
1	Pflug	25 bis 30
2	Grubber	15 bis 17
3	Scheibenegge	15 bis 17
4	Mulchsaat	5 bis 8
5	Direktsaat	Säschlitze

Nach der Ernte erfolgt in den Varianten 1 bis 4 ein flacher Arbeitsgang zur Stoppelbearbeitung mit einer Arbeitstiefe von 5 - 8 cm zur Unterbrechung der Kapillarität, Förderung der Strohrotte und Schaffung günstiger Keimbedingungen für Unkrautsamen und Ausfallgetreide. Zur Grundbodenbearbeitung werden in Variante 1 der Pflug mit einer Standort abhängigen Arbeitstiefe von 25 - 30 cm und in den Varianten 2 und 3 der Grubber bzw. die Scheibenegge von 15 - 17 cm eingesetzt. In Variante 4 erfolgt außer der Stoppelbearbeitung kein weiterer Arbeitsgang. Die Variante 5 ist eine reine Direktsaatvariante, in der seit Versuchsbeginn nicht mehr in die Bodenstruktur eingegriffen wurde. Das Stroh verbleibt in allen Varianten nach dem Mähdrusch als Strohdüngung auf der Fläche. Durch die nichtwendende Bearbeitung des Bodens kommt es zu einer Anreicherung von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche mit unterschiedlichem Bedeckungsgrad.



Pflug



Mulchsaat



Direktsaat

**Abbildung 4-9: Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche bei pflugloser Bodenbearbeitung**

Die Feldbestellung wird in den Varianten 1 - 3 mit der am Standort vorhandenen hofeigenen Kreiselegge plus Drillmaschine, in Varianten 4 und 5 mit überbetrieblicher Direktsaattechnik ohne Saatbettbereitung durchgeführt (Abbildung 4-10). Als Vergleichsvariante gilt auf allen Standorten der Pflug.



konventionelle Sätechnik



Direktsaattechnik

Abbildung 4-10: Sätechnik für die Varianten 1 bis 3 (links) und die Varianten 4 und 5 (rechts)

### 4.3 Versuchsergebnisse Rheinhessen

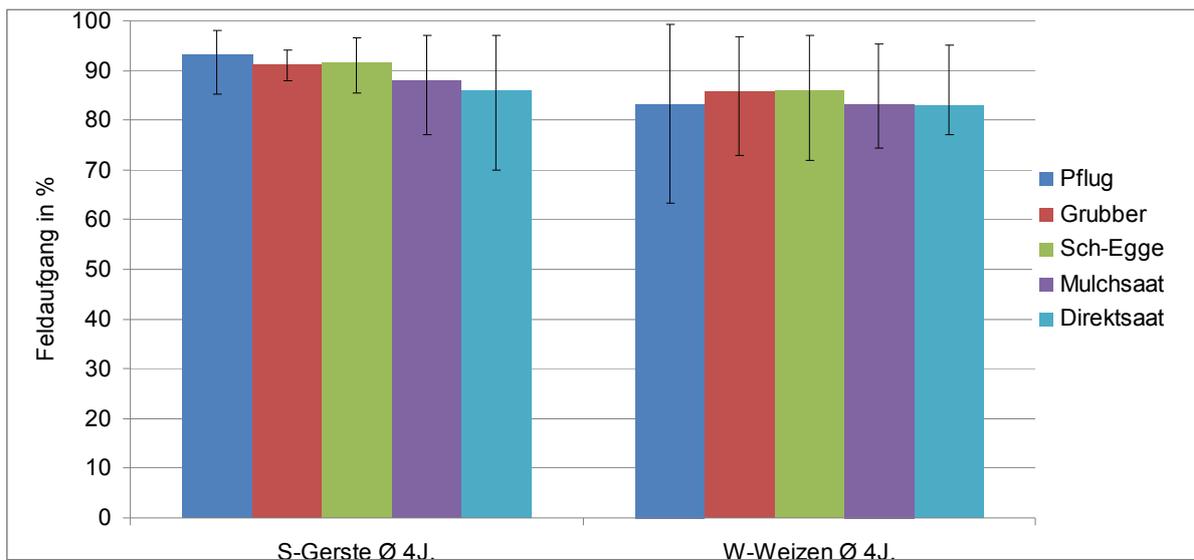
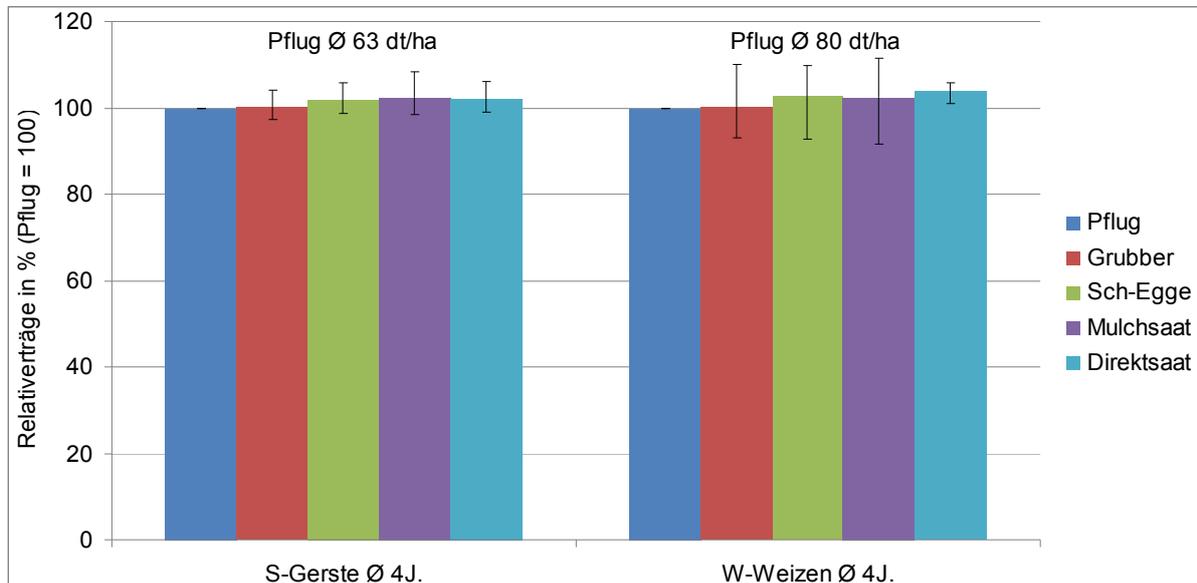


Abbildung 4-11: Feldaufgang des Getreides auf dem Standort in Rheinhessen im Mittel der Jahre 1999 bis 2011, Fehlerbalken kennzeichnen Minimum und Maximum

Der Versuch in Rheinhessen erreichte gleichbleibend hohe Feldaufgangsraten bei Halmfrüchten (Abbildung 4-11). Die Feldaufgänge der Mulchsaatenvarianten lagen nur unwesentlich niedriger bzw. teils leicht höher als nach Pflugsaat. Bei Sommergerste betrug der Rückgang von Pflug zur Direktsaat lediglich 8 Prozentpunkte. Der Winterweizen schwankte mit einer noch geringeren Spanne zwischen 86 und 83 Prozent im Durchschnitt der Jahre. In ihrer Ertragsfähigkeit lagen die einzelnen Verfahren demgemäß dicht zusammen (Abbildung 4-12). Die konservierend bearbeiteten Varianten reichten in der Ertragsleistung an die

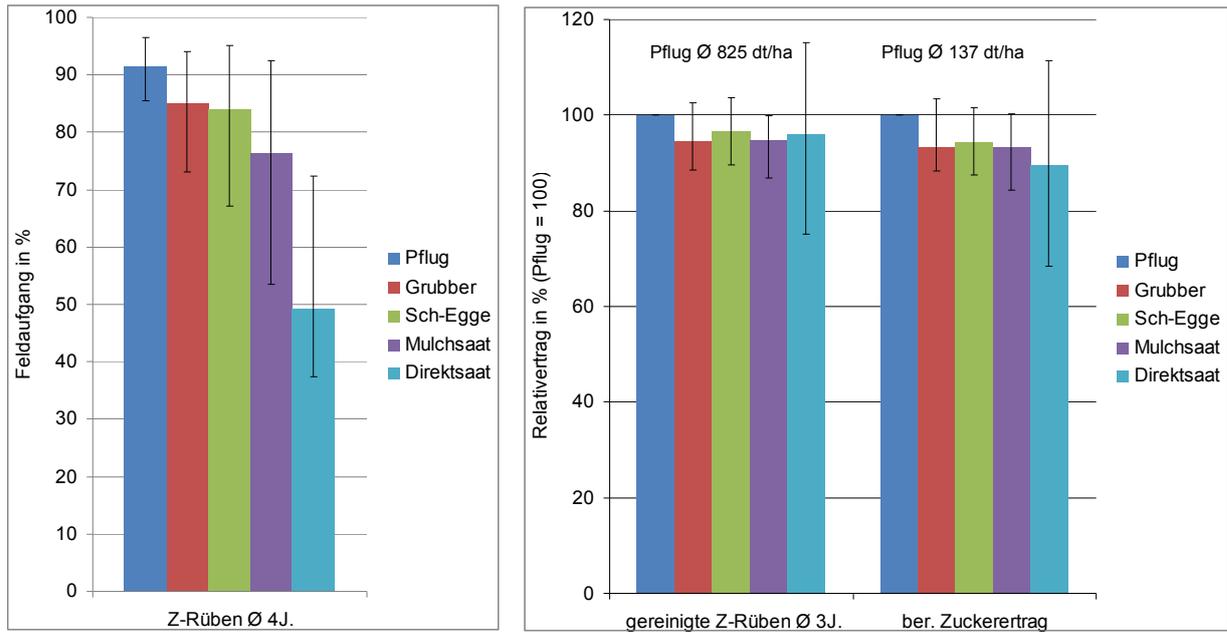
Pflugsaat heran und konnten diese sogar leicht übertreffen. Im vierjährigen Mittel wurden im Winterweizen vom Pflug zur Direktsaat 3 dt/ha (80 zu 83 dt/ha) und in der Sommergerste 1 dt/ha (63 zu 64 dt/ha) mehr geerntet.



**Abbildung 4-12: Kornerträge auf dem Standort in Rheinhessen im Mittel der Jahre 1999 - 2011, Fehlerbalken kennzeichnen Minimum und Maximum**

Bei Zuckerrüben bestand demgegenüber ein engerer Zusammenhang zwischen Feldaufgang und Ertragsleistung der Kultur. Gerade in der konservierenden Bodenbearbeitung war, je weiter die Bearbeitungsintensität reduziert wurde, hier ein jahresabhängig mehr oder minder starker Rückgang des Feldaufgangs zu beobachten. So führten unterschiedliche Voraussetzungen in den Versuchsjahren 2001, 2005, 2008 und 2011 zu teils unterschiedlichen Bestandesdichten und wechselnden Ertragsergebnissen (Abbildung 4-13).

Ungünstige Witterungsverhältnisse zur Aussaat 2001 führten z. T. zu erheblichen Schwächen im Feldaufgang der pfluglosen Verfahren (Direktsaat bei 37 %) und in der Folge zu deutlichen Mindererträgen gegenüber dem Pflug mit 771 dt auf 578 dt Frischmasse gereinigter Zuckerrüben in der Direktsaat.



**Abbildung 4-13: Feldaufgang der Zuckerrüben im Mittel der vier Anbaujahre bis 2011 (links) und Rübenenerträge im Mittel der drei Anbaujahre bis 2008 (rechts) auf dem Standort in Rheinhessen, Fehlerbalken kennzeichnen jeweils Minimum und Maximum**

Dass aus pflugloser Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben nicht zwangsläufig Ertragsseinbußen resultieren müssen, zeigte sich mit einem insgesamt ausgeglichenen Rübenfrischmasseertrag der Mulchsaaten und vor allem einem größeren Ertragsvorsprung der unbearbeiteten Variante im Trockenjahr 2005. Die Direktsaat erzielte trotz geringerer Bestandesdichte mit 966 dt einen Mehrertrag von 124 dt gegenüber der Pflugvariante. Auch im Versuchsjahr 2008 ergaben sich leichte Vorteile der Mulchsaaten und nur in der Direktsaat ein leichter Verlust von 12 dt FM gegenüber der Pflugvariante (Abbildung 4-13).



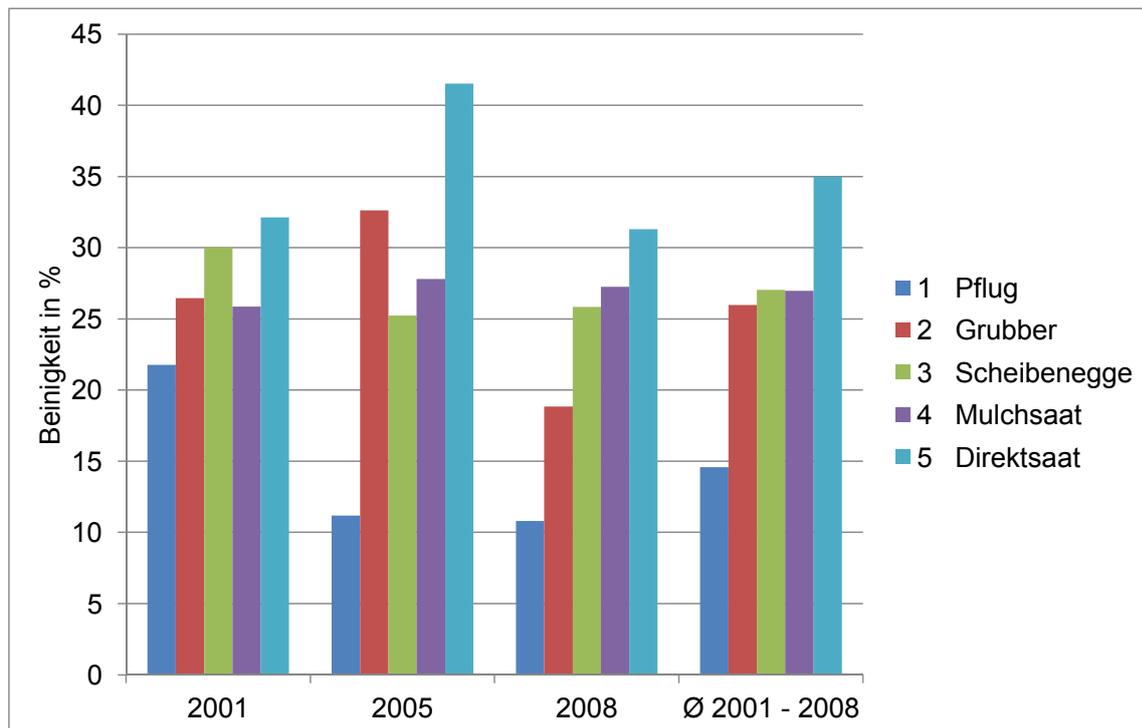
**Abbildung 4-14: Rübenbestand kurz vor Reihenschluss am Standort in Rheinhessen im Jahr 2005**

Zum Teil geringere Bestandesdichten in den Mulchsaatvarianten wurden meist kompensiert und wirkten sich vor allem im durch hohe Temperaturen und Trockenheit geprägten Sommer 2005 eher positiv aus (Abbildung 4-14).

Die Erträge aus dem Jahr 2011 lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Aufgrund tendenziell geringerer Rohzuckergehalte und höherem Anteil an Melassebildnern sank allerdings der Gehalt an ausbeutbarem Zucker in den Mulchsaatvarianten, so dass sich der bereinigte Zuckerertrage doch zu Gunsten der Pflugvariante verschob. In der Direktsaat betrug der Ertragsrückgang im Schnitt der Versuchsjahre bis zu 11 % (Abbildung 4-13).

Augenfällig war auch der Anstieg beiniger Zuckerrüben vom Pflug zur Direktsaat in allen Versuchsjahren, der ihren Anspruch an einen gelockerten Standort unterstreicht (Abbildung 4-15). Verantwortlich für die verstärkte Seitenwurzelbildung der Zuckerrüben ist eine höhere Festigkeit des Bodens in den Mulchsaatvarianten.



**Abbildung 4-15: Anteil beiniger Rüben und Schmutzanteile auf dem Standort in Rheinhessen im Mittel der Jahre 1999 bis 2009**

In Abhängigkeit der Bearbeitungsintensität erhöhte sich allerdings die Tragfähigkeit der Böden. Bei Messungen nach der Zuckerrübenernte wurde ein kontinuierlicher Rückgang der Spurtiefe vom Pflug zur Direktsaat um 50 % festgestellt (Daten nicht gezeigt). Unabhängig von den Kulturen hatte die konservierende Bodenbearbeitung auf diesem Standort bei insgesamt niedrigerer Jahresniederschlagsmenge und geringeren nutzbaren Wassermenge als limitierendem Faktor Vorteile. Denn gerade bei ausgeprägter Frühsommertrockenheit bestimmen die Bodenfeuchtereserven des Unterbodens den Ertrag. In durch knappere Niederschläge und ungünstige Niederschlagsverteilung geprägten Regionen kann durch reduzierte Bodenbearbeitung die Wasserverfügbarkeit gesteigert werden. Durch den Wegfall der wasserzehrenden Pflugarbeit, dem Belassen der verdunstungsminimierenden Mulchschicht auf der Fläche, der tendenziell niedrigeren Bestandesdichte mit

demgemäß geringerem Wasserverbrauch und den nach eigenen Untersuchungen verbesserten Wasserführung und Wasserhaltefähigkeit des Bodens wird die Wasserversorgung und damit der Ertragsaufbau der Kulturen auch in Trockenperioden gefördert.

Über alle Versuchsjahre hinweg betrachtet, konnten auf dem rheinhessischen Standort mit seinem fruchtbaren und strukturstabilen Lößboden die pfluglosen Anbauverfahren überzeugen. Die Intensität der Bearbeitung lässt sich hier bis zur reinen Direktsaat insgesamt sehr gut reduzieren.

#### 4.4 Versuchsergebnisse Eifel

Etwas differenzierter als in Rheinhessen war der Versuch in der Eifel zu betrachten. Die Feldaufgänge waren in den Mulchsaatvarianten je nach Kultur in der Regel größeren Schwankungen unterworfen. Während der Winterraps der Pfluglos-Varianten nur mittlere Unterschiede zeigte und im Blattfruchtweizen mit Ausnahme der Direktsaat in Einzeljahren mitunter sogar Vorteile bis zu 15 % (2006 Grubbervariante) ermittelt wurden, lagen die Feldaufgänge in Sommer- und mehr noch in Wintergerste insbesondere in den Mulch- und Direktsaatvarianten im Extrem teils um bis zu 30 % niedriger als nach Pflugeinsatz (Abbildung 4-16). Insgesamt gesehen konnten tendenziell schwächere Feldaufgänge bei Pflugverzicht festgestellt werden.

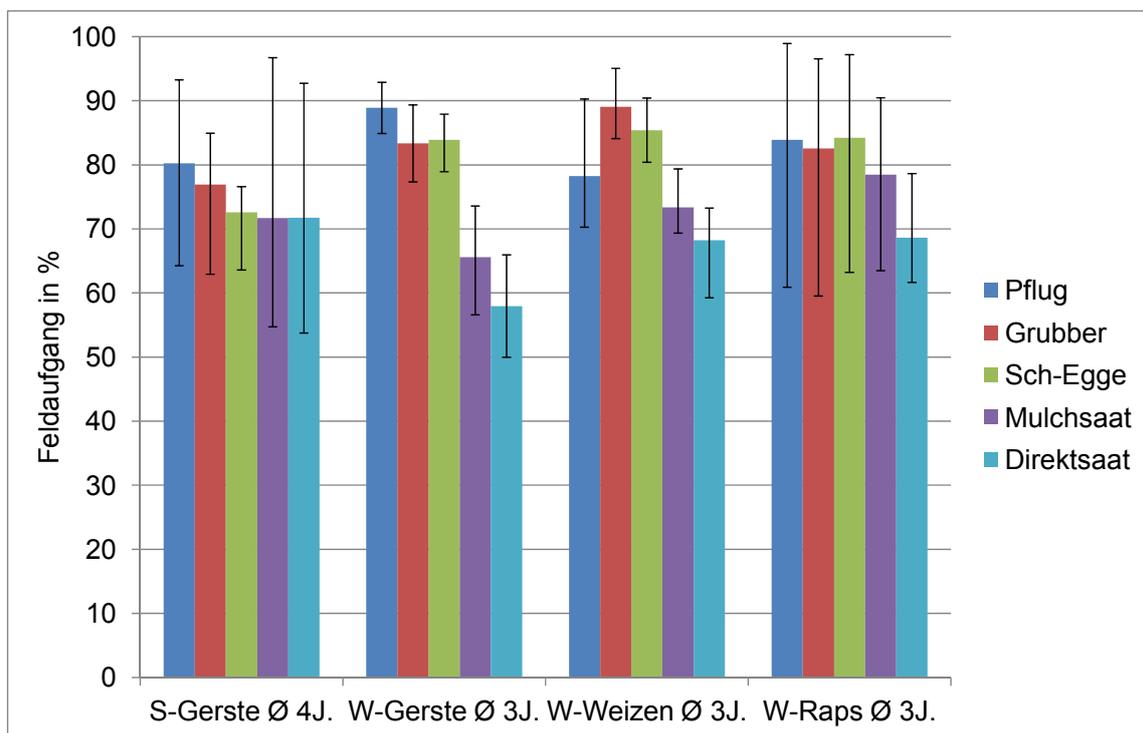


Abbildung 4-16: Feldaufgang der auf dem Standort in der Eifel gesäten Kulturen im Mittel der Jahre 1999 bis 2011, Fehlerbalken kennzeichnen Minimum und Maximum

Mit einem ausgeglichenen Ertragsniveau konnten Wintererbsen, die Ertragsunterschiede waren bei +/- 3 % im mehrjährigen Mittel im Verhältnis zur Pflugsaat nur unbedeutend, und auch Winterweizen mit einem moderaten Rückgang des Ertragsdurchschnittes um 6 Prozentpunkte in allen Varianten weitgehend überzeugen. Die Gerste war demgegenüber von größeren Ertragsvarianzen in den Verfahren Mulchsaat und Direktsaat betroffen.

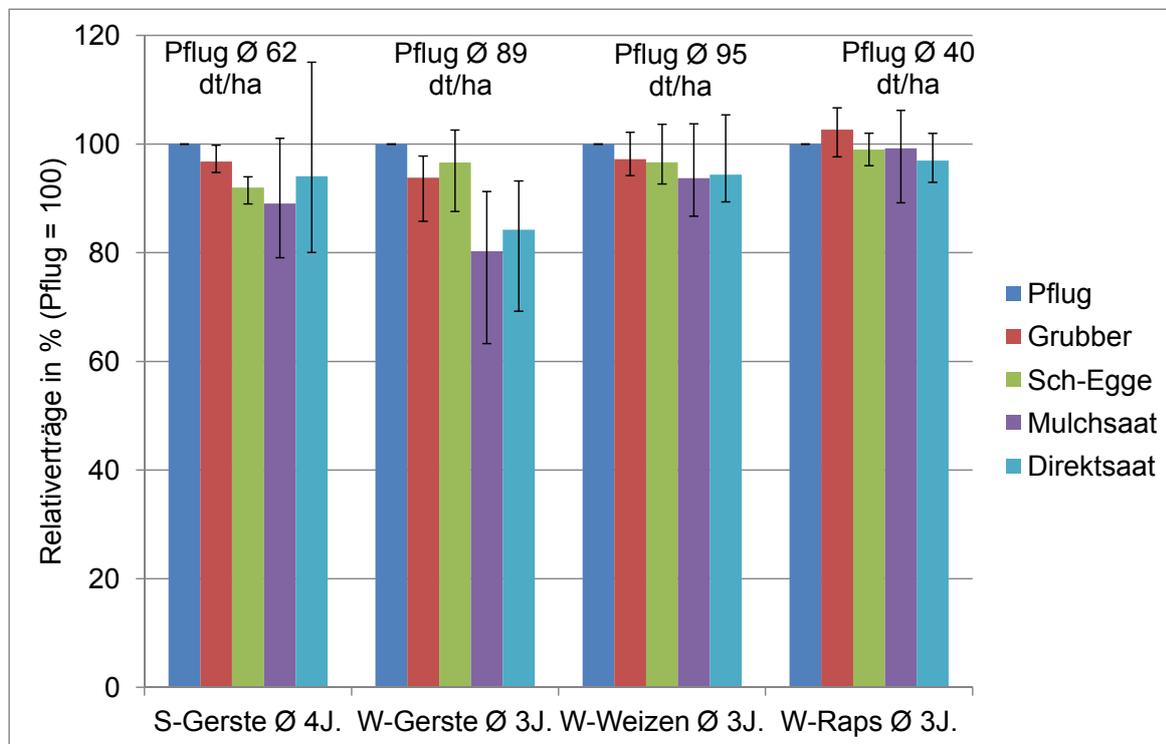


Abbildung 4-17: Erträge auf dem Standort in der Eifel im Mittel der Jahre 1999 bis 2011

Primär verantwortlich für eine um 30 dt/ha niedrigere Erntemenge waren ein verstärktes Auftreten von Schadgräsern und größere Fraßschäden durch einen Anstieg der vom Feldrand zugewanderten Mäusepopulation. Dieses für die Minimalbodenbearbeitung eigentlich typische Problem war aber nur in den beiden mit Direktsaattechnik bestellten Varianten zu finden, bei tieferer Bodenbearbeitung oder -lockerung spielten sie keine Rolle.



Schadgräser in Direktsaat



Mäuseschäden in den Varianten Mulchsaat und Direktsaat

**Abbildung 4-18: Schadgräser und Mäuseschäden bei unterlassener tieferer Bodenbearbeitung**

Augenfällige Vorteile bei konservierender Bodenbearbeitung bestanden im Trockenjahr 2007 auf dem in Normaljahren ansonsten mit Wasser gut versorgten Eifelstandort. Bei sehr trockenen Verhältnissen waren in der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung die Feldaufgänge der Sommergerste deutlich besser und sicherer. Nach der Saat hatten die Getreidekörner einen besseren Kontakt mit der Bodenfeuchte. Die Bodenfeuchtigkeit blieb länger erhalten und die Kultur entwickelte sich besser. In den Verfahren mit Saatbettbereitung insbesondere im Pflugsaatbett war die Wasserversorgung gestört und eine kontinuierliche Entwicklung somit nicht gewährleistet. Der Entwicklungsvorteil der Varianten Mulchsaat und Direktsaat war über die gesamte Vegetationsperiode zu beobachten und führte insbesondere in der Direktsaat zu einem Ertragsvorsprung von 15 Prozentpunkten.

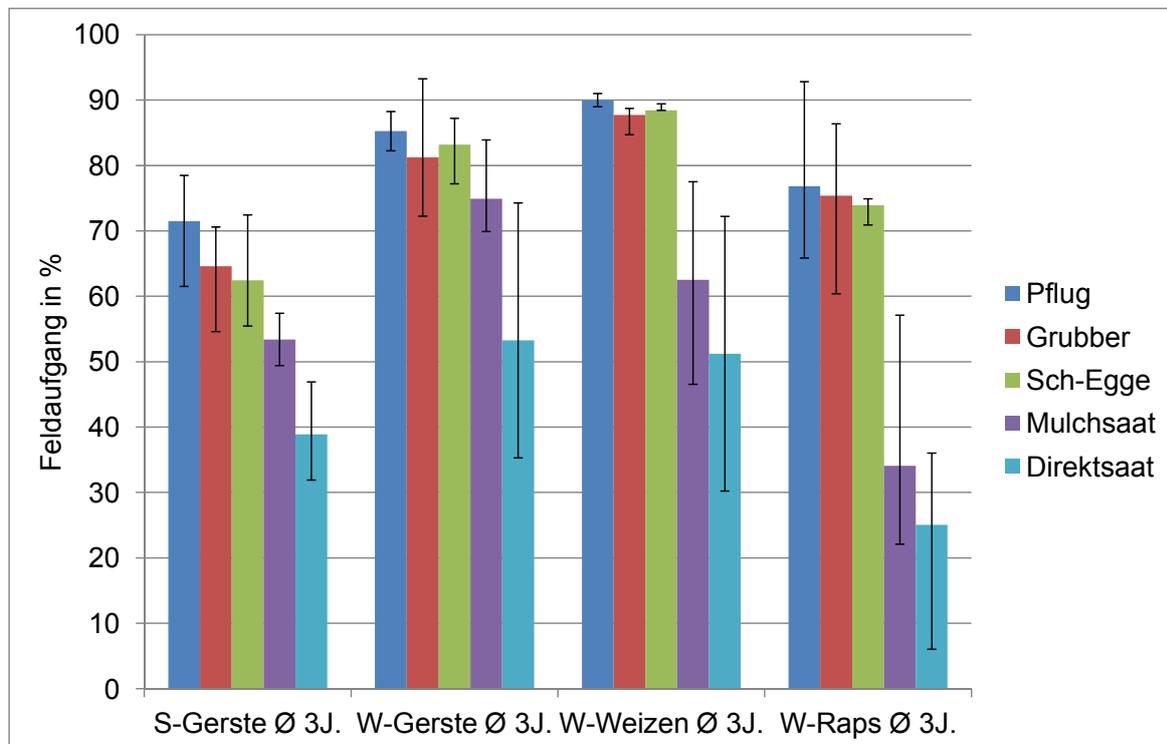
Auch auf diesem Standort verdeutlichen die Ergebnisse, dass im bisherigen Versuchsverlauf in der konservierenden Bodenbearbeitung ein hohes Ertragsniveau erreicht werden konnte. Im Durchschnitt wurden vor allem in den Varianten Grubber und Scheibenegge nur geringfügig niedrigere Kornerträge im Vergleich zur Pflugsaat ermittelt, desgleichen blieben die Ertragsrückgänge in den Varianten Mulchsaat und Direktsaat moderat und durchaus in einem vertretbaren Rahmen. Die gute Kalkversorgung dieses Standorts (Muschelkalkerwitterungsboden) trägt wohl mit zum Gelingen und zur Ertragsstabilität der Mulchsaat bei. Kalk ist maßgeblich beteiligt an der Bildung einer optimalen Bodenstruktur, die gerade für die konservierende Bodenbearbeitung von entscheidender Bedeutung ist.

#### 4.5 Versuchsergebnisse Hunsrück

Der Versuch im Hunsrück präsentierte sich als kritischster Standort mit sehr schwierigen Bodenverhältnissen. Auf dem schweren und staunassen Lehmboden waren den pfluglosen Anbausystemen ohne tiefere Lockerung Grenzen gesetzt.

Im Allgemeinen fiel der Feldaufgang in den Mulchsaatvarianten mit zurückgehender Bodenbearbeitungsintensität stark ab (Abbildung 4-19). Während in den tiefer bearbeiteten

Mulchsaaten (Varianten Grubber und Scheibenegge) mit bis zu minus 10 Prozentpunkten vor allem bei Wintergerste und Winterweizen gegenüber der Pflugsaat noch geringere Unterschiede ermittelt wurden, blieben insbesondere bei Sommergerste und Raps die Feldaufgänge der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (Varianten Mulchsaat und Direktsaat) mit zunehmender Versuchsdauer teils drastisch, oftmals mehr als 50 Prozentpunkte, hinter der Pflugsaat zurück.



**Abbildung 4-19: Feldaufgang der auf dem Standort im Hunsrück gesäten Kulturen im Mittel der Jahre 1999 bis 2011**

Die Hauptschwierigkeit auf dem schweren Lehmboden in Dichtelbach war das Erreichen einer optimalen Saatguteinbettung. Durch technische Probleme bei der Aussaat blieben die Säschnitte gerade in der Direktsaat teilweise offen (Abbildung 4-20). Offenen Saatrillen und fehlender Kontakt zu Feinerde störten die Wasser- und Nährstoffversorgung, wobei Wintergerste und Weizen den schlechten Bodenkontakt besser kompensieren konnten als Sommergerste und Raps. So war ein hoher Feldaufgang als Grundlage für entsprechende Erträge gerade in der Direktsaat oftmals nicht zu erreichen. Hier liefen die Bestände zum Teil mit deutlicher Verzögerung und dementsprechend langsamer Jugendentwicklung auf. Infolge des schlechteren Feldaufgangs und einer wachsenden Schneckenproblematik, die auch durch Molluskizideinsatz nicht immer beherrschbar war, war in diesen Parzellen die Pflanzenentwicklung stark beeinträchtigt. Die geringere Unkrautunterdrückung durch mangelhafte Bestandesdichte und Fehlstellen führte zu einer massiven Ausbreitung von jähriger Rispse.



Offene Säschlitzte in Direktsaat



Jährige Rispe in Direktsaat

**Abbildung 4-20: Schadgräser und Mäuseschäden bei unterlassener tieferer Bodenbearbeitung**

Analog zum Feldaufgang sind die ermittelten Erntemengen zu sehen (Abbildung 4-21). Die Pflug-Variante zeigte über die Versuchsjahre meist ein höheres und stabileres Ertragsniveau. Die Erträge in den Varianten Grubber und Scheibenegge (Varianten Grubber und Scheibenegge) reichten im Mittel der Jahre nur noch knapp an die Pflugvariante heran und schwankten stärker. Bei Wintergerste und Winterweizen wurden in diesen Verfahren noch vergleichbare, aber bei Winterraps schon bis 20 und Sommergerste um bis zu 22 Prozentpunkte niedrigere Erträge geerntet. Die Kombination von mangelnder Bestandesetablirung und Problemen mit Ungräsern und Schnecken führte in den Varianten Mulchsaat und Direktsaat zum Teil zu deutlichen Ertragseinbußen.

Mit zunehmender Versuchsdauer steigerten sich die Einbußen in der Direktsaat im Mittel der Versuchsjahre auf mehr als 50 %, in der Spitze bis zu Totalausfällen durch Auswinterungsschäden bei den schwach entwickelten Wintergerste- und Rapsbeständen der Jahre 2010 und 2011. Die Erträge der nachgesäten Sommerung wurden im Versuchsergebnis nicht bewertet. Zusätzlich war hier die Sommergerste durch die verzögerte Erwärmung und das langsamere Abtrocknen der Direktsaatvariante im Frühjahr benachteiligt. Wegen ihrer schwächeren Wurzelmassebildung reagiert sie stärker auf eine ungünstige Bodenstruktur.

Der Raps ist als Feinsämerei und mit geringen Aussaatstärken ebenso auf optimale Bedingungen bei der Saat angewiesen. Dass in der unbearbeiteten Variante häufig Qualitätsprobleme aufgetreten sind, belastete das Versuchsergebnis zusätzlich. Insbesondere Sommergerste erreichte nicht immer die erforderlichen Qualitätsparameter als Brauware. Insgesamt gesehen steigen auf dem Hunsrücker Standort Ertrag und Ertragsstabilität mit zunehmender Bearbeitungshäufigkeit und -tiefe.

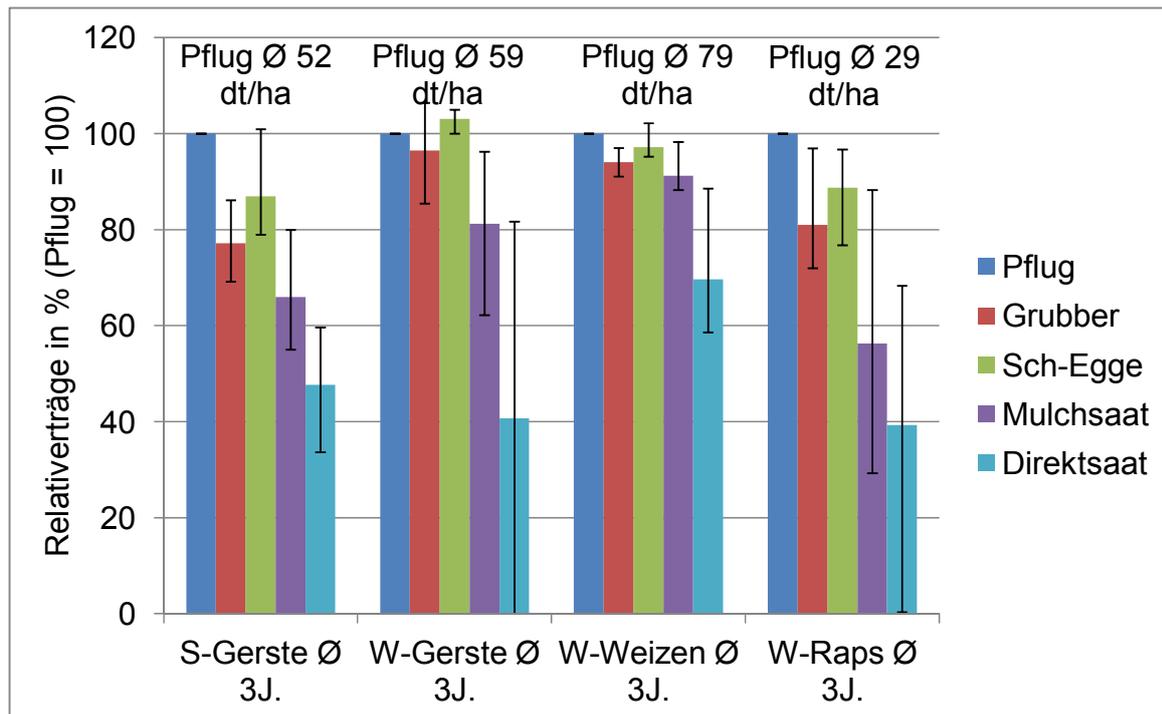


Abbildung 4-21: Erträge auf dem Standort im Hunsrück im Mittel der Jahre 2000 bis 2011

## 4.6 Standortübergreifende Erkenntnisse

### 4.6.1 Standorteinflüsse

Die Versuche unter Praxisbedingungen zeigen für die verschiedenen Standorte mittlerweile relativ stabile Tendenzen im Ertragsniveau der Varianten und Kulturen.

Über alle drei Standorte hinweg betrachtet, ist Mulchsaat grundsätzlich machbar. Das erforderliche Ausmaß der Bodenbearbeitung ist abhängig von den vom Standort geprägten Bodenverhältnissen und klimatischen Bedingungen. Je nach Witterungsverlauf und Jahressituation fielen die Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf Pflanzenbestand, Ertrag und Marktwarenanteil unterschiedlich stark ins Gewicht.

Die Verringerung der Eingriffsintensität auch bis zur reinen Direktsaat war auf den strukturstabilen und aktiveren Böden in Rheinhessen und Eifel eher möglich.

Weniger geeignet war der staunasse und bindige Standort im Hunsrück, der über eine geringere biologische Aktivität und eine eingeschränkte Selbstlockerung verfügt. Gerade hier führt die für die konservierende Bodenbearbeitung charakteristische langsamere Bodenerwärmung und geringere Stickstoffmineralisierungsrate zu einer allgemeinen verzögerten Jugendentwicklung der Kulturen. Dieser Entwicklungsrückstand blieb oftmals bis zur Ernte erhalten. Auf den besseren Standorten in Rheinhessen und der Eifel glückte es demgegenüber im Verlauf der Vegetation wieder aus.

Wichtig ist auf allen Standorten eine gute Versorgung mit Kalk, da ohne einen standortgerechten pH-Wert des Bodens und der Gefüge stabilisierenden Wirkung des Kalkes eine pfluglose Bodenbearbeitung nur eingeschränkt möglich ist.

#### 4.6.2 Strohmanagement

Im Vergleich der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme steigen mit abnehmender Bearbeitungsintensität die Ansprüche an die Strohzerkleinerung und Verteilung, um einerseits die Strohrotte zu beschleunigen und andererseits eine gute Saatgutablage gerade bei der Herbstbestellung, wenn bis zur Aussaat von Winterungen nur wenig Zeit verbleibt, zu gewährleisten. Enge Fruchtfolgen verstärken die Problematik. Zudem schaffen Strohnester ideale Rückzugsmöglichkeiten zur ungestörten Vermehrung von Feldmäusen. Eventuell ist der Einsatz eines Strohstriegels diagonal zur Druschrichtung und bei längerer Stoppel auch eines Mulchers in Erwägung zu ziehen (Abbildung 4-22). Auf schwächeren Standorten ist eine Strohausgleichsdüngung sinnvoll.



Strohstriegel



Mulcher

Abbildung 4-22: Geräte für das Strohmanagement

#### 4.6.3 Schnecken und Mäuse

In der konservierenden Bodenbearbeitung ist eine höhere Gefährdung durch Schnecken und Mäuse zu beobachten (Abbildung 4-23). Probleme mit Schädlingen waren eigentlich in allen Versuchsjahren gegenwärtig mit jahres- und standortabhängigen Unterschieden. Je geringer die Bearbeitungsintensität desto größer war im Allgemeinen die Gefahr der Etablierung von Mäusen und Schnecken. Während die tiefere Bodenbearbeitung in den Var. 2 und 3 den Befall meist noch ausreichend reduzierte, waren die Mulchsaaten ohne Saatbettbereitung (Var. 4 und 5) wesentlich stärker gefährdet, da hier eine effiziente mechanische Bekämpfung fehlt. Aber auch unabhängig vom Bearbeitungsverfahren konnten in einzelnen Jahren insbesondere Schadnager verstärkt auftreten. Mit konsequenter Feldrandhygiene, um das Zuwandern vom Wegrand zu unterbinden, dem Aufstellen von Sitzstangen für Greifvögel und dem Abspritzen von Ausfallgetreide und Altverunkrautung, um Schädlingen Rückzugsmöglichkeiten und Nahrung zu nehmen, wurde auf den teils hohen

Befall mit Mäusen und Schnecken reagiert. Letztendlich war aber der Einsatz von Schneckenkorn und das Ausbringen von Giftweizen mit der Legeflinte zwingend erforderlich.



Genetzte Ackerschnecke



Schadnagerzuwanderung vom Weg

**Abbildung 4-23: Bei pflugloser Bodenbearbeitung besonders wichtige tierische Schädlinge: Schnecken und Mäuse**

#### 4.6.4 Schadpflanzen

Mit zunehmender Versuchsdauer konnte eine standortspezifische Veränderung des Unkrautspektrums hin zu Ungräsern und Wurzelunkräutern hin insbesondere bei Mulchsaat mit flacher oder fehlender Lockerung festgestellt werden. Durch eine gezielte Unkrautbekämpfung in der Fruchtfolge war die Unkrautproblematik aber beherrschbar. In den Direktsaatverfahren war zudem der Einsatz eines Glyphosatpräparates im Herbst und je nach Erfordernis auch im Frühjahr vor der Aussaat von Sommerungen eine Standardmaßnahme, um Problemunkräuter und Ausfallgetreide in den Griff zu bekommen. Auch hier gehört das Freihalten der Feldränder zur Bekämpfungsstrategie, um das Aussamen der Ungräser zu verhindern.

#### 4.6.5 Krankheiten

Ein erhöhter Krankheitsdruck konnte im bisherigen Versuchsablauf nicht festgestellt werden, was wohl auch den relativ weitgestellten Fruchtfolgen auf allen Versuchsstandorten mit dem Wechsel zwischen Halmfrucht und Blattfrucht sowie Winterungen und Sommerungen und der konsequenten Beseitigung der "grünen Brücken" mit Totalherbiziden geschuldet ist. Eine Anpassung der Fruchtfolge ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, um die Intensität der Bearbeitung zu reduzieren und konservierende Bodenbearbeitungssysteme in der Praxis umzusetzen. Erweiterte Fruchtfolgen tragen zur Risikominderung bei, auch wenn dann nicht immer die wirtschaftlich stärkste Kultur in der Anbauplanung steht.

Trotzdem besteht in konservierender Bodenbearbeitung aufgrund des höheren Anteils an Ernteresten auf der Bodenoberfläche ein höheres Gefährdungspotential für die Folgekultur. Dazu gehören Pilzkrankheiten wie Septoria, DTR, Fusarium. Bei bisherigen Untersuchungen des Erntegutes der Mulchsaaten wurde allerdings keine höhere Mykotoxinbelastungen festgestellt.

#### 4.6.6 Produktqualität

Abweichungen in der Produktqualität waren zumindest in Rheinhessen und in der Eifel eher marginal. In den schwächeren Beständen der Varianten Mulchsaat und Direktsaat im Hunsrück waren die Qualitätsmerkmale höheren Schwankungen unterworfen.

### 4.7 Schlussfolgerungen

Pflugverzicht ist kein Dogma und sollte genau abgewogen werden. Es bestehen einige Aspekte ökonomischer und ökologischer Art wie etwa Bodenschutz, Erosionsvermeidung, Zeitersparnis, höhere Schlagkraft, Einsparung von Energie- und Maschinenkosten, die für eine Umstellung auf pfluglose Verfahren sprechen. Konservierende Bodenbearbeitung ist aber nicht nur ein Weglassen des Pfluges, sondern ein Anbauverfahren, auf das man sich einstellen muss. Die Versuche haben gezeigt, je stärker die Intensität der Bodenbearbeitung zurückgenommen wird, umso größer ist die Gefahr, dass Probleme entstehen. Die Fehlertoleranz sinkt und die Ansprüche an das pflanzenbauliche Management steigen mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung, da punktgenauer gearbeitet werden muss. Einmal gemachte Fehler wirken sich oftmals bis zur Ernte aus. Zudem muss für die Kontrolle der Bestände mehr Zeit investiert werden, um auf die jeweiligen Gegebenheiten in Bezug auf Unkrautbesatz und das Aufkommen von Schädlingen zu reagieren. Die Pflugsaat ist etwas einfacher zu handhaben, weil die wendende Bodenbearbeitung manche Dinge überdeckt.

Aufgrund der standortspezifischen Unterschiede gibt es aber keine allgemein gültige Lösung. Für den jeweiligen Standort sollten Erfahrungen gesammelt und das entsprechende Verfahren herausgearbeitet werden. Von Mulchsaat mit tieferer Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung bis hin zur reinen Direktsaat müssen die unterschiedlichen Systeme in der Bearbeitungsintensität auf ihre Umsetzbarkeit überprüft und angepasst werden. Dabei ist wohl letztendlich die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Bestandesführung und betriebliches Management sind auf die konservierende Bodenbearbeitung auszurichten. Den Vorteilen bei der Arbeitserledigung stehen eventuell höhere Kosten im Pflanzenschutz wie Glyphosateinsatz und Aufwendungen für die Gräserbekämpfung und Schädlingsregulierung gegenüber. Kleinere Ertragsschwankungen sind aufgrund der geringeren Arbeitserledigungskosten tolerierbar, allerdings relativiert sich dieser Nutzen bei größeren Ertragseinbußen recht schnell.

Inwieweit sich Mulchsaaten in Zukunft durchsetzen werden oder ob der Pflug seinen Platz in der Grundbodenbearbeitung bewahrt, hängt unter anderem von politischen Vorgaben und der zukünftigen Preisentwicklung landwirtschaftlicher Produkte und Betriebsmittel ab.

# 5 BEDEUTUNG DER PFLUGLOSEN BODENBEARBEITUNG FÜR DEN GEWÄSSERSCHUTZ

Thomas Appel, Fachhochschule Bingen

## 5.1 Einleitung

Die chemisch-physikalischen Belastungen der Gewässer können im Wesentlichen drei Ursachenbereichen zugeordnet werden (Vogt 1999):

- Eutrophierung
- Genotoxische und hormonwirksame Stoffe
- Diffuse Einträge von Schadstoffen, z.B. Pflanzenschutzmittel

Durch die in den letzten 20 Jahren umgesetzten Maßnahmen im Bereich der Abwasserbehandlung und -reinigung sind die Gewässerbelastungen aus den Haushalten sowie dem Gewerbe und der Industrie erheblich zurückgegangen, nicht aber die so genannten diffusen Einträge, für die vor allem die Landwirtschaft verantwortlich ist. Von höchster Relevanz ist dabei der Eintragspfad durch Oberflächenabfluss und Erosion (Vogt 1999).

Abhängig von den Sorptionseigenschaften und der Persistenz der Wirkstoffe werden die Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln, hormonwirksame Substanzen aus der Gülle und Pflanzennährstoffe auf zwei Wegen über die Vorfluter in die Oberflächengewässer transportiert. Leicht lösliche Stoffe werden im oberflächlich abfließenden Wasser (run off) gelöst und in die Gewässer transportiert, auch wenn dabei kein Bodenabtrag stattfindet. Zahlreiche Pflanzenschutzmittel und hormonwirksame Substanzen aus der Tierhaltung sowie leicht lösliche Pflanzennährstoffe werden auf diese Weise in die Flüsse und Seen transportiert. Substanzen, die stark an Bodenpartikel adsorbiert werden, wie zum Beispiel Phosphat und manche Pestizide, werden dagegen nur dann in die Vorfluter getragen, wenn es mit dem Oberflächenabfluss auch zur Erosion des Bodens kommt. Adsorbiert an die Tonminerale werden die Pestizide und das Phosphat mit dem oberflächlich abfließenden Wasser in die Gewässer getragen, wo sie sich - anders als auf dem Acker - schädlich auswirken. Phosphordünger aus der Landwirtschaft sind vor allem für die Eutrophierung (übermäßige Nährstoffanreicherung) von Flüssen und Seen verantwortlich.

Die Bodenbearbeitung ist deshalb in zweierlei Hinsicht wichtig für die Frage, wie groß die für die Gewässer schädliche Fracht an Pestiziden und Nährstoffen von den Ackerflächen ist.

1. Wasserinfiltration und Regenverdaulichkeit: Die Bodenbearbeitung beeinflusst die Bodenstruktur und damit Fähigkeit des Bodens, bei Starkregen oder bei Tauwetter nach Schneefall das Wasser in den Boden infiltrieren zu lassen. Eine hohe Infiltrationsleistung des Bodens ist die Grundvoraussetzung dafür, dass kein Oberflächenabfluss auftritt.
2. Nähr- und Schadstoffverteilung: Die Bodenbearbeitung beeinflusst die Verteilung der Nähr- und Schadstoff im Bodenprofil. Diese gelangen durch Dünger und Ernterückstände primär auf die Bodenoberfläche. Durch das krumentiefe Pflügen werden sie dann in der Krume verteilt. Bei pflugloser Bewirtschaftung können sie sich leichter oberflächennah anreichern und dann im ungünstigsten Fall mit oberflächlich abfließendem Wasser, das aufgrund ungenügender Infiltration nicht in den Boden eindringt, in die Gewässer gelangen.

In der Literatur wird im Allgemeinen berichtet, dass die langjährig pfluglose Bodenbearbeitung mit höherer Infiltrationsleistung und besserer Regenverdaulichkeit einhergeht (Menge et al., 2006; Bischoff 2008). Dies wird dadurch erklärt, dass sich bei langjährig pflugloser Bodenbearbeitung mit der Zeit eine kompakte, tragfähige und mit zahlreichen biogenen Poren durchzogene Ackerkrume entwickelt. Biogene Poren entstehen als Wurmröhren und durch verlassene Wurzelgänge. Solche biogenen Poren sind relativ groß (weite Grobporen) und besonders kontinuierlich (d.h. kaum unterbrochen). Sie sind deshalb für den Austausch der Bodenluft mit der Atmosphäre besonders wertvoll. Böden mit derartiger Porosität weisen auch eine hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit auf. Damit sich diese positive Bodenstruktur durch eine pfluglose Bodenbearbeitung entwickelt, sind zahlreiche und möglichst aktive Regenwürmer wichtig. Auf langjährig pfluglos bewirtschafteten Flächen ist die so genannte Bioturbation der Regenwürmer auch dafür verantwortlich, die Ernterückstände, Reste von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffe von der Bodenoberfläche in der Krume zu verteilen. Das ist möglicherweise nicht unter allen Standort- und Bewirtschaftungsverhältnissen in gleicher Weise gewährleistet. Die meisten Untersuchungsergebnisse zu diesen Fragen stammen von sehr fruchtbaren Lössstandorten, wo sich auch die Regenwürmer sehr wohl fühlen.

Wie sich eine langjährig pfluglose Bodenbearbeitung auf Standorten auswirkt, die für Rheinland-Pfalz typisch sind, wurde bisher nicht umfassend untersucht. Im Jahr 2005 wurde deshalb an der Fachhochschule Bingen damit begonnen, im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten die Infiltrationsleistung, die Häufigkeit und die Masse der Regenwürmer, die Nährstoffverteilung im Bodenprofil und die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens zu messen. Die dabei untersuchten Standorte sind zum einen die drei von der Landwirtschaftskammer in Rheinland-Pfalz betreuten Versuche, die oben bereits beschrieben wurden (Kapitel 4.2), und zum anderen zwei im Jahr 1998 vom Versuchsbetrieb der Fachhochschule Bingen angelegte Versuche (Tabelle 5-1).

In dem Versuch auf dem Rochusberg wird eine Fruchtfolge aus Winterraps-Winterweizen-Wintergerste angebaut. Die Grundbodenbearbeitung erfolgt seit 1998 in drei Varianten: Mulchsaat, ohne eine Bodenbearbeitung im Herbst, Grubber ca. 12 bis 15 cm tief nach der

Ernte im Herbst, Pflug ca. 25 bis 30 cm tiefe Herbstfurche. Bei allen drei Varianten wird das Saatbett entweder mit einem Kreisel- oder dem Flügelschargrubber ca. 5 bis 7 cm tief vorbereitet. Eine "echte" Direktsaat (ganz ohne Bodenbearbeitung), wie sie bei den drei Versuchen der Landwirtschaftskammer praktiziert wird, gibt es hier also nicht. Die Varianten sind als gespiegelte Langparzellen (24 m breit, ca. 180 m lang) angeordnet.

Auf dem zweiten Standort der FH Bingen, Am Galgenberg, wird die Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste angebaut und - wenn es die Bodenfeuchtigkeit zulässt - als Subvariante auf Teilflächen nach der Wintergerste Gelbsenf als Gründung ausgesät. Die Bodenbearbeitung erfolgt wie auf dem Rochusberg mit dem Unterschied, dass die Versuchsanlage keine Mulchsaatvariante beinhaltet. Allerdings sind die Parzellen auf drei Blöcken mit je zwei Parallelen je Block auf der Versuchsfläche angeordnet. Die Fruchtfolge ist in den drei Blöcken jeweils um ein Jahr zeitlich versetzt, so dass jedes Jahr auf einem der Blöcke eine der drei Kulturen angebaut wird.

Die Böden der fünf Versuchsstandorte liegen nicht nur klimatisch in unterschiedlichen Regionen, sie enthalten auch unterschiedlich viel Carbonat und Ton (Tabelle 4-2 und Tabelle 5-2). In dieser Broschüre kann nur eine kleine Auswahl der gewonnenen Daten exemplarisch dargestellt werden. Die ausführlichen Projektberichte stehen auf der Homepage der Fachhochschule Bingen zu Verfügung.

**Tabelle 5-1: Standorteigenschaften der Versuchsflächen der Fachhochschule Bingen**

Naturraum	Standort	Geologie	Bodentyp	Jahresniederschlag <sup>1)</sup> (l/m <sup>2</sup> )	Lufttemperatur <sup>1)</sup> (°C)
Mainzer Becken	Rochusberg	Löss über Tausquarzit	Rigosol-Pararendzina und Rigosol-Kolluvium	< 500	9
Mainzer Becken	Am Galgenberg	Dilluviales Auen-sediment	Rigosol-Tschernitza	< 500	10

1) im langjährigen Mittel

**Tabelle 5-2: Bodenkennwerte (0 bis 30 cm) der Versuchsflächen der Fachhochschule Bingen**

Standort	Sand %	Schluff %	Ton %	Carbonat <sup>1)</sup> %	organischer Kohlenstoff %
Bingen/Rochusberg	43,3	41,5	15,2	8,6 (0,4 - 17,2) <sup>2)</sup>	2,0 (0,7 - 1,4)
Bingen/Galgenberg	24,2	49,7	26,1	< 0,2	1,5 (0,9 - 2,9)

1) Angabe in g CaCO<sub>3</sub>-Äquivalente je 100 g Boden

2) In Klammern minimaler und maximaler auf der Versuchsfläche gemessener Wert

## 5.2 Wasserinfiltration

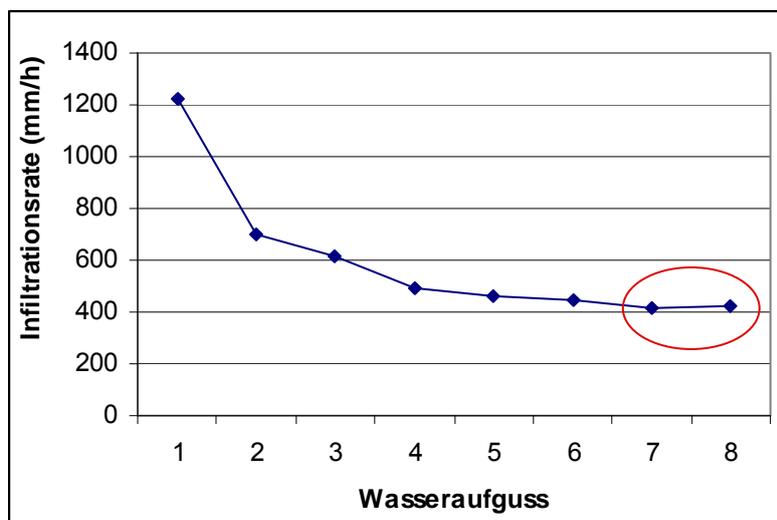


**Abbildung 5-1: Studierende der FH Bingen bei der Messung der Wasserinfiltration mit dem Doppelring-Infiltrimeter auf dem Standort Dichtelbach im Hunsrück**

Für den Gewässerschutz ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dass das Niederschlags- und gegebenenfalls das Schmelzwasser schnell in den Boden infiltrieren kann, damit kein Oberflächenabfluss entsteht. Für die Messung der Infiltrationsleistung wurden Doppelzylinder-Infiltrimeter verwendet (DIN 19682-7, Blume et al. 2000). Das Gerät besteht aus zwei Zylindern, einem äußeren und einem inneren (Abbildung 5-1).

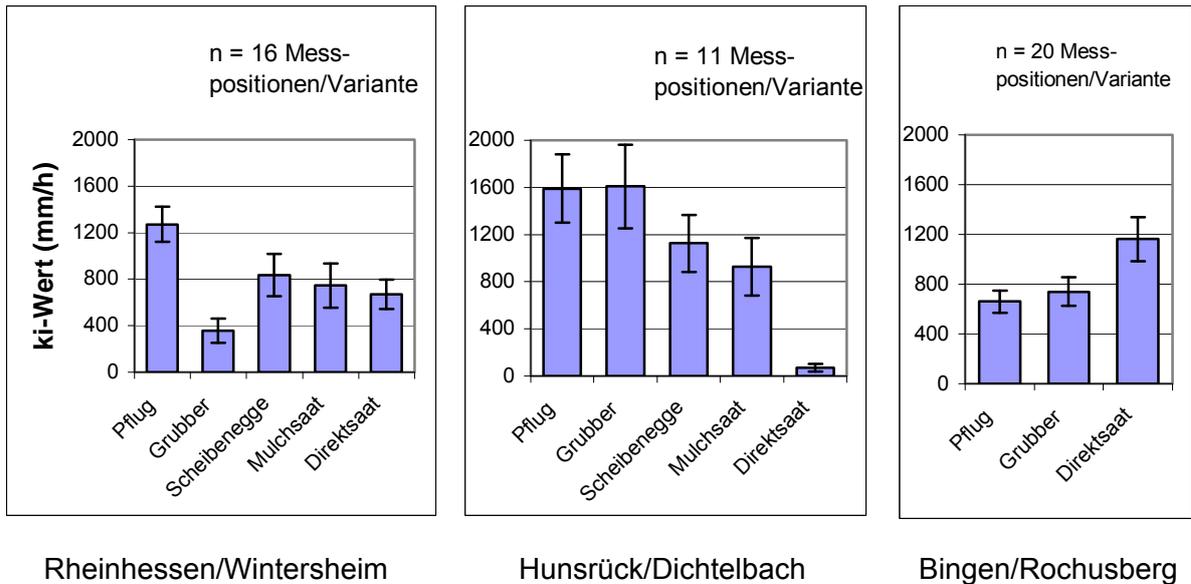
Um die dabei gewonnenen Daten richtig interpretieren zu können, ist es wichtig, den Vorgang der Messung zu verstehen. In beide Ringe des Infiltrimeters wird Wasser eingefüllt, gemessen wird dann die Geschwindigkeit, mit der das Wasser im Innenring versickert. Die Bodenoberfläche wird mit einer Schicht Quarzsand vor Verschlammung geschützt. Die Messung der Wasserinfiltration wird so lange durch immer wieder erneutes Aufgießen von Wasser in den Außen- und den Innenring wiederholt, bis sich nach einiger Zeit konstante Infiltrationsraten einstellen. Das erfordert, je nach Vorfeuchte des Bodens und seiner Wasserleitfähigkeit, meistens bis 5 bis 8 Aufgüsse. Durch dieses Vorgehen wird erreicht, dass der endgültige Messwert nicht davon abhängt, wie feucht der Boden am Anfang der Messung ist, was ja bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung durchaus der Fall sein kann.

Die von der FH Bingen verwendeten Infiltrometer umfassen im Innenring eine Fläche von ca. 400 cm<sup>2</sup>. Das entspricht der 16fachen Fläche einer Stechringprobe und hat den großen Vorteil, dass das Messergebnis im Vergleich zu einer Stechringprobe repräsentativer für die untersuchte Fläche ist. Außerdem ist mit den Infiltrometern im Vergleich zu Stechringproben die Gefahr geringer, durch die Auswahl der Position, an der der Ring eingesetzt wird, das Messergebnis zu beeinflussen. Anders als bei Stechringproben, hängt das Messergebnis nicht so stark davon ab, ob bei der Messung gerade ein einzelner Regenwurm-gang erfasst wird oder nicht. Bei der Entscheidung für eine Messposition mit dem Doppelringinfiltrometer lässt sich zudem kaum im Voraus das spätere Messergebnis einschätzen. Das ist im Vergleich zur Verwendung von Stechringen, die auf einem zuvor freipräparierten Boden aufgesetzt werden, ein weiterer Vorteil, weil dadurch besser vermieden werden kann, dass die subjektive Erwartung des Probenehmers über die Auswahl der Messposition das spätere Ergebnis beeinflusst.



**Abbildung 5-2: Infiltrationsraten in Abhängigkeit von der Anzahl der Wasseraufgüsse im Doppelzylinder-Infiltrometer: Nach siebenmaliger Wiederholung von 5 cm Wasserinfiltration tritt gesättigter Wasserfluss ein; die dann gemessenen Infiltrationsraten (durch rote Ellipse markiert) werden gewertet**

Abbildung 5-2 zeigt den typischen Verlauf der Messungen an einer Messposition am Beispiel der Pflugvariante auf dem Rochusberg im April 2011. Der ki-Wert, der die Infiltrationsleistung kennzeichnet, entspricht dann der Sickerungsrate, die sich am Ende der Messreihe beim so genannten gesättigten Fließen einstellt (in der Abbildung durch eine rote Ellipse markiert). Um zu einem guten, flächenrepräsentativen Ergebnis zu kommen, ist die Messung an zahlreichen Positionen einer Parzelle zu wiederholen. Die Messungen der Infiltrationsleistung wurden stets im Frühjahr zu Beginn der Vegetation im März und im April durchgeführt.



**Abbildung 5-3: Infiltrationsleistung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung auf drei unterschiedlichen Versuchsstandorten in Rheinland-Pfalz; Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler**

Mit einer Ausnahme waren die ki-Werte in allen Fällen sehr hoch. Die häufig konstatierte wesentlich bessere Infiltrationsleistung der Böden nach langjährig pflugloser Bodenbearbeitung war allerdings nicht zu beobachten. Auf zwei der drei von uns untersuchten Standorten (Appel et al. 2008; Distler 2009) war die Infiltrationsleistung der gepflügten Böden gleich oder höher als die der nicht gepflügten (Abbildung 5-3 links und mittig). Besonders negativ viel die Direktsaatvariante des Versuchs im Hunsrück auf (Abbildung 5-3 mittig). Für den Gewässerschutz ist diese Situation bei Direktsaat besonders kritisch, weil durch die fehlende Bodenbearbeitung Dünger und Pflanzenschutzmittel mit viel höherer Wahrscheinlichkeit auf der Bodenoberfläche verbleiben und diese dann bei Starkregen oder Schneeschmelze sehr leicht abgeschwemmt werden können. Unter diesen Umständen stellt die Direktsaat ein Risiko für den Gewässerschutz dar. Verantwortlich für die geringe Infiltrationsleistung in der Direktsaatvariante auf dem Standort Dichtelbach war das völlige Fehlen irgendeiner lockernden Bodenbearbeitung. Das führte im Verlauf der Jahre auf dem relativ tonreichen Standort zu einer Verdichtung der Bodenoberfläche, durch die das Wasser nur noch im Bereich der Säschnitte eindringen kann (Abbildung 4-20). Auf dem Zuckerrüben-Standort in Wintersheim wird die Oberfläche zumindest beim Roden der Rüben alle drei Jahre gelockert und auf dem Standort am Rochusberg jährlich bei der Saatbettbereitung. Beides fehlt jedoch auf dem Standort Dichtelbach im Hunsrück. Dort werden lediglich Säschnitte hergestellt.

Auf dem relativ tonarmen Boden des Rochusbergs war die Situation allerdings umgekehrt. Hier infiltrierte das Wasser am schnellsten auf den Parzellen der Direktsaat (Abbildung 5-3 rechts). Allerdings war auch in den anderen Bodenbearbeitungsvarianten auf dem Rochusberg die Infiltrationsleistung sehr hoch, so dass in keiner Variante, auch nicht in der Pflugvariante, zu befürchten ist, dass Oberflächenabfluss auftritt.

### 5.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Nachdem das Niederschlagswasser in den Boden infiltriert ist, sickert es in tiefere Bodenschichten. Für den Gewässerschutz ist es deshalb wichtig, dass die Versickerung nicht durch einen Stauhorizont in der Unterkrume oder der Krumbasis verzögert wird, denn das könnte vor allem bei mit Wasser gesättigten Böden im Frühjahr leicht zu Oberflächenabfluss führen. Als Unterkrume wird hier der humose Boden in der Schicht unterhalb von 15 cm bis zur (ehemaligen) Pflugtiefe bezeichnet. Die Krumbasis ist die in der Regel wesentlich humusärmere, ca. 10 cm mächtige Bodenschicht direkt unterhalb der (ehemaligen) Pflugtiefe. Diese beiden Schichten (Unterkrume und Krumbasis) verdienen besondere Aufmerksamkeit. Die Unterkrume kann bei langjährig pflugloser Bodenbearbeitung nach und nach verdichtet werden, da sie einerseits durch das Befahren mit schweren Maschinen belastet, aber nicht wieder durch das Pflügen gelockert wird (Altemüller 1991, zitiert in Harrach 2010). Dabei ist allerdings nicht die höhere Lagerungsdichte der Unterkrume problematisch, sondern eine für die Wassersickerung schlechtere Porosität. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) ist ein geeigneter Kennwert, um eine Verschlechterung dieser Bodeneigenschaft anzuzeigen. Um repräsentative Ergebnisse zu erzielen, ist es dabei wichtig, an vielen Stellen des Versuchsfeldes Gruben für die Probenahme auszuheben und dann in den Gruben wiederum zahlreiche Stechringproben zu entnehmen. Auf dem Versuchsfeld "Am Galgenberg" der Fachhochschule Bingen wurden die Stechringproben in den Jahren 2005 bis 2007 im zeitigen Frühjahr jeweils im Jahr vor den Zuckerrüben in der Fruchtfolge aus 20 bis 25 cm Tiefe entnommen und die kf-Werte der Proben im Labor bestimmt. Auf jeder Parzelle wurden zwei Profilgruben hergestellt und aus jeder Grube wiederum 9 bis 10 Ringe entnommen und untersucht. Pro Jahr waren das für jede Variante fast 40 Stechringproben, die auf ihre gesättigte Wasserleitfähigkeit untersucht wurden.

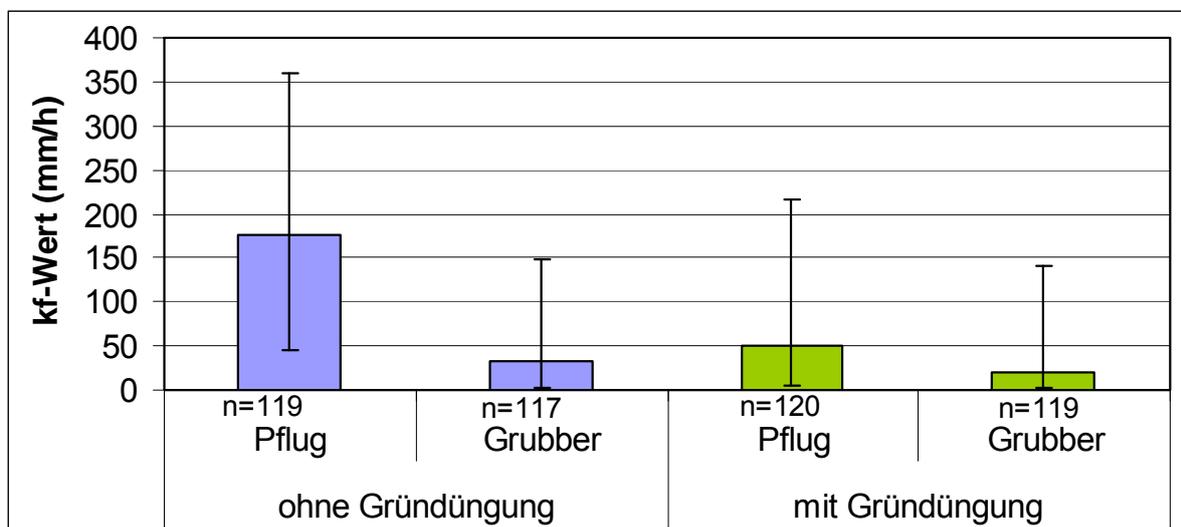
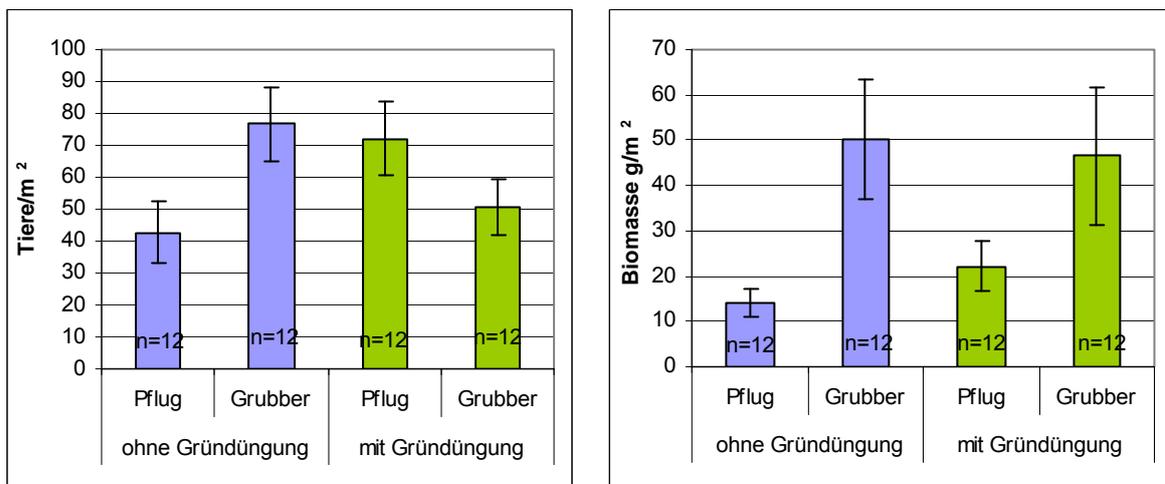


Abbildung 5-4: Gesättigte Wasserleitfähigkeit in der Unterkrume (20 bis 25 cm) des Versuchs Am Galgenberg bei Bingen; Median von n = 117 bis 120 Stechringproben je Variante; Balken = 75/25 % Quartile (Daten von Lanninger 2007).

Am höchsten war die Wasserleitfähigkeit in der Unterkrume der Pflugvariante auf den Flächen ohne Gründüngung und am geringsten bei der Grubbervariante mit Gründüngung (Abbildung 5-4). Die Streuung der einzelnen Messungen war beträchtlich, was dadurch zu erklären ist, dass mit einem einzelnen Stechring nur 25 cm<sup>2</sup> Fläche umfasst wird und es deshalb im Einzelfall darauf ankommt, ob an der Messposition große kontinuierliche Poren, insbesondere Regenwurmgänge, existieren oder nicht. Der Median ist für die Auswertung solcher Messungen deshalb besser geeignet als das arithmetrische Mittel. Er bezeichnet den kf-Wert, der bei vielen Messungen genau in der Mitte liegt: 50 % der Stechringe liefern höhere und 50 % niedrigere Messwerte.

Die fehlende Lockerung der Unterkrume auf den ohne Pflug bewirtschafteten Parzellen war also auf dem Standort Galgenberg nicht durch die Aktivität der Regenwürmer kompensiert worden. Das war eigentlich in der Variante mit Gründüngung erwartet worden, weil hier die Regenwürmer mehr Nahrung angeboten bekommen. Die Gründüngung wirkte sich allerdings nur in der Pflug- und nicht in der Grubbervariante positiv auf die Regenwurmbiomasse aus (Abbildung 5-5 rechts). Die Anzahl der Tiere war in der Grubber-Variante mit Gründüngung sogar geringer als ohne (Abbildung 5-5 links). Unabhängig von der Gründüngung waren auf den pfluglos bewirtschafteten Parzellen vor allem mehr große, tiefgrabende Tiere mit hoher Biomasse gefangen worden als auf den gepflügten Flächen (Appel und Petersen 2006). Die Aktivität dieser Tiefgräber hatte jedoch für die gesättigte Wasserleitfähigkeit in der Unterkrume offenbar nicht ausgereicht, den Verzicht auf das Pflügen vollständig zu kompensieren.



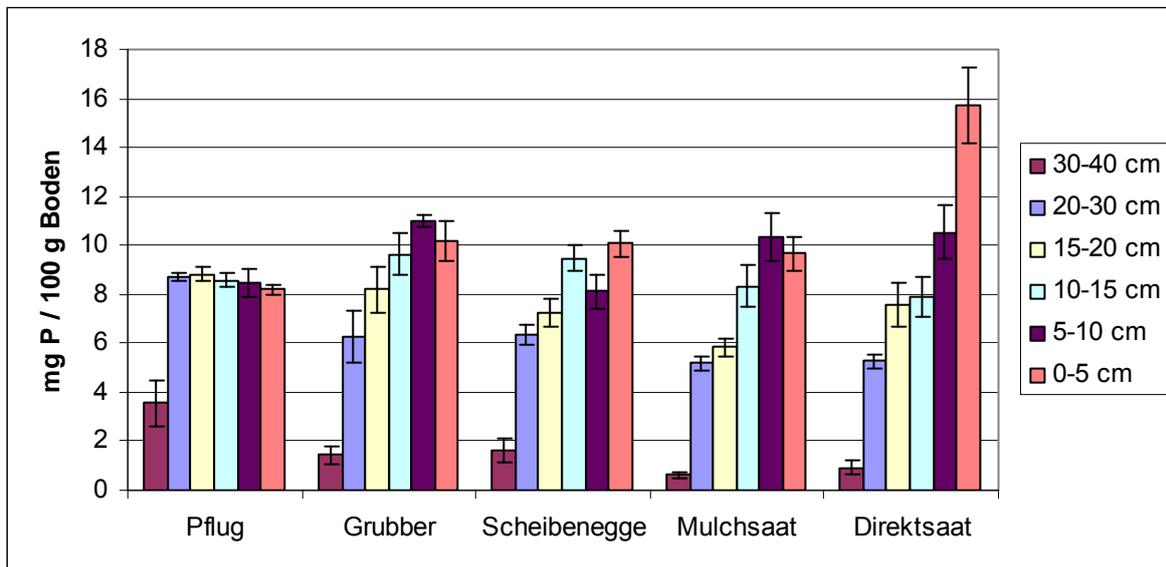
**Abbildung 5-5: Regenwurmabundanz (links) und Regenwurmbiomasse (rechts) im Boden des Versuchs Am Galgenberg bei Bingen; Mittelwerte von n = 12 Messstellen je Variante ± Standardfehler (Daten von Dix 2006)**

## 5.4 Verteilung der Nährstoffe im Bodenprofil

Wenn Pflanzenschutzmittel und -nährstoffe nicht in den Boden eingemischt werden, ist das für den Gewässerschutz prinzipiell kritisch zu bewerten. Mit der Zeit können sich die Stoffe in den oberflächennahen Bodenschichten anreichern und dann im ungünstigsten Fall von

Oberflächenabfluss und Erosion in die Vorfluter gespült werden. Das Einmischen der Stoffe in den Boden geschieht zum Beispiel durch die Bodenbearbeitung und durch die Aktivität von Bodentieren (Bioturbation), insbesondere durch die Regenwürmer. Lösliche Substanzen, wie z.B. Nitrat, werden auch mit dem Sickerwasser von der Oberfläche in die Krume und in tiefere Bodenhorizonte verlagert. Anders als Nitrat kommt das Phosphat im Boden nur in extrem geringer Konzentration in der Bodenlösung vor. Phosphat wird deshalb fast nicht mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert. Es eignet sich deshalb sehr gut dazu, anzuzeigen, wie intensiv die oberflächennahe Krume mit den tieferen Bodenschichten durch die Bodenbearbeitung und die Bioturbation vermischt wird. Exemplarisch werden hierzu im folgenden die Ergebnisse des Standortes Dichtelbach im Hunsrück dargestellt.

Nur noch sehr wenig Phosphat gelangt in die Schicht unterhalb von 30 cm. Das trifft für alle Varianten zu und belegt, dass Phosphor im Boden kaum durch das Sickerwasser in die Tiefe verlagert wird (Abbildung 5-6). In der Pflugvariante war das Phosphat gleichmäßig über die Krume 0 bis 30 cm verteilt. Mit Werten von 8,3 bis 8,7 mg P/100 g Boden (= 18,8 bis 20,2 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100 g) liegen die Werte in dieser Variante nach der Einteilung des Verbandes der Landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersuchungsanstalten (VDLUFA) an der Obergrenze des anzustrebenden Gehaltes (Gehaltsklasse C). In den anderen Varianten reicherte sich das mit einer Calcium-Acetat-Laktat-Lösung (CAL-Lösung) aus dem Boden extrahierbare Phosphat im oberen Teil der Krume an. Die Gehalte in der Unterkrume waren dagegen niedriger. Besonders extrem waren die Unterschiede in der Direktsaatvariante. Hier erreichten die Phosphorgehalte im obersten Horizont (0-5 cm) Werte von über 15 mg P/100 g Boden (> 34,4 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100 g). Diese Konzentration wird vom VDLUFA als "sehr hoch" bezeichnet (Gehaltsklasse E).



**Abbildung 5-6: Phosphor im Boden (mit der CAL-Methode extrahiert) in Abhängigkeit von der Probennahmetiefe und der Bodenbearbeitung auf dem Versuchsstandort in Dichtelbach im Hunsrück im Frühjahr 2009; Mittelwerte von n = 4 flächenrepräsentativ entnommenen Proben je Variante ± Standardfehler (Daten von Distler 2009)**

Für den Gewässerschutz bedeutet die Anreicherung von Phosphat in der oberflächennahen Krume ein Risiko. Das gilt vor allem dann, wenn wie auf dem Standort in Dichtelbach im Hunsrück die Infiltrationsleistung durch die langjährig unterlassene Bodenbearbeitung extrem vermindert wurde (Abbildung 5-3 mittig) und wegen der Hanglage des Standortes mit bei Starkregen oder bei Tauwetter nach Schneefällen mit Oberflächenabfluss zu rechnen ist. Phosphat aus der Landwirtschaft gilt für die Gewässer als wichtigster Nährstoff, der zu einer Eutrophierung (übermäßigen Nährstoffanreicherung) in den Binnengewässern führt. Für Pflanzenschutzmittel dürfte das Risiko für die Gewässer durch eine Direktsaat entsprechend zu bewerten sein, wenn sie eine gewisse Persistenz besitzen und an den Bodenpartikeln der Bodenoberfläche adsorbiert werden.

## 5.5 Fazit

Die Untersuchungen auf den fünf Standorten in Rheinland-Pfalz haben gezeigt, dass weder durch das Pflügen, noch durch eine pfluglose Bodenbearbeitung ein erhöhtes Risiko für die Gewässer besteht. Insofern geben die Untersuchungsergebnisse auch keinen Anlass, aus Gründen des Gewässerschutzes unbedingt auf pfluglose Bodenbearbeitung umzustellen.

Für den Gewässerschutz bedenklich kann es dagegen werden, wenn auf jegliche Bodenbearbeitung verzichtet wird (z.B. Direktsaat ohne Saatbettbereitung in Dichtelbach im Hunsrück), denn die langjährig, vollständig unterlassene Bodenbearbeitung kann zu drastisch geringerer Infiltrationsleistung und zu einer beachtlichen Anreicherung von CAL-löslichem Phosphat im oberflächennahen Boden führen. Dieses Ergebnis gibt Anlass dazu, aus Gründen des Gewässerschutzes zumindest eine oberflächliche, flache Bodenbearbeitung als gute fachliche Praxis im Ackerbau anzusehen.

## 5.6 Literatur

Appel, Thomas und Petersen, Jan (2006): Die Regenwürmer machen den Unterschied. Landwirtschaftliches Wochenblatt für Hessen und Rheinland-Pfalz, 29/2006, S. 14-17

Appel, Thomas; Berg, Volker und Laufer Ottmar (2008): Gefüge, Regenwurmabundanz und Nährstoffverteilung im Boden nach acht Jahren unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung auf einem rheinhessischen Zuckerrübenstandort. Vortrag am 4.3.2008 vor dem Ausschuss Ackerbau der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, [http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user\\_upload/Lehrende/Appel\\_Thomas/Weitere\\_Informationen/Vortraege/LWK\\_2007\\_Appel\\_et\\_al.pdf](http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user_upload/Lehrende/Appel_Thomas/Weitere_Informationen/Vortraege/LWK_2007_Appel_et_al.pdf) (abgerufen 26.4.2011)

Bischoff, Joachim (2008): Untersuchungen zur Regenverdaulichkeit verschiedener Böden. Vortrag am 26. November 2008, <http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=32599> (abgerufen am 26.4.2011)

- Blume, Hans-Peter; Deller, Berthold; Furtmann, Klaus; Leschber, Reimar; Paetz, Andreas; Willke; Berndt-Michael (2000): Handbuch der Bodenuntersuchung. Wiley-VCH, Weinheim
- Distler, Hannah-Rebecca (2009): Sequestrierung von Kohlenstoff und Verteilung von Pflanzennährstoffen im Boden in Abhängigkeit von der Intensität der Bodenbearbeitung, Bachelorarbeit an der Fachhochschule Bingen, [http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user\\_upload/Lehrende/Appel\\_Thomas/Weitere\\_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung\\_LWK\\_2009/Bachelorarbeit-Distler.pdf](http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user_upload/Lehrende/Appel_Thomas/Weitere_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung_LWK_2009/Bachelorarbeit-Distler.pdf) (abgerufen 26.4.2011)
- Dix, Heiko (2006): Regenwurmabundanz und -biomasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung auf einem Zuckerrübenstandort, Projektarbeit an der Fachhochschule Bingen
- Harrach, Tamas (2010): Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion durch reduzierte Bodenbearbeitung und Förderung der Regenwurmaktivität - Grundzüge eines Leitbildes "Anzustrebendes Bodengefüge", Berichte der DBG, <http://eprints.dbges.de/494/>
- Lanninger, Frank (2007): Bodenphysikalische Kennwerte unter dem Einfluss langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf einem Zuckerrübenstandort, Projektarbeit an der Fachhochschule Bingen
- Menge, Michael; Schmidt, Walter; Kreuter, Thomas und Marek Kornmann (2006): Bewertung der Vor- und Nachteile der konservierenden Bodenbearbeitung. In: Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Schriftenreihe der Thüringischen Landesregierung Heft 5/2006, S. 14-24.
- Vogt, Klaus (1999): Wasserwirtschaftliche Probleme mit der Pestizidbelastung von Oberflächengewässern. In: Pestizideinträge in Gewässer - Modellierung und Messung, Texte des Umweltbundesamtes 85/95, S. 4 - 16

# 6 BEDEUTUNG DER PFLUGLOSEN BODENBEARBEITUNG FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Thomas Appel, Fachhochschule Bingen

## 6.1 Einleitung

Im Hinblick auf die vom Menschen verursachten Klimaveränderungen sind in der Landwirtschaft vor allem die Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) im Gespräch. Besonders schädlich wirkt sich das Lachgas aus, weil es zum einen an der Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre beteiligt ist und zum zweiten, weil es ein besonders wirksames Treibhausgas ist. Ein Gramm Lachgas in der Atmosphäre hat eine etwa 300fach so große Treibhauswirkung wie die gleiche Menge CO<sub>2</sub>. Die Treibhauswirkung von einem Gramm Methan ist verglichen mit der gleichen Menge CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre immerhin noch etwa 25-mal so hoch. Welche Bedeutung die pfluglose Bodenbearbeitung für den Klimaschutz hat, hängt also vor allem davon ab, wie die Emission dieser Gase durch den Verzicht auf das Pflügen beeinflusst wird.

## 6.2 Methan

Methan entsteht im Boden erst bei sehr niedrigem Redoxpotenzial, also wenn alle anderen, leichter reduzierbaren Stoffe bereits reduziert wurden. Das ist zum Beispiel im Nassreisanbau unter bestimmten Umständen der Fall. Auf den Ackerstandorten in Rheinland-Pfalz spielen derart stark reduktive Bedingungen jedoch keine Rolle.

## 6.3 Lachgas

Im Gegensatz zu Methan kann die Bildung von Lachgas auf den Ackerstandorten in Rheinland-Pfalz nicht ignoriert werden. Lachgas entsteht im Boden vor allem durch Mikroorganismen, die im Boden organischer Substanz zersetzen. Dabei verbrauchen sie den in der Bodenluft und der Bodenlösung vorhandenen Sauerstoff. Bei ungenügendem Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre nimmt die Sauerstoffkonzentration besonders an den Stellen höchster mikrobieller Aktivität schnell ab. Viele Bakterien und Pilze können (anders als Menschen und Tiere), wenn für sie der Sauerstoff knapp wird, ihren Stoffwech-

sel so umstellen, dass sie statt Sauerstoff Nitrat zum Atmen verwenden. Dabei wird das Nitrat vor allem zu  $N_2$  und zu einem kleinen Teil auch in  $N_2O$  umgewandelt. Es wird angenommen, dass diese dissimilatorische Denitrifikation die wichtigste Quelle von Lachgas auf den Ackerstandorten darstellt. Daneben gibt es aber noch einige weitere mikrobielle Prozesse, bei denen im Boden Lachgas entstehen kann, beispielsweise auch im Zuge der Umwandlung von Ammonium zu Nitrat (Nitrifikation) im Boden. Wrage (2009) gibt einen Überblick über die vielfältigen mikrobiellen Vorgänge im Boden, die zur Bildung und zur Reduktion von Lachgas im Boden führen.

Ob und in welchem Umfang Lachgas im Boden entsteht, hängt demnach von sehr vielen Faktoren ab, wie z.B. der Feuchtigkeit, dem Vorhandensein von leicht abbaubarer organischer Substanz, der Beweglichkeit des Sauerstoffs und des Nitrats im Boden sowie von der Temperatur, die für die mikrobielle Aktivität ausschlaggebend ist. Wie eine pfluglose Bodenbearbeitung die Emission von Lachgas beeinflusst, ist deshalb nur sehr schwer einzuschätzen. Hinzu kommt, dass es auch messtechnisch schwierig ist, die Emission von Lachgas im Freiland zu quantifizieren.

Pfluglose Bewirtschaftung hat häufig eine höhere Lagerungsdichte des Bodens und mehr Feuchtigkeit im Boden zur Folge. Das beides zusammen könnte die Sauerstoffdiffusion im Boden, insbesondere im Inneren von größeren Bodenaggregaten, herabsetzen, wodurch die Denitrifikation und damit möglicherweise auch die Lachgasbildung gesteigert würden. Auf der anderen Seite wird bei flacher und bei nicht wendender Bodenbearbeitung nicht so viel leicht abbaubare organische Substanz in Form von Ernterückständen in die Unterkrume gemischt. Das könnte wiederum zu weniger dissimilatorischer Denitrifikation führen. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten ist es deshalb nicht verwunderlich, dass je nach Versuchsbedingungen, Mess- und Auswertungsmethode unterschiedliche Ergebnisse über den Einfluss einer pfluglosen Bodenbearbeitung auf die Lachgasemissionen berichtet werden. So fanden beispielsweise Lemke et al. (1999) in Alberta, Kanada, dass durch den Verzicht auf Bodenbearbeitung (Direktsaat) bis zu 4 kg N/ha weniger Lachgas freigesetzt wurde. Sie empfahlen deshalb sogar auf Direktsaat umzustellen, um das Klima zu schützen. Rochette (2008) bewertet die Direktsaat dagegen anders. Er wertete in einer Metastudie 25 Feldversuche verschiedener Autoren mit Daten von insgesamt etwa 45 Standort-Jahren aus. Demnach hatte die Umstellung von konventioneller Bodenbearbeitung auf Direktsaat in Kanada auf gut und mittelgut entwässerten Böden kaum einen Effekt auf die  $N_2O$ -Freisetzung. Auf überwiegend lehmigen und tonigen sowie auf schlecht drainierten Böden und vor allem auf Standorten mit humidem Klima ( $> 400 \text{ l/m}^2$  Jahresniederschlag) wurde dagegen durch die Umstellung auf Direktsaat meistens mehr Lachgas freigesetzt (bis zu 19 kg  $N_2O$ -N je ha und Jahr).

Eine generelle Aussage über die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Freisetzung von  $N_2O$  ist also unmöglich zu treffen, weil die Bildung und die Freisetzung des Lachgases von zu vielen Faktoren abhängen. Untersuchungen zur Lachgasemission in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung wurden auf den rheinland-pfälzischen Standorten bisher nicht durchgeführt.

## 6.4 Kohlenstoffdioxid

Im Boden sind gewaltige Mengen an Kohlenstoff in der organischen Substanz, dem Humus, gespeichert. Bei einem Abbau des Humus-Vorrats wird CO<sub>2</sub> freigesetzt und der Boden wird dadurch zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle, die den Treibhauseffekt verstärkt. Der Boden wird umgekehrt zu einer CO<sub>2</sub>-Senke, wenn der in ihm gespeicherte Vorrat an organischer Substanz zunimmt. Nieder und Richter (2000) untersuchten 120 Ackerschläge im südlichen Niedersachsen und fanden, dass durch die seit den 1970er Jahren vorgenommene Vertiefung der Ackerkrume von < 25 cm auf  $\geq$  35 cm bis zu 16 t C je ha in Lössböden von Marktfruchtbetrieben und sogar bis zu 26 t C je ha in sandigen Böden von Veredelungsbetrieben im Boden akkumuliert wurden. Sie kalkulierten für die 7,5 Mio. ha Ackerfläche in den alten Bundesländern, dass durch diese mit der Krumenvertiefung einher gegangene Vermehrung des Humusvorrates im Boden in der Zeit von 1970 bis 1998 jährlich etwa 310 bis 1100 kg C je ha festgelegt wurden. Das entspricht umgerechnet einer CO<sub>2</sub>-Vermeidung von 8,5 bis 30 Mio. t pro Jahr<sup>1</sup>. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik lagen in dieser Zeit bei knapp 800 Mio. jährlich (UPI 1994). Demnach wurden durch die Krumenvertiefung in einer Größenordnung von 1 bis 4 % der Westdeutschen CO<sub>2</sub>-Emission durch die Vermehrung des Humusvorrates neutralisiert.

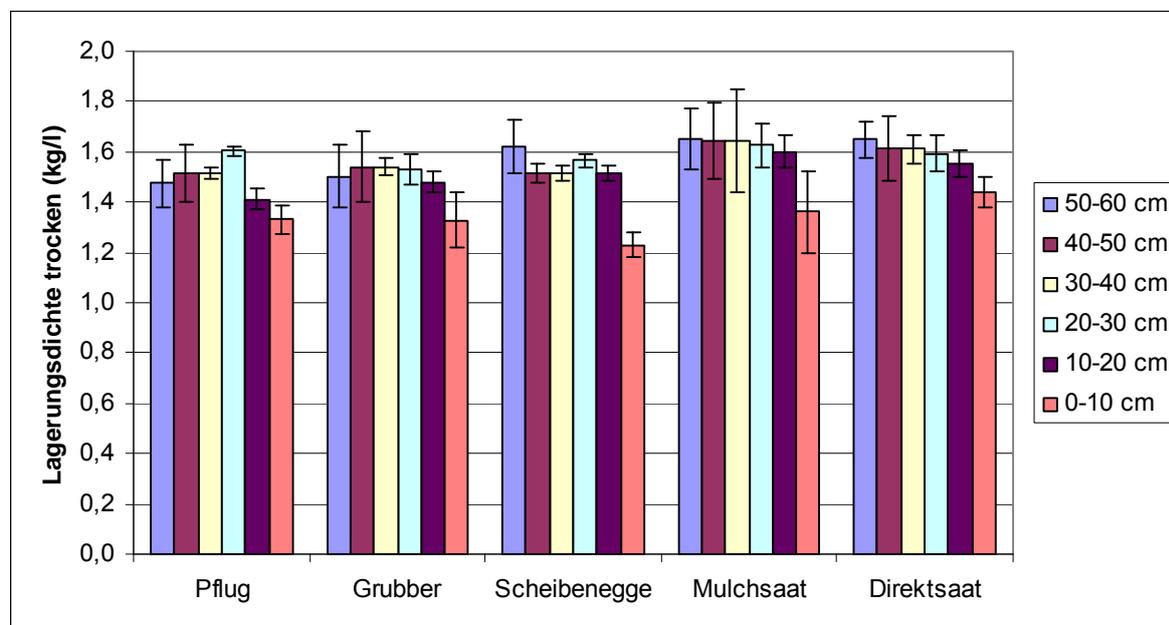
Führt nun ein Verzicht auf das Pflügen wieder zu einem Abbau des organisch gebundenen Kohlenstoffs? Verwandelt die Umstellung der ehemals bis auf 30 cm und tiefer gepflügten Böden auf pfluglose Bodenbearbeitung die Standorte von einer CO<sub>2</sub>-Senke in eine CO<sub>2</sub>-Quelle? Zumindest kurzfristig ist das kaum zu befürchten, weil der weit überwiegende Teil der organischen Substanz im Boden in Form von Huminstoffen vorliegt. Diese sind an Tonminerale adsorbiert und in den Bodenaggregaten okkludiert. Dadurch entstehen stabile Ton-Humus-Komplexe, die vor einem schnellen Abbau geschützt sind (Schneider et al. 2010). Langfristig könnte es allerdings durchaus zu einer Abnahme des Humusvorrats im unteren Teil der Ackerkrume kommen, wenn nach der Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung nur noch wenig organische Substanz in diese Bodenschicht eingemischt wird.

Allerdings hält sich unter Landwirten und Beratern hartnäckig die Meinung, dass eine weniger tiefe und weniger intensive Bodenbearbeitung als das krumentiefe Pflügen, mithin sogar der vollständige Verzicht auf eine Bodenbearbeitung, zu einem Anstieg des Humusvorrates führen würde. Während diese Meinung zurzeit noch in vielen Broschüren und Publikumszeitschriften zur pfluglosen Bodenbearbeitung verbreitet wird, sind in der wissenschaftlichen Literatur bereits seit einigen Jahren Zweifel angemeldet worden. Baker et al. (2007) analysierten die Daten von über 140 Bodenbearbeitungsversuchen in Nordamerika und stellten fest, dass in fast allen Fällen, in denen eine Zunahme des Humusvorrats konstatiert wurde, die Bodenproben nicht tiefer als 30 cm genommen wurden. In den wenigen Fällen, in denen tiefer beprobt worden war, war meistens das Gegenteil festgestellt worden. Die Autoren schließen daraus, dass die Meinung, reduzierte Bodenbearbeitung würde zur CO<sub>2</sub>-Festlegung im Boden beitragen, ein Artefakt der zu geringen Beprobungstiefe sei und sie warnen davor, die Öffentlichkeit mit diesem Argument des Klimaschutzes durch reduzierte Bodenbearbeitung zu täuschen.

---

<sup>1</sup>  $7,5 \text{ Mio. ha} \times 0,310 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \times 44/12 = 8,525 \text{ Mio t CO}_2 \text{ a}^{-1}$

Nicht nur die Tiefe der Probennahme, sondern auch, wie dabei in den meisten Fällen methodisch vorgegangen wird, führte zu dem weit verbreiteten Irrtum, dass reduzierte Bodenbearbeitung den Humusvorrat im Boden mehren würde. Zu diesem Ergebnis kommt Wuest (2008), der zeigte, dass mit einer signifikanten Fehleinschätzung (engl. Bias) der Messwerte zu rechnen ist, wenn sich die Böden in der Lagerungsdichte unterscheiden und die Untersuchungsergebnisse dann, wie es meistens üblich ist, auf die Entnahmetiefe und die Fläche bezogen werden.



**Abbildung 6-1: Lagerungsdichten des Bodens im Frühjahr 2008 auf dem Versuchstandort in Welschbillig in der Eifel in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefe; Mittelwerte von 8 bis 12 Stechringproben ± Standardabweichung (Daten von Bai 2009)**

Gerade bei Bodenbearbeitungsversuchen unterscheiden sich die Lagerungsdichten des Bodens beachtlich. Meistens lagern die nur flach bearbeiteten und nicht gepflügten Böden dichter als die gepflügten, wie am Beispiel des Versuchs in Welschbillig zu sehen ist (Abbildung 6-1). Um die Lagerungsdichte zu messen, wurden auf den Versuchsparzellen Schürfgurben gegraben (4 Gruben je Bearbeitungsvariante) und in Abständen von 10 cm bis in eine maximale Tiefe von 60 cm Stechringproben entnommen (Abbildung 6-2). Der Inhalt der Stechringe (je 100 cm<sup>3</sup> Boden in ungestörter Lagerung) wurde dann getrocknet und gewogen.

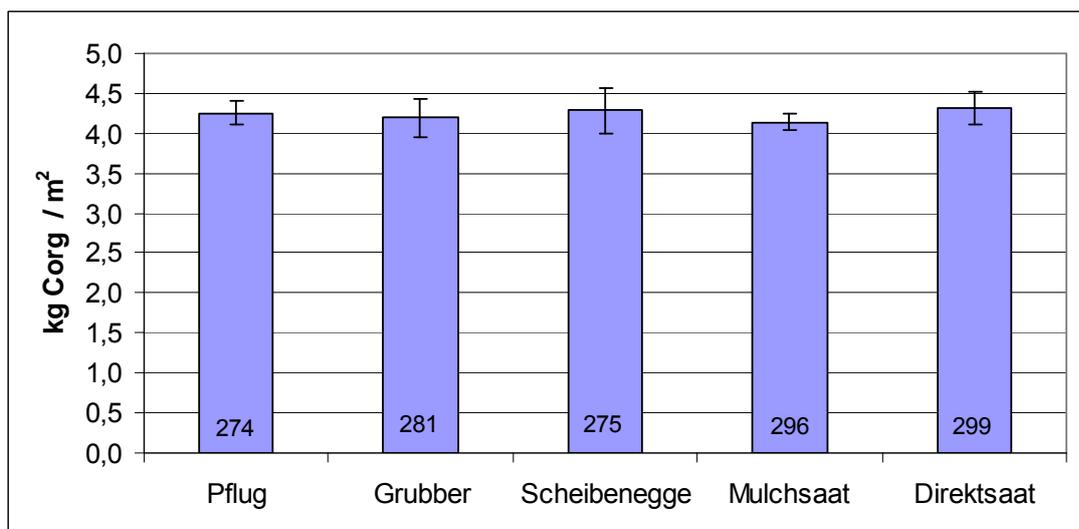
In allen Schichten, mit Ausnahme der Schicht 20-30 cm, lagerte der Boden in der Direktsaat- und der Mulchsaat-Variante dichter als in der Pflug-Variante (Abbildung 6-1). Die im Vergleich zu den anderen Schichten der Pflug-Variante dichte Lagerung in 20 bis 30 cm Tiefe ist vermutlich auf die Belastung der Krumbasis durch die in der Pflugfurche abrollenden Schlepperräder zurückzuführen (Pflugsohlenverdichtung). Auch in der Grubber- und der Mulchsaat-Variante lagerte der Boden im Mittel der Schichten dichter als in der Pflugvariante. Die Unterschiede sind besonders in der vom Pflug "verlassenen" Krume in 10 bis 20 cm Tiefe ausgeprägt.



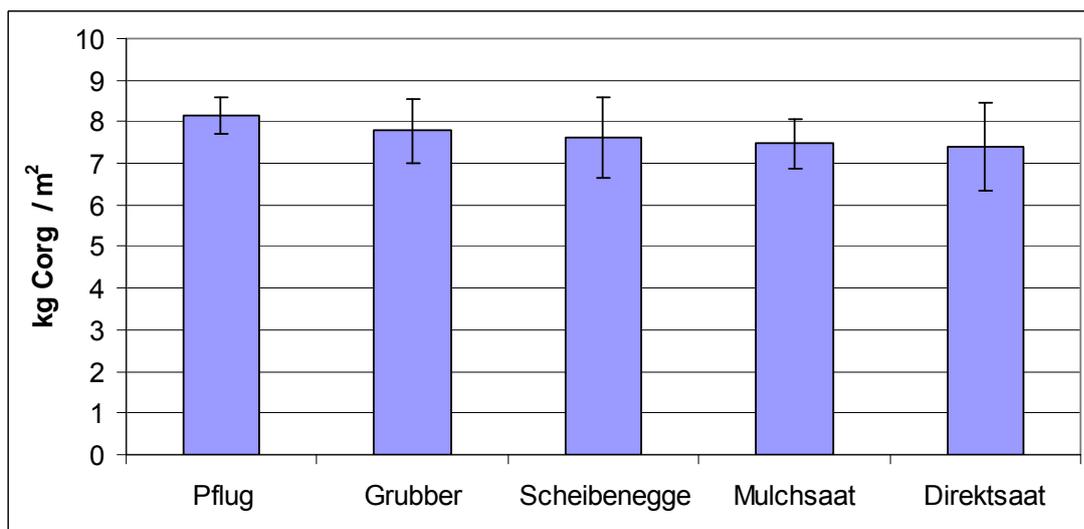
**Abbildung 6-2: Bodenprofil in Welschbillig im Frühjahr 2008 mit Stechringen in der Profilwand bis in eine Tiefe von 60 cm; massiver Kalkstein kommt im Unterboden zu Tage**

Für die Abschätzung des im Boden vorhandenen organischen Kohlenstoffs ist es deshalb unbedingt erforderlich, nicht nur die Krume, sondern - wie von Baker et al. (2008) gefordert - bis in den Unterboden hinein den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden zu messen. Zum zweiten ist es unbedingt erforderlich - wie von Wuest (2008) gefordert - die Analyseergebnisse auf die unter einer Flächeneinheit vorhandene Bodenmasse (und nicht auf eine bestimmte Tiefe) zu beziehen. Wird das nicht beachtet, wird der Vorrat an organischem Kohlenstoff in den pfluglos bewirtschafteten Flächen beachtlich überschätzt (Appel 2011).

Abbildung 6-3 zeigt die Ergebnisse, wenn die beiden oben genannten Erfordernisse ignoriert werden. Die Bodenbearbeitungsvarianten unterscheiden sich in dem Fall kaum im Vorrat an organischem Kohlenstoff (Corg) und der größte Corg-Vorrat in der Schicht 0-20 cm befindet sich im Boden der Direktsaat-Variante. Für die Bestimmung des Kohlenstoffvorrats waren in unmittelbarer Nähe der Schürfgruben, aus denen die Stechringproben gezogen worden waren, 4 bis 6 Bohrkern mit einem Rillenbohrer entnommen worden und mit der Lichterfelder-Methode die Corg-Konzentration in den einzelnen Bodenschichten analysiert worden. Die Corg-Konzentration multipliziert mit der Lagerungsdichte des trockenen Bodens ergibt den Corg-Vorrat in der jeweiligen Bodenschicht. Bei dieser Vorgehensweise werden allerdings in den Varianten unterschiedliche Bodenmengen berücksichtigt, bei kompakter Lagerung mehr als bei lockerer. Wird dagegen wesentlich tiefer beprobt (bis zu 60 cm tief) und außerdem die tiefste Schicht jeweils nur in dem Umfang in die Kalkulation einbezogen, dass bei allen Varianten die gleiche Boden-Trockenmasse je Flächeneinheit berücksichtigt wird, dann zeigt sich ein anderes Bild (Abbildung 6-4).



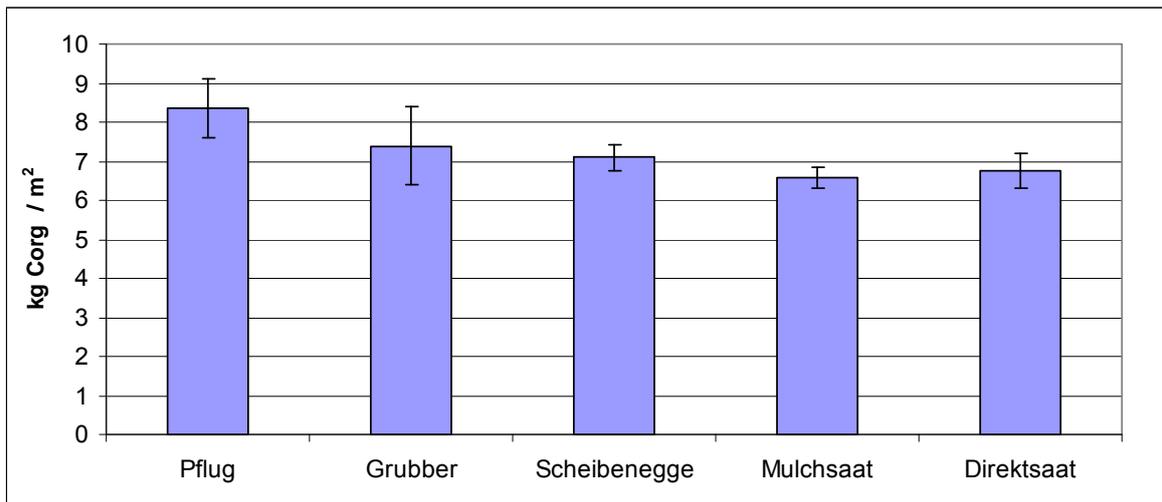
**Abbildung 6-3: Organischer Kohlenstoff im Boden bis in 20 cm Tiefe auf dem Versuchsstandort Welschbillig in der Eifel; Mittelwerte von n = 4 Schürfgruben je Variante ± Standardabweichung; die Zahlen in den Säulen stehen für die berücksichtigte Boden-Trockenmasse in kg/m<sup>2</sup>.**



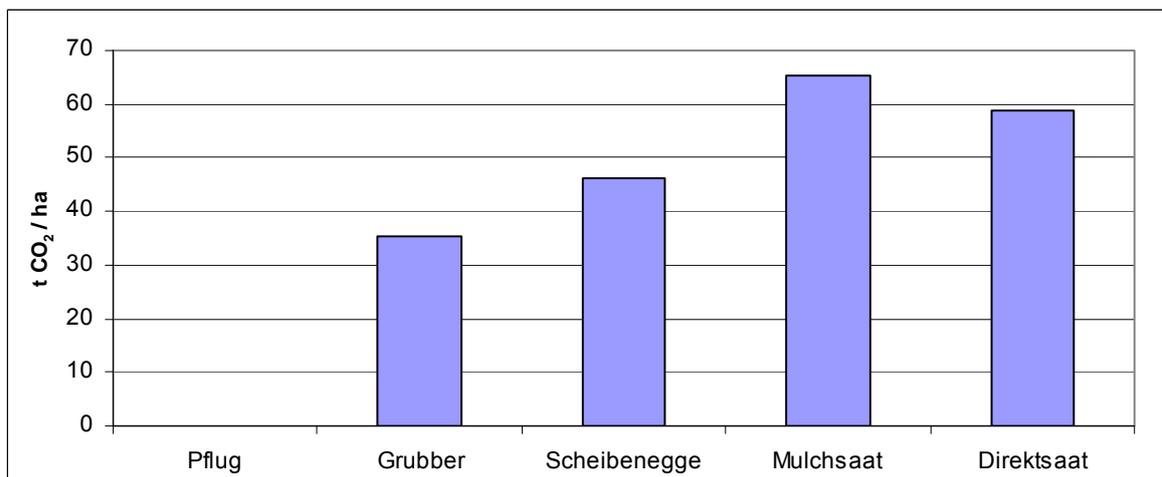
**Abbildung 6-4: Organischer Kohlenstoff im Boden bis zur Referenztiefe auf dem Versuchsstandort Welschbillig in der Eifel; Mittelwerte von n = 4 Schürfgruben je Variante ± Standardabweichung; die Referenztiefe ist jeweils so tief, dass 883 kg Boden-Trockenmasse /m<sup>2</sup> berücksichtigt werden; in der Pflugvariante beträgt die Referenztiefe im Mittel genau 60 cm**

Der Corg-Vorrat im Boden ist nun umso geringer, je weniger intensiv die Bodenbearbeitung. Wenngleich die Unterschiede zwischen den Varianten statistisch nicht signifikant sind, so ist der Trend dennoch eindeutig. Auf dem Versuchsstandort bei Dichtelbach im

Hunsrück ist der gleiche Trend sogar noch ausgeprägter zu sehen (Abbildung 6-5). Der Versuchsstandort in Wintersheim ist für die Untersuchung der Kohlenstofffestlegung nicht geeignet, weil dort im Zentrum des Versuchsfeldes degradierte Schwarzerden mit sehr viel organischem Kohlenstoff im Unterboden vorhanden sind (Appel 2010). Die Parzellen der Direktsaat- und die Mulchsaat-Variante liegen alle vier im Zentrum des Versuchsfeldes und damit überwiegend auf der degradierten Schwarzerde, während die Parzellen der Pflug-Variante beide außen liegen, wo der Bodentyp eine Pararendzina ist, die aufgrund ihrer Pedogenese nur sehr wenig Humus im Unterboden besitzt.



**Abbildung 6-5: Organischer Kohlenstoff im Boden bis zur Referenztiefe auf dem Versuchsstandort Dichtelbach/Hunsrück; Mittelwerte von n = 4 Schürfgaben je Variante ± Standardabweichung; die Referenztiefe ist jeweils so tief, dass 812 kg Boden-Trockenmasse pro m<sup>2</sup> berücksichtigt werden; in der Pflugvariante beträgt die Referenztiefe im Mittel genau 60 cm**



**Abbildung 6-6: CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Humusverlust auf dem Standort Dichtelbach im Verlauf von 9 Jahren infolge der Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung**

Die Unterschiede zwischen den Varianten mögen auf den ersten Blick gering erscheinen und sie sind pflanzenbaulich wohl auch nicht von großer Bedeutung. Dennoch beträgt der Unterschied zwischen Pflug- und Direktsaat-Variante beispielsweise in Welschbillig immerhin 717 g/m<sup>2</sup> (Abbildung 6-4) und bei dem Versuch in Dichtelbach sogar 1606 g/m<sup>2</sup> (Abbildung 6-5). Umgerechnet auf einen ha entspricht der Verlust an organischer Substanz durch die Umstellung auf Direktsaat in Dichtelbach einer CO<sub>2</sub>-Emission von 58,9 t CO<sub>2</sub> / ha (Abbildung 6-6). Um diese Menge beispielsweise durch Installation einer Fotovoltaikanlage wieder einzusparen, entstehen bei angenommenen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von 800 EUR/t CO<sub>2</sub> Ausgaben in Höhe von 47.120 EUR/ha. Dieses Rechenbeispiel soll die Relevanz der möglicherweise als gering empfundenen Differenzen im Corg-Vorrat des Bodens relativieren.

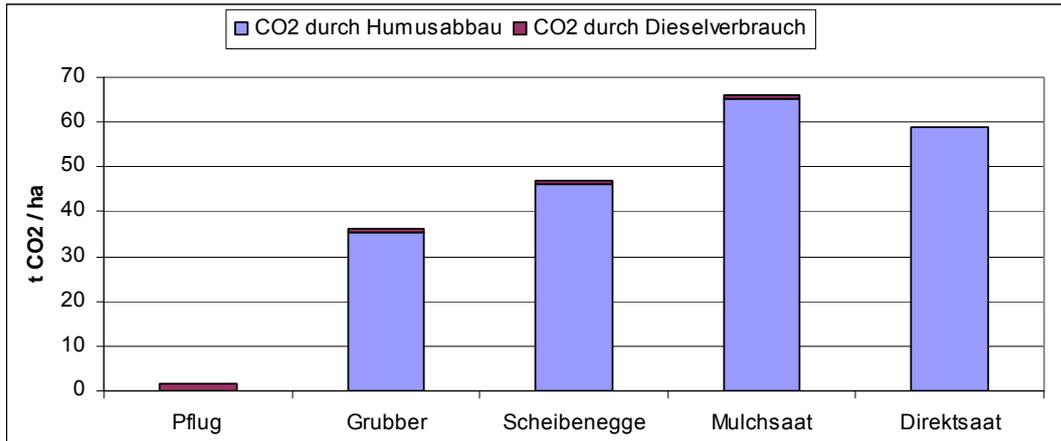
Was kann der Grund für den Verlust an organischer Substanz im Boden nach der Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung in Dichtelbach und in Welschbillig gewesen sein? Vermutlich hat die Ursache nur mittelbar etwas mit der Bodenbearbeitung zu tun. Sowohl in Welschbillig, besonders aber in Dichtelbach waren die Pflanzenerträge der pfluglos bewirtschafteten Parzellen über die Jahre kumuliert geringer als auf den gepflügten (Abbildung 4-17 und Abbildung 4-21). Weniger Aufwuchs bedeutet in der Regel auch weniger Wurzelmasse, weniger Rhizodeposition und weniger Ernterückstände, die auf dem Feld verbleiben. In der Summe war auf diesen Standorten also vermutlich der organische Input in den Boden auf den pfluglos bewirtschafteten Parzellen geringer als auf den gepflügten.

Beim Pflügen ist der Zugkraftbedarf besonders hoch. Deshalb wird bei dieser Art der Bodenbearbeitung mehr Dieseltreibstoff verbraucht als für die Varianten der pfluglosen Bodenbearbeitung. Es stellt sich die Frage, ob diese Einsparung nicht vielleicht die CO<sub>2</sub>-Emission kompensiert, die infolge des Abbaus der organischen Substanz auftreten kann?

**Tabelle 6-1: Dieserverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emission durch den Treibstoff in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung**

<b>Bodenbearbeitung</b>	<b>Dieserverbrauch (l/ha) <sup>c)</sup></b>	<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalenz (kg/ha) <sup>a) und b)</sup></b>
Pflug	51,0	159,46
Mulchsaat mit Lockerung	31,6	98,80
Mulchsaat ohne Lockerung	21,4	66,91
Direktsaat	5,6	17,51

a) 1 kg Diesel entspricht 3767 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent; b) 1 l Diesel wiegt 0,83 kg; c) nach Sattler (2006)



**Abbildung 6-7: CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Humusverlust und durch den Dieserverbrauch für die Bodenbearbeitung auf dem Standort in Dichtelbach im Verlauf von 9 Jahren infolge der Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung**

Mit den Angaben zum Treibstoffverbrauch aus Tabelle 6-1 wurden die Emissionen durch den Verbrauch von Diesel für die fünf Bodenbearbeitungsvarianten kalkuliert und den CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus dem Humusabbau im Vergleich zur Pflugvariante entstehen, hinzugefügt (Abbildung 6-7). Es wird deutlich, dass die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Treibstoffverbrauch in Relation zur CO<sub>2</sub>-Emission aus dem Abbau der organischen Substanz völlig unbedeutend ist.

## 6.5 Fazit

Die pfluglose Bodenbearbeitung dient nicht dem Klimaschutz. Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus den Überlegungen zur Emission von Lachgas und Methan sowie aus den Untersuchungen zum organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden. Die Meinung von Baker et al. (2008) zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Gehalt organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden wurde durch die Messergebnisse auf den rheinland-pfälzischen Versuchsstandorten bestätigt.

Es mag gute Gründe für die Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung geben, wie zum Beispiel geringere Arbeiterledigungskosten, höhere Schlagkraft und Fortschritte beim Erosionsschutz. Der Klimaschutz sollte jedoch nach den Erkenntnissen der letzten Jahre nicht mehr zu den Argumenten zählen.

## 6.6 Literatur

- Appel (2010): Projektbericht Bodenbearbeitungsversuch Wintersheim 2010. [http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user\\_upload/Lehrende/Appel\\_Thomas/Weitere\\_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung\\_LWK\\_2010/Projektbericht\\_LWK\\_2010\\_Vers\\_2011\\_01\\_24.pdf](http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user_upload/Lehrende/Appel_Thomas/Weitere_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung_LWK_2010/Projektbericht_LWK_2010_Vers_2011_01_24.pdf) (Abruf 28.4.2011)
- Appel (2011): Weniger Kohlenstoff im Boden nach langjährig pflugloser Bodenbearbeitung. Berichte der DBG, <http://eprints.dbges.de/596/>
- Bai Mo (2009): Carbon Sequestration in an arable soil as related to the tillage intensity - Evaluation of a field experiment in southwest Germany after 9 years of different tillage practices. [http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user\\_upload/Lehrende/Appel\\_Thomas/Weitere\\_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung\\_LWK\\_2008/Masterarbeit\\_Mo\\_Bai.pdf](http://www.fh-bingen.de/fileadmin/user_upload/Lehrende/Appel_Thomas/Weitere_Informationen/Forschungsprojekte/Bodenbearbeitung_LWK_2008/Masterarbeit_Mo_Bai.pdf)
- Baker, John M.; Ochsner, Tyson E.; Venterea, Rodney T. and Griffis, Timothy J. (2007): Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 1-5
- Lemke, Reynald .L.; Izaurrealde, Roberto Cesar, Nyborg, Marvin and Solberg, E.D. (1999): Tillage and N source influence soil-emitted nitrous oxide in the Alberta Parkland region. *Canadian Journal of Soil Science* 79, 15-24
- Nieder, Rolf und Richter, Jörg (2000): C and N accumulation in arable soils of West Germany and its influence on the environment - Developments 1970 to 1998. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 65-72
- Rochette, Philippe (2008): No-till only increases N<sub>2</sub>O emissions in poorly-aerated soils. *Soil and Tillage Research* 101, 97-100
- Sattler, Michael (2006): Biomasse vom Feld aus neuen Bio-Landbaumethoden - Potenzialstudie in der Region Nordwestschweiz. Onlinepublikation des Ökozentrums Langenbruck, [http://www.oekozentrum.ch/files/biomasse\\_potenzialstudie.pdf](http://www.oekozentrum.ch/files/biomasse_potenzialstudie.pdf) (abgerufen am 28.4.2011)
- Schneider, M.P.W.; Scheel, T.; Mikutta, R.; van Hees, P.; Kaiser, K.; Kalbitz, K. (2010): Sorptive stabilization of organic matter by amorphous Al hydroxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 1606-1619
- UPI (1994): CO<sub>2</sub>-Bilanz der Bundesrepublik Deutschland. Umwelt- und Prognose-Institut e.V. (Hrsg.), UPI-Bericht 33, <http://www.upi-institut.de/upi33.htm> (Abruf 27.4.2011)
- Wrage, Nicole (2009): Grünland als Quelle und Senke für N<sub>2</sub>O. In: C. Berendonk und G. Riehl (Hrsg.) *Futterbau und Klimawandel: Grünlandbewirtschaftung als Senke und Quelle für Treibhausgase*, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 19, 47 - 52
- Wuest, Stewart (2009): Correction of bulk density and sampling method biases using soil mass per unit area. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 312-316

# 7 BEDEUTUNG DER PFLUGLOSEN BODENBEARBEITUNG FÜR DEN BODENSCHUTZ

Raimund Schneider, Universität Trier

## 7.1 Einleitung

Bodenbearbeitung ist primär ein mechanischer Eingriff in den Boden zum Zwecke der Bodenlockerung und Saatbettbereitung. Durch unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme wird der Boden in verschiedener Intensität und Tiefe verändert. Die konventionelle Bodenbearbeitung mit der Pflugarbeit in der Pflugfurche führt einerseits zu einer intensiven Auflockerung und Durchmischung der Ackerkrume sowie einem Vergraben unerwünschter Ackerunkräuter, um den Unkrautdruck zu reduzieren. Andererseits jedoch ist das konventionelle Pflügen aus mechanischer und biologischer Sicht als sehr belastendes Verfahren anzusehen. Viele Regenwürmer werden beim Pflügen verletzt oder getötet, wertvolle, kontinuierliche und vielfach tiefreichende röhrenförmige Hohlräume werden zerstört und an der Krumbasis zugeschmiert bzw. gekappt. Das in der Furche laufende Schlepperrad übt wegen der Schlepperneigung in die Furche und dem großen Zugkraftbedarf eine sehr hohe mechanische, wiederkehrende Belastung auf die Krumbasis sowie den tieferen Unterboden aus. Als Folge dieser intensiven mechanischen Be- bzw. Überlastung des Bodens finden sich verbreitet Schadverdichtungen, so genannte Krumbasisverdichtungen bzw. Pflug- oder Schlepperradsohlenverdichtungen und tiefreichendere Unterbodenverdichtungen.

Laut Bundesbodenschutzgesetz sind Schadverdichtungen im Boden durch Anwendung der "Guten fachlichen Praxis - gfp" zu vermeiden bzw. so weit als möglich zu reduzieren und gegebenenfalls zu beheben. In diesem Kontext steht auch die Diskussion um bodenschonende Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft, wozu in besonderem Maße die pfluglose, reduzierte Bodenbearbeitung und die Direktsaat zählen. Wenn auch deren Auswirkungen auf den Boden in Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat und Klima bis zum heutigen Tag kontrovers diskutiert werden, finden pfluglose Verfahren zunehmend Befürwortung und Anwendung. Weitere positive Effekte z.B. für die Reduzierung des Oberflächenabflusses, den Hochwasser- und Erosionsschutz sind heute allgemein anerkannt. Damit ist von der pfluglosen Bodenbearbeitung auch eine puffernde Wirkung möglicher nachteiliger Veränderungen im Zuge des Klimawandels zu erwarten (verstärkte Sommerniederschläge, mehr Niederschlag im Winterhalbjahr etc.).

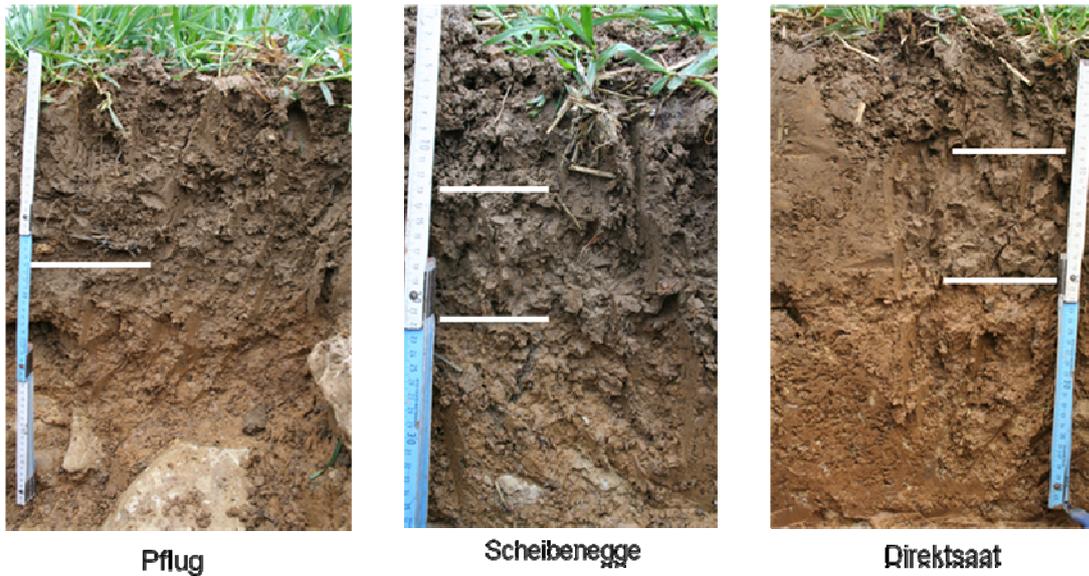
Bei reduzierter Bodenbearbeitung und der Direktsaat fährt der Schlepper im Normalfall auf der Bodenoberfläche und der Zugkraftbedarf ist in der Regel deutlich geringer als bei der Grundbodenbearbeitung mit mehrschichtigen Pflügen. Dadurch wird die mechanische Belastung verringert und auch die Krume selbst trägt schon zum Abbau der Druckbelastung bei, wodurch die Gefahr für Unterboden-Schadverdichtungen verringert wird. Gleichzeitig wird durch eine etwas kompakter lagernde, nicht mehr bearbeitete Unterkrume die mechanische Tragfähigkeit der Böden erhöht, was ebenfalls eine Schutzfunktion für den Unterboden bewirkt. Dies ist für den Pflanzenstandort insgesamt jedoch nur solange als positiv zu werten, wie die weiteren wichtigen Bodenfunktionen trotz Erhöhung der Bodendichte gewährleistet sind.

Um diesen Fragen nachzugehen, wurden von der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz im Jahre 1998 drei Dauerbeobachtungsflächen mit fünf Bearbeitungsvarianten (Pflug, Grubber, Egge, Mulch- u. Direktsaat) eingerichtet, die sich hinsichtlich Boden, Substrat und Klima merklich unterscheiden. Die Versuchsflächen liegen bei Welschbillig in der Eifel, Dichtelbach im Hunsrück und Wintersheim in Rheinhessen. Detaillierte Angaben zu Versuchsflächen und Versuchsaufbau finden sich in Kapitel 4 dieser Broschüre. Nachfolgend werden die Befunde dieser Versuchsflächen zum Vergleich der Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug vorgestellt. Ergänzt werden die Ausführungen noch durch Einbeziehung von Befunden Dritter zu hier nicht untersuchten Aspekten.

## 7.2 Bodengefüge bzw. Bodenstruktur

Schon mit einem einfachen Spatentest sind die Bearbeitungsunterschiede feststellbar. Deutlich kann anhand der Schwere der Grabarbeit zwischen den verschiedenen bzw. der fehlenden Bodenbearbeitung unterschieden werden. Der gepflügte Boden kann ohne größere Kraftanstrengung spatentief (bis ca. 30 cm) aufgegraben werden. An der Untergrenze der Ackerkrume stößt man dann auf einen deutlichen Widerstand, der ein tieferes Graben stark erschwert. Bei den reduziert bearbeiteten Flächen macht sich hingegen schon nach einer halben Spatentiefe (ca. 15 cm) ein merklich erhöhter Widerstand in der Unterkrume bemerkbar. Unterhalb der Krume steigt der Kraftbedarf für die Grabarbeit nochmals deutlich an, vergleichbar dem gepflügten Boden. Die Direktsaatflächen unterscheiden sich hinsichtlich des Spatentests grundsätzlich von den anderen Varianten, da hier aufgrund der fehlenden Bodenlockerung der erste Spatenstich schon an der Oberfläche auf erheblichen Widerstand stößt.

Diese spürbaren Unterschiede sind auch mit dem bloßen Auge an mit dem Spaten entnommenem Boden und noch besser an der Profilwand einer Bodengrube an der teilweise sehr verschiedenen Bodenstruktur (auch Bodengefüge genannt) gut zu erkennen (Abbildung 7-1).



**Abbildung 7-1: Bodenstruktur bzw. Bodengefüge der drei Bodenbearbeitungsintensitäten am Beispiel des Standortes Welschbillig**

Idealerweise sollte in der Ackerkrume das so genannte Krümelgefüge dominieren. Bei den Krümeln handelt es sich um kleine, rundliche, sehr poröse Bodenaggregate. Diese entstehen durch intensive biologische Aktivität, wobei mineralisches und organisches Bodenmaterial intensiv miteinander vermischt wird. Bei lockerer Lagerung im unverdichteten Zustand ergibt sich ein großes Potenzial für pflanzenverfügbares Wasser und Nährstoffangebot, weshalb ein krümeliger Oberboden ein hervorragendes Medium für das Wurzelwachstum, die Nährstoff- und Wasseraufnahme durch die Pflanzen und damit für ein günstiges Pflanzenwachstum generell darstellt.

Der gepflügte Bodenbereich (Abbildung 7-1 links) ist insgesamt einheitlich strukturiert sowie relativ locker und porös gelagert. Bröckel- und Klumpengefüge dominieren. Auch Krümel treten auf. Nur bei den Pflugvarianten fanden sich bearbeitungsbedingt vermehrt Reste von unzersetztem Stroh in Nesterform oder teilweise mit mattenartiger Ausdehnung blauschwarzen Verfärbungen und fauligem Geruch (siehe Abbildung 7-2).



**Abbildung 7-2: Vergrabenes, unzersetztes Stroh in der Pflugvariante im Frühjahr**

Bei reduzierter Bodenbearbeitung (Abbildung 7-1 Mitte) ist eine deutliche Zweiteilung der Ackerkrume in eine locker und porös gelagerte Oberkrume mit vorwiegend Krümelgefüge und eine kompakter gelagert Unterkrume mit gröberer Strukturierung zu erkennen. Der unbearbeitete Oberboden der Direktsaatvariante lagert insgesamt dichter (Abbildung 7-1 rechts). Nur die obersten Zentimeter erscheinen etwas poröser. Anders als bei den vorgenannten Varianten sind hier, ebenso wie in der Mulchvariante jedoch vermehrt Regenwurmrohren im gesamten Krumbereich (Abbildung 7-3 links) und auch im Unterboden zu finden (Abbildung 7-3 rechts). Diese kontinuierlichen, röhrenförmigen Hohlräume fördern die Durchwurzelung, Belüftung und Wasserdurchlässigkeit bis in den tieferen Unterboden.



**Abbildung 7-3: Regenwürmer und Regenwurmrohren in der Krume (links) und im Unterboden (rechts) der Direktsaat- und Mulchvariante**

### 7.3 Bodenphysikalische Eigenschaften und Funktionen

Günstige physikalische Eigenschaften eines Bodens sind von zentraler Bedeutung für einen nachhaltig funktionstüchtigen sowie ertragreichen und ertragssicheren Ackerstandort. Ist ein Boden schadverdichtet, d.h. wichtige Bodenfunktionen (z.B. Durchwurzelbarkeit, Wasseraufnahme und -durchlässigkeit, Wasserspeicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser) sind beeinträchtigt oder stark gestört, leidet darunter die Ertragsfähigkeit erheblich. Auch ein erhöhter Düngeraufwand kann dabei kaum eine oder keine Verbesserung der Standortqualität für Pflanzenwachstum bewirken. Die ungünstigen bodenphysikalischen Eigenschaften wirken dann dauerhaft ertragslimitierend.

Um die bodenphysikalischen Eigenschaften der drei Versuchsfelder in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten zu untersuchen, wurden unter anderem so genannte ungestörte Stechzylinderproben entnommen (Abbildung 7-4), an denen relevante Kennwerte wie Bodendichte, Gesamthohlraumvolumen, Porengrößenverteilung, Leitfähigkeit für Wasser und Luft sowie Eindringwiderstand im Labor ermittelt wurden. Ergänzend wurde im Gelände direkt die Fähigkeit des Bodens zur Regenwasseraufnahme an der Bodenoberfläche mittels so genannter Infiltrationsmessungen erfasst (Abbildung 7-5).



**Abbildung 7-4: Probenahme mit Stechzylindern für bodenphysikalische Laboruntersuchungen am Standort Welschbillig**



**Abbildung 7-5: Messung der Wasseraufnahmefähigkeit an der Bodenoberfläche mit Doppelringinfiltrometern am Standort Welschbillig**

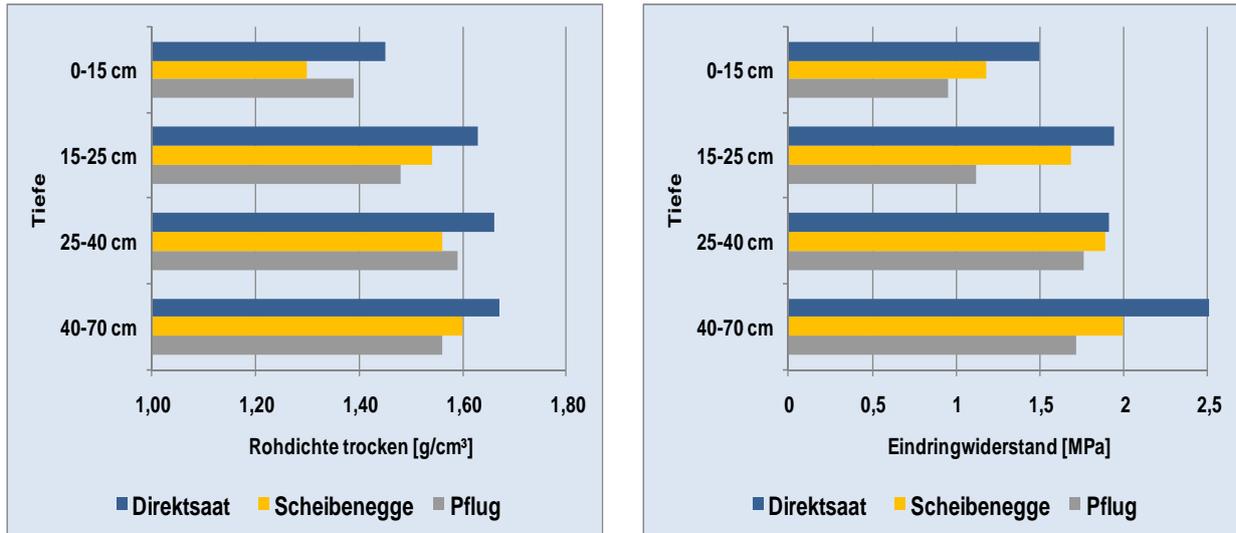
Bei den nachfolgend vorgestellten Daten der drei Versuchsflächen handelt es sich um Mittelwerte von 4 Teilflächen je Versuchsvariante. Da es im Rahmen vorliegender Informationsschrift weder zweckdienlich, noch möglich ist, alle ermittelten bodenphysikalischen Kennwertdaten aller drei Standorte darzustellen und zu kommentieren, werden die wichtigsten Sachverhalte anhand exemplarischer Daten eines oder mehrerer Versuchsflächen erläutert.

### **Bodendichte und Eindringwiderstand**

Die Bodendichte ist ein allgemein gut nachvollziehbarer Kennwert, da es sich nur um das einfache Verhältnis von Masse an Boden und dem zugehörigen Volumen handelt (Bsp.: Wie viel trockene Bodenmasse befindet sich im Stechzylinder). Vielfach kann man davon ausgehen, dass sich mit steigender Bodendichte, ab einer gewissen Größenordnung, die restlichen bodenphysikalischen Standorteigenschaften tendenziell verschlechtern.

An den Standorten Welschbillig und Dichtelbach steigt die Bodendichte mit zunehmender Bodentiefe an (Abbildung 7-6 und Abbildung 7-7), was für viele Böden typisch ist, deren Substrate vor Jahrtausenden auf natürlichem Wege an Hängen umgelagert und dabei ver-

dichtet wurden. Damit einher geht erwartungsgemäß eine Zunahme der gemessenen Eindringwiderstände. Je dichter der Boden ist, desto schwerer haben es die Wurzeln sich den Bodenraum zu erschließen. Werte größer als 2,5-3 MPa, wie sie in den Unterböden von Welschbillig und Dichtelbach gemessen wurden, sind dabei schon als grenzwertig anzusehen. Am Standort Wintersheim finden sich umgekehrt die höchsten Bodendichten im Oberboden und der Unterboden ist weniger dicht (Abbildung 7-8). Das schluffige Lössmaterial im Unterboden ist hier aufgrund der Ablagerungsbedingungen relativ locker gelagert, während dieses verdichtungsanfällige Schluffsubstrat im Oberboden eine bewirtschaftungsbedingte Verdichtung erfahren hat. Entsprechend finden sich die höchsten Eindringwiderstandswerte im Oberboden.



**Abbildung 7-6: Bodendichte und Eindringwiderstand am Standort Welschbillig**

Hinsichtlich des Einflusses der Bodenbearbeitung auf die Bodendichte und den Eindringwiderstand zeigen sich deutliche varianten- und standortsbezogene Unterschiede. Auf den lehmigeren, zur Staunässe neigenden Böden der Standorte Welschbillig und Dichtelbach manifestiert sich die tiefer lockernde Wirkung der Pflugarbeit in den ersten beiden Tiefenstufen (0-15 cm = Oberkrume und 15-25 cm = Unterkrume) durch die jeweils durchschnittlich niedrigsten Dichte- und Widerstandswerte. Die fehlende Bodenbearbeitung führt bei der Direktsaat zu den ungünstigsten Werten. Auch die flache, reduzierte Bodenbearbeitung ist aus den Daten deutlich ablesbar. Während die Werte in der ersten Tiefe denen der Pflugvariante ähnlich sind, steigen sie in der Unterkrume merklich an. Die verdichtende Wirkung auf den Unterboden durch das Fahren in der Furche beim konventionellen Pflügen zeichnet sich nur beim druckbelastungsempfindlichen, schluffreichen Boden in Wintersheim in der dritten Bodentiefe (25-40 cm = Krumbasis) unmittelbar unter der Bearbeitungsgrenze ab.

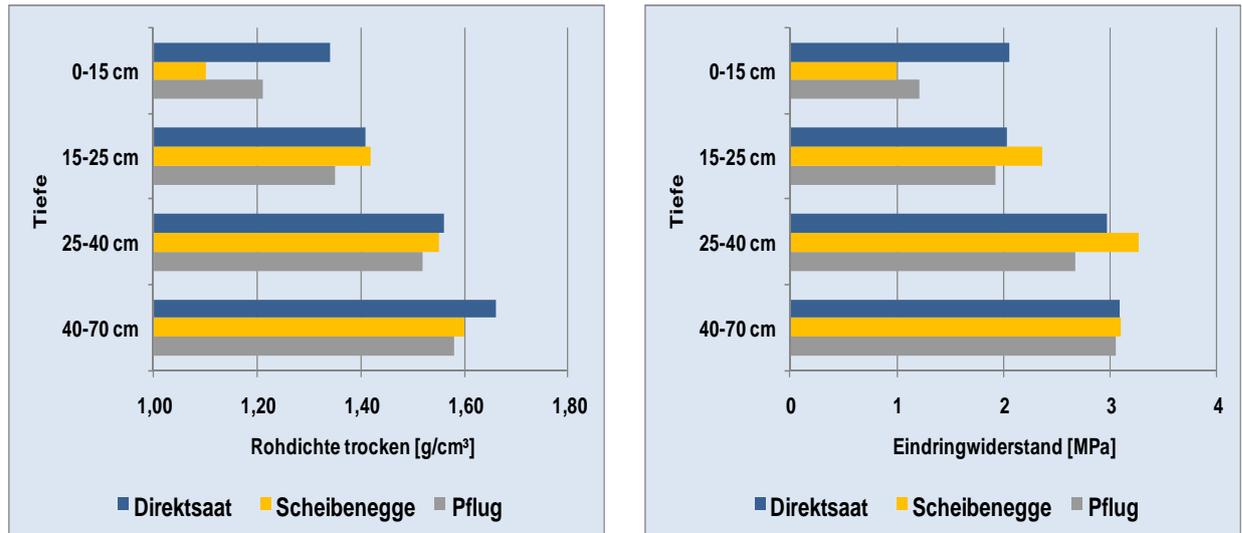


Abbildung 7-7: Bodendichte und Eindringwiderstand am Standort Dichtelbach

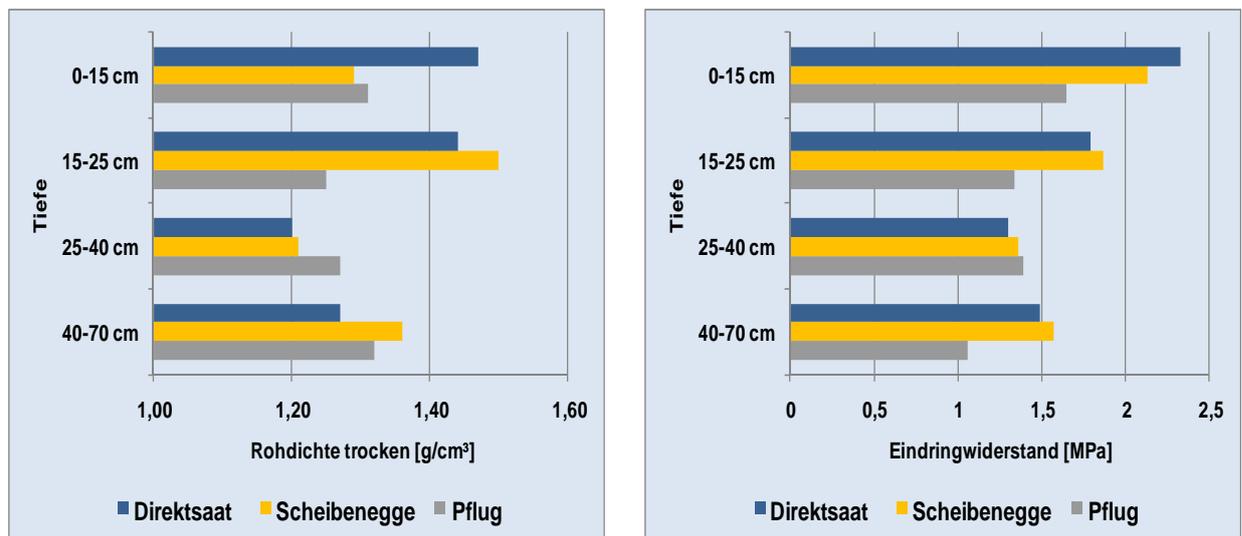


Abbildung 7-8: Bodendichte und Eindringwiderstand am Standort Wintersheim

### Schnell dränende Grobporen und Wasserleitfähigkeit

Die weiten Grobporen werden auch als schnell dränende Grobporen oder Luftkapazität bezeichnet, was schon verdeutlicht, dass Wasserbewegung und Lufthaushalt in den Böden maßgeblich von ihrem Vorhandensein und deren Menge gesteuert werden.

In den gepflügten Bodenbereichen sind erwartungsgemäß meist bei vergleichsweise geringer Bodendichte viele Grobporen vorhanden, die eine hohe Wasserleitfähigkeit gewährleisten (Abbildung 7-9 und Abbildung 7-10). Bei pflugloser Bodenbearbeitung und besonders bei der Direktsaatvariante werden die positiven Auswirkungen auf das Bodenleben sichtbar. Trotz höherer Bodendichte und teilweise geringeren Grobporenanteilen ist eine ausreichende bis gute Wasserdurchlässigkeit auf der Basis biogener Porung vorhanden. In

den Unterböden verschieben sich die Verhältnisse aufgrund der biogenen und kontinuierlichen Durchporung sogar deutlich zugunsten der pfluglosen Bodenbewirtschaftung.

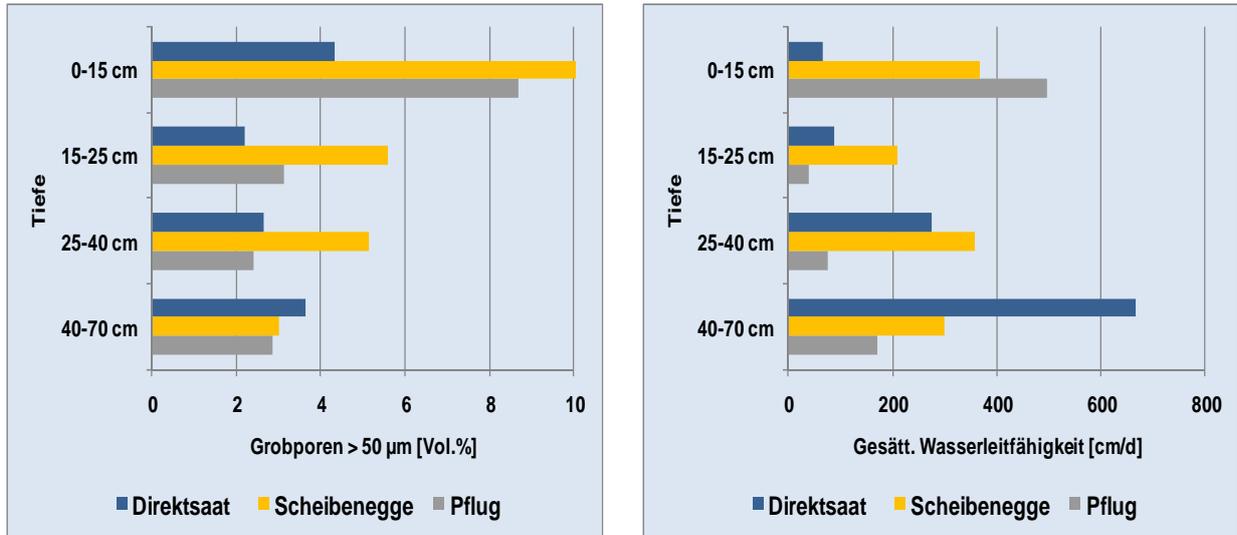


Abbildung 7-9: Schnell dränende Grobporen und Wasserleitfähigkeit in Welschbillig

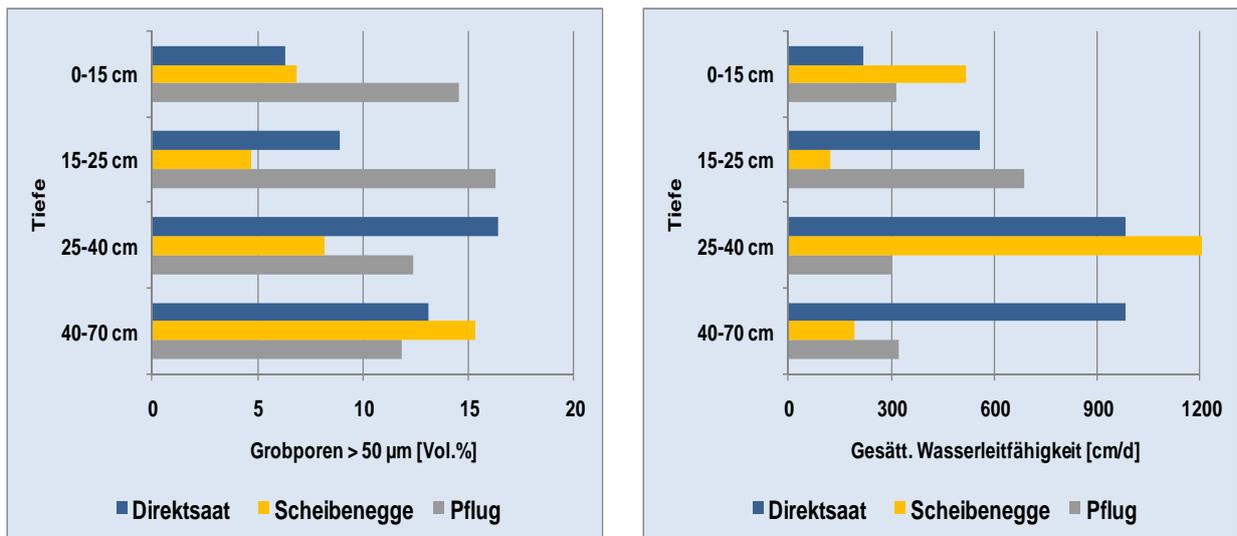


Abbildung 7-10: Schnell dränende Grobporen und Wasserleitfähigkeit in Wintersheim

### Bodenwasserhaushalt

Nur wenn das Niederschlagswasser überhaupt in den Boden gelangt, kann es dort für die Pflanzen gespeichert werden, durch Tiefenversickerung zu gereinigtem Grund- bzw. Trinkwasser werden und im Idealfall wird kein Oberflächenabfluss entstehen, der wiederum zu Bodenabtrag führen kann. Ein Kennwert zur Ermittlung der "Regenverdaulichkeit" von Böden ist die Messung der Infiltrationsleistung bzw. Infiltrationsrate. Die Messwerte in mm pro Stunde bzw. l/m<sup>2</sup> pro Stunde können unmittelbar mit den Niederschlagsangaben z.B. der Wettervorhersage verglichen werden. Die kleinflächig gemessene Infiltrationsleistung

der Direktsaatvarianten fällt im Vergleich mit den anderen Varianten geringer aus (Abbildung 7-11), was daran liegen mag, dass nicht bei allen Messungen Regenwurmrohren an der Bodenoberfläche miterfasst wurden, oder dass diese auf der Oberfläche durch Wurmlösung überdeckt waren. Dennoch belegen die Befunde an den Standorten Dichtelbach und Wintersheim den vielfach beschriebenen Vorteil pflugloser Bodenbearbeitung, nämlich den vermehrten Wasserrückhalt im Boden. Vor allem in den Böden bei Direktsaat sind die Bodenwassergehalte bis in den tieferen Unterboden teilweise deutlich höher (Abbildung 7-12).

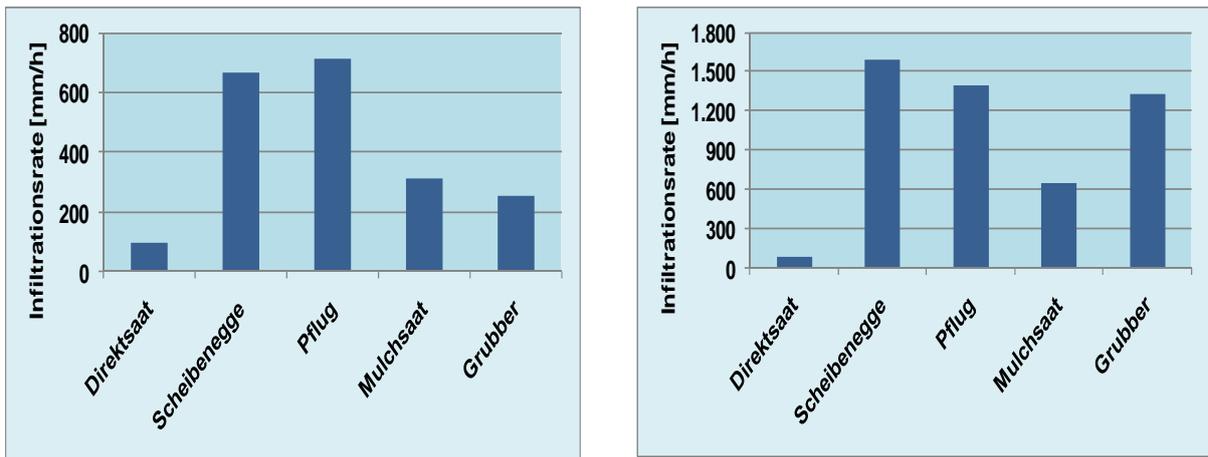


Abbildung 7-11: Infiltrationsleistung in Dichtelbach (links) und Welschbillig (rechts)

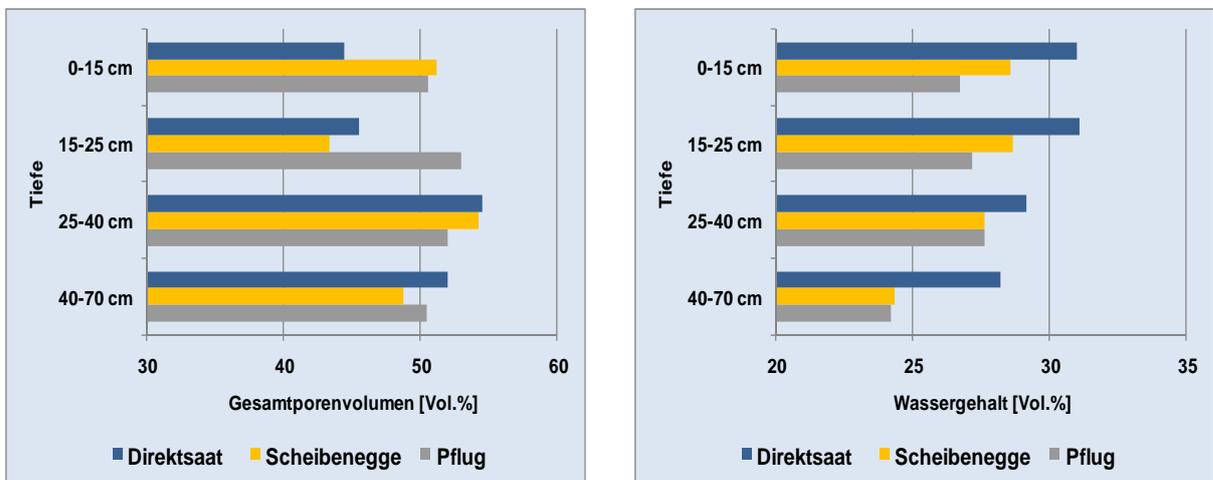
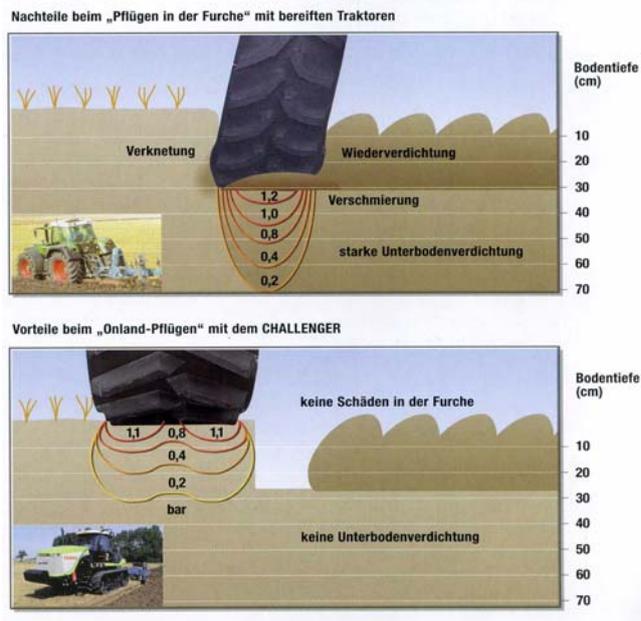


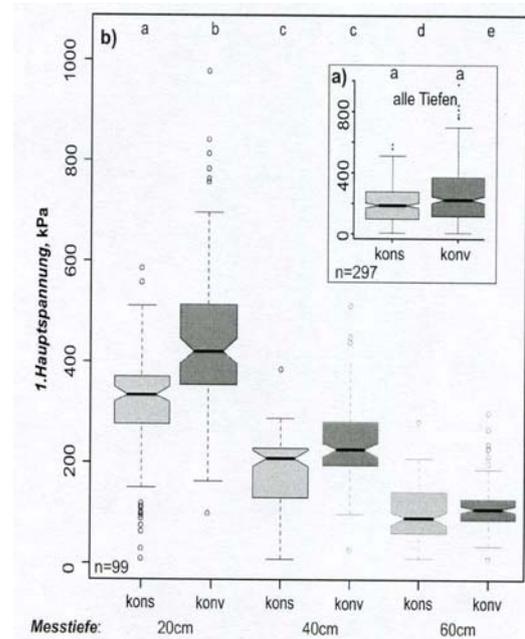
Abbildung 7-12: Gesamtporenvolumen und Wassergehalt im Frühjahr in Wintersheim

## 7.4 Bodenschadverdichtungen

Ein besonderes Problem ergibt sich bei der konventionellen Pflugarbeit daraus, dass die mechanische Hauptbelastung sehr stark auf das in der Furche laufende Hinterrad konzentriert ist. Dies führt zu einer teilweise extrem hohen Bodenbelastung, die sich direkt auf den Unterboden auswirkt und dort zur Überlastung und zu Schadverdichtungen führt (Abbildung 7-13 oben).



**Abbildung 7-13: Negative Auswirkungen konventioneller Pflugarbeit in der Furche und alternative Pflugtechnik (Quelle: Claas o.J., S. 21)**



**Abbildung 7-14: Mechanische Druckbelastung bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung (Quelle: Zink 2009, S. 39)**

Aus Sicht des Bodenschutzes effektiv, wenn auch kostenintensive Alternativen ergeben sich aus der Nutzung alternativer Pflug- und Zugtechnologie. So genanntes "Onland-Pflügen" und kettenbetriebene Zugmaschinen sind hier ergänzend zur reduzierten, flachen Bodenbearbeitung zu nennen (Abbildung 7-13).

Effizienter physikalisch-mechanischer Bodenschutz ist aber auch kostengünstiger durch die Anwendung pflugloser Bodenbearbeitung realisierbar. Durch konservierende Bodenbearbeitung kann die mechanische Druckbelastung bis in den Unterboden deutlich verringert werden (Abbildung 7-14). Zudem ergibt sich bei reduzierter Bodenbearbeitung, z.B. mit einem Grubber eine effektive Verringerung mechanisch belastender und zu Schadverdichtung führender Wendevorgänge, Fahrstrecken und Fahrspuranteile im Vergleich zum konventionellen Pflügen (Tabelle 7-1). Auch die flächenbezogenen Arbeitskosten können deutlich gesenkt werden (Tabelle 7-2). Noch deutlicher sind diesbezüglich die positiven Effekte bei Direktsaat (Tabelle 7-1 und Tabelle 7-2). Bodenschutz bei erhöhter Schlagkraft mit Kostenersparnis sind also miteinander vereinbar.

**Tabelle 7-1: Schlagkraft und mechanische Bodenbelastung bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Quelle: Grube 2002, modifiziert)**

	Einheit	Direktsaat	Grubber	Pflug
<b>Flächenleistung</b>	[ha/Tag]	5,3	4,4	3,4
<b>Wendevorgänge</b>	[1/ha]	37	44	106
<b>Fahrstrecke</b>	[km]	4,2	8,2	13,4
<b>Fahrspuranteil je ha</b>	[%]	81	100	163*

\*+36% Fahrspur Krumbasis

**Tabelle 7-2: Ökologische und ökonomische Aspekte unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Quelle: Grube 2002, modifiziert)**

	Einheit	Direktsaat	Grubber	Pflug
<b>Kraftstoffverbrauch</b>	[l/ha]	6,2	21,0	34,0
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	[kg/ha]	19	63	102
<b>Kostenvergleich</b>	[€/ha]	81	109	223

## 7.5 Bodenabtrag und flächenhafter Wasserrückhalt

Die nachhaltig positiven Auswirkungen reduzierter bzw. konservierender Bodenbearbeitung oder des gänzlichen Verzichts bodenvorbereitender Bearbeitungsmaßnahmen hinsichtlich Abflussbildung und Bodenabtrag sind schon wiederholt durch Untersuchungen belegt worden. Hochwasserschutz ergibt sich durch verringerte Bildung von Oberflächenabfluss und daraus resultiert wiederum Erosionsschutz durch eine Reduzierung des Bodenabtrags (Tabelle 7-3 und Tabelle 7-4, Abbildung 7-2). Da reduzierte bzw. konservierende Bodenbearbeitung sowie Mulch- und Direktsaat zudem nachweislich zu einer deutlichen Verringerung des Energieverbrauchs beitragen können, ist deren Einsatz zugleich als Klimaschutzmaßnahme zu werten (Tabelle 7-2).

**Tabelle 7-3: Auswirkung konventioneller und konservierender Bodenbearbeitungsverfahren auf verschiedene boden- und umweltrelevante Eigenschaften (Quelle: Frielinghaus et al. 2002, S. 54)**

		Bodenbearbeitung		
		konventionell	konservierend I <sup>2</sup> mit Mulchsaat	konservierend II <sup>3</sup> mit Mulchsaat
Bodenabtrag	[g]	318	138	26
Abfluss	[l]	21	12	3
Infiltrationsrate	[%]	49	71	92
Aggregatstabilität	[%]	30	43	49
Humusgehalt	[%]	2,0	2,6	2,5
Bedeckungsgrad	[%]	1	30	70

<sup>1</sup> Beregnungsversuch mit 42 mm/h, Messfläche: 1 m<sup>2</sup>, Pseudogley-Parabraunerde, Zuckerrüben (3-Blattstadium)  
<sup>2</sup> 1 x Stoppelbearbeitung, 1 x Grubber im Herbst, Senfssaat, 1 x Saatbettbereitung (Flachgrubber, 3 cm tief)  
<sup>3</sup> keine Bearbeitung im Herbst, Senfssaat mit Schleuderstreuer, 1 x Saatbettbereitung (Flachgrubber, 3 cm tief)



**Abbildung 7-15: Geringer Bodenabtrag bei konservierender (links) und hoher Bodenabtrag bei konventioneller Bodenbearbeitung (rechts) im Maisanbau (Quelle: Frielinghaus et al. 2002, S. 53)**

**Tabelle 7-4: Auswirkung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf verschiedene ökologische und ökonomische Aspekte (Brunotte 2002, S. 82)**

Problem-bereich	konventionelle Saat		Mulchsaat			Mulchsaat		Direkt-saat
	ohne Saatbettbereitung	mit Saatbettbereitung	ohne Saatbettbereitung	mit Saatbettbereitung	ohne Saatbettbereitung	mit Saatbettbereitung	ohne Saatbettbereitung	
- Verschlammung	-	-	XX	X	XX	o	X	XX
- Bodenerosion	o	-	XX	X	XX	o	X	XX
- Bodenverdicht.	X	-	X	X	XX	X	XX	XX
- Nitrat austrag	-	-	XX	XX	XX	o	o	X
- Kosten	X	o	o	-	X	X	XX	XX

Problemlösung: x x : sehr gut x : gut o : befriedigend - : unbefriedigend

## 7.6 Fazit

Wie die vorgestellten Befunde der drei Versuchsflächen zur differenzierten Bodenbearbeitung sowie zahlreiche andere Untersuchungen belegen, stellt die reduzierte Bodenbearbeitung nicht nur aus bodenphysikalischer Sicht für die meisten Standorte eine Alternative zum Pflugeinsatz dar. Die nicht mehr direkt mechanisch gelockerten Unterkrumen lagern im Laufe der Zeit zwar etwas dichter, jedoch gewährleisten Gefügebildung und -stabilisierung besonders durch die Förderung der biologischen Aktivität die für Pflanzenbau und Bodenwasserhaushalt wichtigen Bodenfunktionen. Zudem ergibt sich aus höherer Bodendichte und stabilerem Bodengefüge eine Erhöhung der mechanischen Tragfähigkeit dieser Schicht, wodurch ein zusätzlicher Schutz des Unterbodens gegen Schadverdichtung erzielt wird. Zahlreiche weitere ökologisch und ökonomisch relevante Aspekte werden positiv beeinflusst. Beispielhaft seien hier die Verminderung bzw. Vermeidung von Oberflächenabfluss und damit einhergehender Bodenerosion (vgl. Bodenerosionskataster) sowie eine Kostenreduktion pro Flächeneinheit erwähnt. Die Direktsaat ist ebenfalls eine mögliche Alternative zum Pflügen. Jedoch gerät deren Anwendbarkeit z.B. bei lehmig-tonigen, stark von Staunässe beeinflussten Böden an ihre Grenzen, wie der Standort Dichtelbach zeigt.

## 7.7 Literatur

- Brunotte, J. (2003): Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis: Bodenerosion mindern, Bodenleben fördern. In: Landbauforschung Völkenrode, Heft 256, 79-86
- Claas (o.J.): Wissen - Boden.- Hannover, Fürth
- Frielinghaus, M. et al. (2002): Vorsorge gegen Bodenerosion.- In: BMVEL (Hrsg.): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, 42- 61
- Grube, Jens. (2003): Beurteilung von konservierenden Bodenbearbeitungssystemen zur Bewirtschaftung peripherer Ackerbaustandorte.- Cuvillier Verlag Göttingen, zugleich Diss. Univ. Gießen 2002
- Zink, A. (2009): Bodenstabilität und Auswirkungen dynamischer Lasteinträge auf physikalische Eigenschaften von Ackerböden unter konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung.- Schriftenreihe des Inst. für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, 84, Kiel

## 7.8 Danksagung

An dieser Stelle sei zahlreichen Studierenden und Mitarbeitern des Faches Bodenkunde im Fachbereich 6 (Geographie/Geowissenschaften) der Universität Trier gedankt, die in einem Zeitraum von drei Jahren im Rahmen verschiedener Lehrveranstaltungen an der Probenahme und Probenbearbeitung bei der Untersuchung der drei Feldversuchsstandorte mitgewirkt haben. Herrn David Hottua sei besonders gedankt, der den Standort Dichtelbach im Rahmen seiner Diplomarbeit "Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf Bodenwasserhaushalt und Bodenverdichtung" (2009) größtenteils bearbeitet hat.

# 8 BEDEUTUNG DER PFLUGLOSEN BODENBEARBEITUNG FÜR DIE BIODIVERSITÄT

Christoph Emmerling, Universität Trier

## 8.1 Einleitung

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Diversität von Mikroorganismen und Regenwürmern im Boden, sowie oberflächenaktiven Organismen, wie Käfer und Spinnen. Darüber hinaus werden Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung der Segetalvegetation bei pflugloser Bodenbearbeitung vorgestellt.

Die Ergebnisse stammen aus dem Bodenbearbeitungsversuchen der Landwirtschaftskammer und dem MVWLW Rheinland-Pfalz in Welschbillig und Dichtelbach, sowie dem Demonstrationsversuch zur ökologischen Bodenbearbeitung (PÖB) der Stiftung Ökologie & Landbau und dem MVWLW Rheinl.-Pfalz in Rommersheim (Rheinhessen). Die Ergebnisse der Untersuchung von Laufkäfern und Spinnen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren stammen aus einem Versuch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Sachsen (LfL 2005).

Auf zwei verschiedenen Standorten, in Welschbillig in der Südeifel sowie in Dichtelbach im nördlichen Hunsrück, wurden Ackerflächen für die Dauer von zehn Jahren mit fünf verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren bewirtschaftet: 1) konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug; 2) Grubber (Lockerung der obersten 15 cm); 3) Scheibenegge (15 cm); 4) Mulchsaat (flacher Grubber, organisches Material verbleibt auf der Bodenoberfläche; 5) Direktsaat (keine Bodenbearbeitung).

Am Standort Rommersheim (Eichenhof) wurden über einen Zeitraum von 10 Jahren drei unterschiedlich intensive Bodenbearbeitungsverfahren und ihre Auswirkungen auf bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften der verbreiteten Böden verglichen: Pflug (P), Zweischichten-Pflug (SP; flach wendend, tief lockernd) und Schichtengrubber (SG; tief lockernd). An zwei Standorten des Bearbeitungsversuches in Sachsen wurden Pflug, Mulchsaat und Direktsaat vergleichen.

Aus Sicht der Bodenbiologie stellt die Bodenbearbeitung einen der weitreichendsten Eingriffe für die biologischen Prozesse im Boden dar. Durch die Bodenbearbeitung wird die Unterbringung und Verteilung der Ernterückstände beeinflusst, was indirekt Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Bodenorganismen und deren Aktivität hat. Durch die Bo-

denbearbeitung wird auch die Zusammensetzung und Verbreitung der Bodentiere und damit bestimmte, an Bodentiere geknüpfte Leistungen, wie der Streuabbau, aber auch physikalische Prozesse, wie Bioturbation und Aggregation, modifiziert.

Die qualitativen und quantitativen Veränderungen von Bodentierpopulationen erfolgen in der Regel tiefgreifender und nachhaltiger als bei den Bodenmikroorganismen, da die Bodentiere in einer ausgeprägten vertikalen Schichtung im Boden verteilt sind. Durch die Bodenwendung kommt es zu einer einschneidenden Umorientierung. Negative Einflüsse, insbesondere durch Bodenverdichtung sind z.B. für Springschwänze, Enchytraeiden und Regenwürmer beschrieben. Bei der jährlichen Bodenbearbeitung werden zum Beispiel viele Regenwürmer verletzt, gequetscht oder getötet. Besonders beim Pflügen werden Regenwürmer an die Oberfläche gebracht und von Vögeln gefressen. Durch nichtwendende, konservierende Bodenbearbeitung wird dagegen die Artenzahl, die Abundanz und Biomasse sowie die Aktivität der Regenwürmer gefördert. Als wahrscheinliche Ursache für das Anwachsen der Populationen und die erhöhte Tätigkeit gelten Bodenruhe und das erhöhte Nahrungsangebot an der Bodenoberfläche.

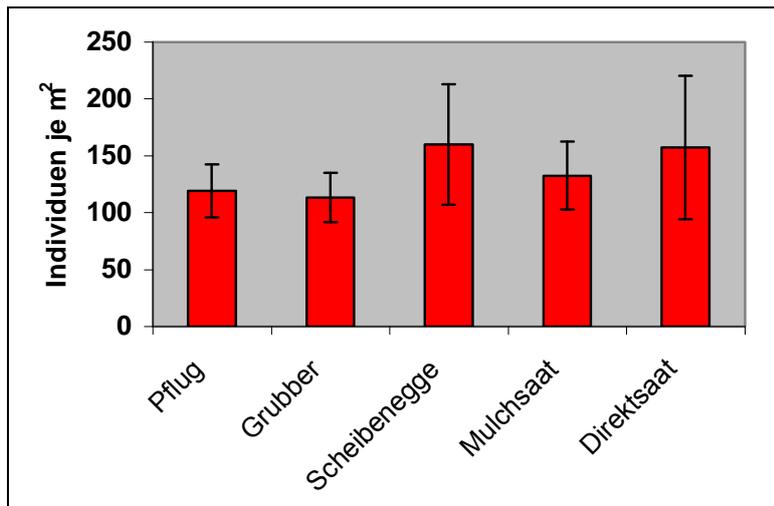
Bodenbearbeitung greift zudem in das komplexe Räuber-Beute-Wirkungsgefüge ein. Bei reduzierter Bodenbearbeitung nahm z.B. die Besiedlungsdichte von schädlichen Kleinarthropoden oder Nematoden drastisch ab, während räuberische Arten, die sich bevorzugt von diesen Organismen ernähren, gefördert wurden.

## **8.2 Diversität von Bodenorganismen bei differenzierter Bodenbearbeitung**

### **8.2.1 Bodenbearbeitungsversuch Welschbillig**

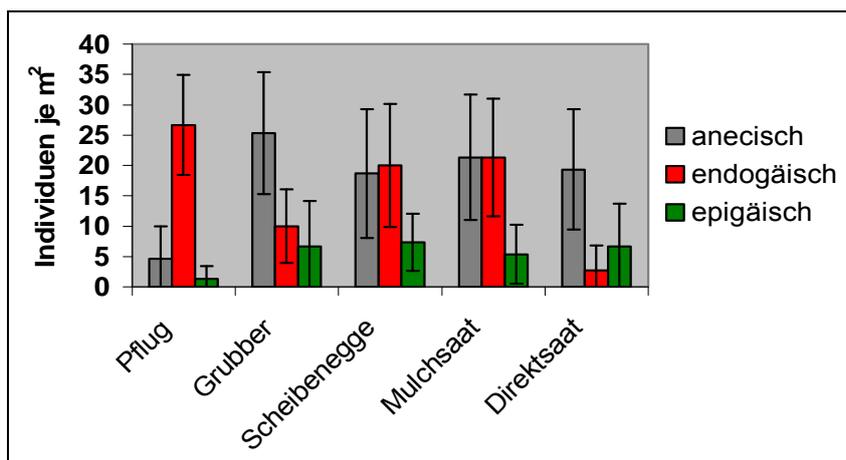
Auf der experimentellen Fläche in Welschbillig wurden insgesamt neun Regenwurmart nachgewiesen. Auf allen reduziert bearbeiteten Flächen kamen in allen Fällen acht Arten und auf der konventionell mit dem Pflug bewirtschafteten Fläche sechs Arten vor. Intensive Bodenbearbeitung führte auf dieser Fläche dementsprechend zu einem Verlust an Biodiversität.

In den verbreiteten schluffig-lehmigen Lössböden waren die höchsten Besiedlungsdichten (Gesamtabundanzen) der Regenwürmer in den reduzierten Verfahren Scheibenege, Direktsaat und Mulchsaat festzustellen. Die Abundanzen der Regenwürmer waren demgegenüber in den Pflug- und Grubbervarianten um ca. 20% reduziert (Abbildung 8-1). Dies kann insbesondere auf eine geringere mechanische Belastung der Tiere zurückgeführt werden. Außerdem profitieren die Tiere insgesamt von den höheren Humusgehalten in Böden unter reduzierter Bodenbearbeitung.



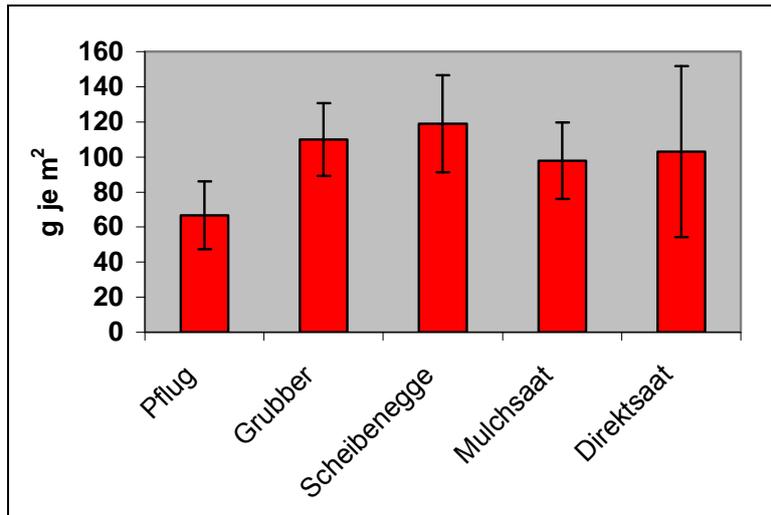
**Abbildung 8-1: Anzahl Regenwürmer in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Welschbillig; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Gesamtabundanz adulter und juveniler (nach Ernst & Emmerling, 2009)**

Die Regenwurmfauna lässt sich grob in drei unterschiedliche Lebensformen einteilen, in streubewohnende epigäische Tiere, bodenbewohnende endogäische sowie tiefgrabende anecische Tiere. Diese verschiedenen Lebensformen reagieren aufgrund ihrer unterschiedlichen Aufenthaltspräferenzen in Böden auch unterschiedlich auf den Einsatz von Bodenbearbeitungsgeräten, was anhand Abbildung 8-2 deutlich gezeigt werden kann. Streubewohnende und tiefgrabende Regenwürmer wurden gleichermaßen insbesondere durch den Pflugeinsatz geschädigt und traten in vergleichbar geringen Abundanzen auf. Demgegenüber waren die endogäischen Regenwürmer lediglich in der Direktsaat- und in der Grubbervariante reduziert. Während in der Pflugvariante eine mechanische Schädigung der Tiere wahrscheinlich ist, kann das geringe Auftreten von endogäischen Tieren in der Direktsaat-Variante eventuell auf eine höhere Bodendichte zurückgeführt werden.

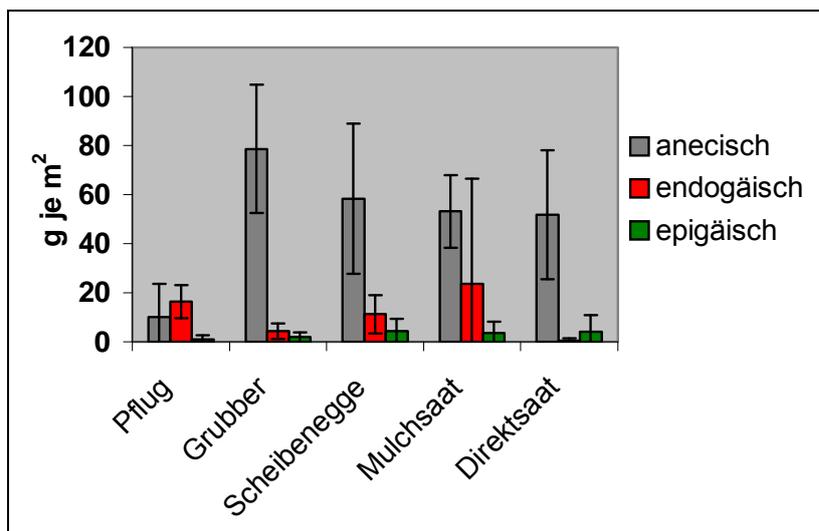


**Abbildung 8-2: Häufigkeit der Regenwurmlebensformen in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Welschbillig; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (nach Ernst & Emmerling, 2009).**

Die Ergebnisse der Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Welschbillig folgten tendenziell denen der Gesamtanzahl mit dem Unterschied, dass die Gesamtbiomasse lediglich in der Pflugvariante deutlich reduziert war (Abbildung 8-3). Dies kann eindeutig auf die hohe Besatzdichte an anezischen (tiefgrabenden) Arten in der Grubbervariante zurückgeführt werden (s. Abbildung 8-2). Die Individuen der tiefgrabenden Arten, es handelte sich im Wesentlichen um die Art *Lumbricus terrestris*, sind gewöhnlich große und schwere Tiere, während endogäische Individuen eher klein und leicht sind. Dies zeigt sich auch in Abbildung 8-4 anhand der geringen Biomasse endogäischer Arten bei vergleichsweise hoher Abundanz (siehe Abbildung 8-2).



**Abbildung 8-3: Gesamtbiomasse adulter und juveniler Regenwürmer in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Welschbillig; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (nach Ernst & Emmerling, 2009)**



**Abbildung 8-4: Biomasse der Regenwurmlebensformen in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Welschbillig; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (nach Ernst & Emmerling, 2009)**

## 8.2.2 Bodenbearbeitungsversuch Dichtelbach

Der Standort Dichtelbach zeigte vergleichbare, wenn auch leicht abweichende Ergebnisse, wie der Standort Welschbillig. Insgesamt konnten sieben Regenwurmartarten auf diesem Standort nachgewiesen werden. Die Artenzahl schwankte zwischen fünf Arten auf der Pflug- und Scheibeneggevariante und sechs auf der Grubber-, Mulchsaat- und Direktsaatvariante. Die niedrigste Gesamtabundanz wurde in der Variante mit Scheibenegge, die höchste in der Direktsaatvariante nachgewiesen (Abbildung 8-5). Entgegengesetzt zum Standort Welschbillig dominierten auf diesem Standort in allen Varianten die endogäische gegenüber den anezischen und epigäische Regenwürmern (Abbildung 8-6). Dennoch war auch hier auf allen reduziert bearbeiteten Flächen eine deutlich höhere Abundanz anezischer Regenwürmer als in der Pflugvariante zu verzeichnen. Streubewohnende Regenwürmer wurden nur in geringen Abundanzen ermittelt.

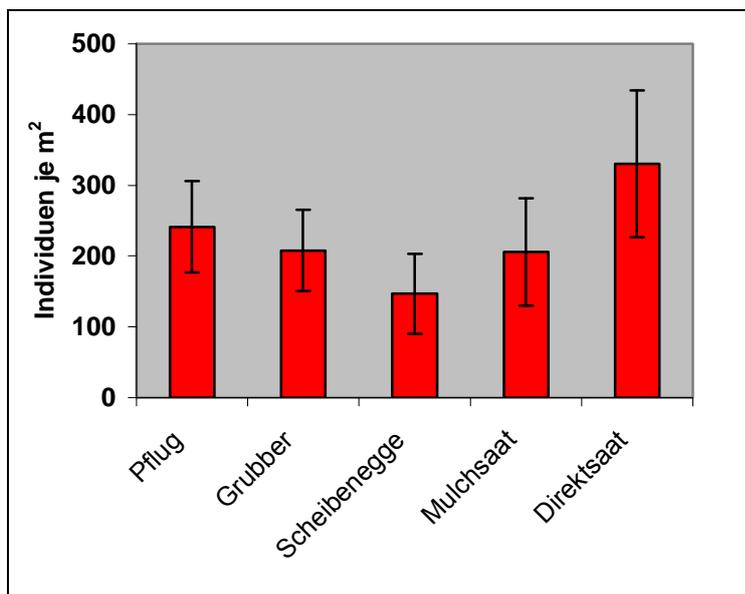
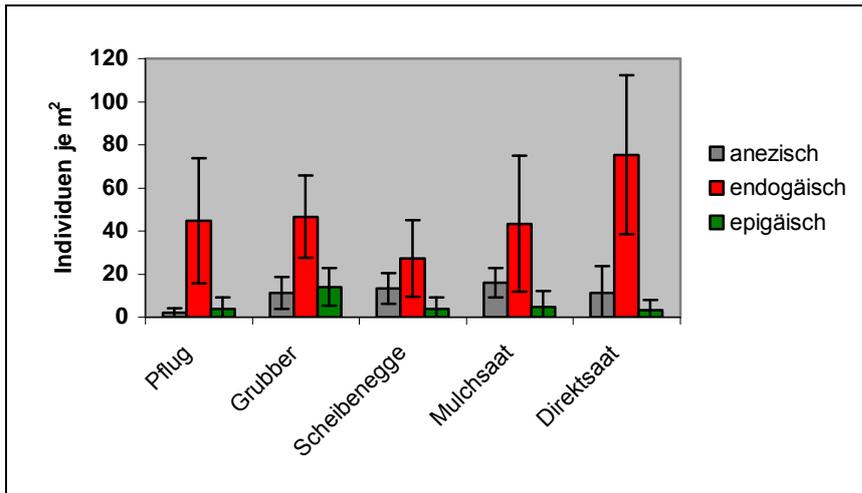
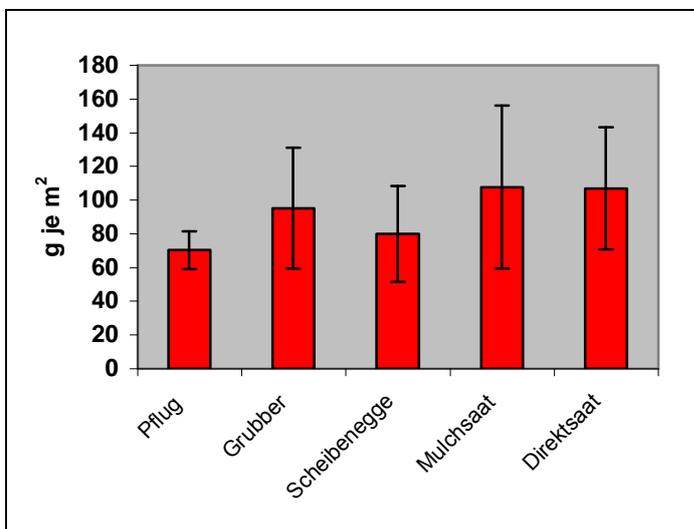


Abbildung 8-5: Gesamtabundanz adulter und juveniler Regenwürmer in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Dichtelbach; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (aus Ernst 2010)



**Abbildung 8-6: Abundanz der Regenwurmlebensformen in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Dichtelbach; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (aus Ernst 2010)**

Die Gesamtbiomasse auf dem Standort Dichtelbach variierte zwischen ca. 70 g m<sup>-2</sup> in der Pflug- und 108 g m<sup>-2</sup> in der Mulchsaatvariante (Abbildung 8-6). Insgesamt war die Variabilität innerhalb der Varianten sehr hoch. In Abbildung 8-8 ist zu erkennen, dass die Regenwurmbiomasse auf allen reduziert bearbeiteten Flächen durch anezische Regenwürmer dominiert wurde. Vor allem in den Grubber-, Scheibeneggen- und Mulchsaatvarianten erreichten die anezischen Arten relativ hohe Werte. Die Regenwurmbiomasse in der Pflugvariante war insgesamt vergleichsweise gering (Abbildung 8-8).



**Abbildung 8-7: Gesamtbiomasse adulter und juveniler Regenwürmer in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Dichtelbach; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (aus Ernst 2010)**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Regenwürmer durch reduzierte Bodenbearbeitung im Vergleich zum konventionellen Pflug insgesamt gefördert werden. Innerhalb der Regenwurmf fauna scheinen endogäische Regenwürmer durch Bodenbearbeitung mit dem Pflug gefördert zu werden, während anezische Tiere bei reduzierten und konservierenden Verfahren vermehrt auftreten.

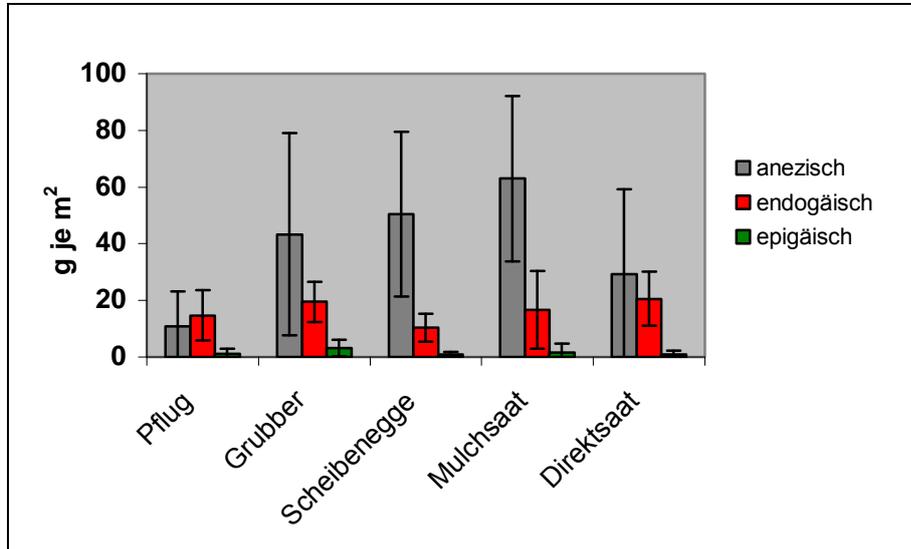
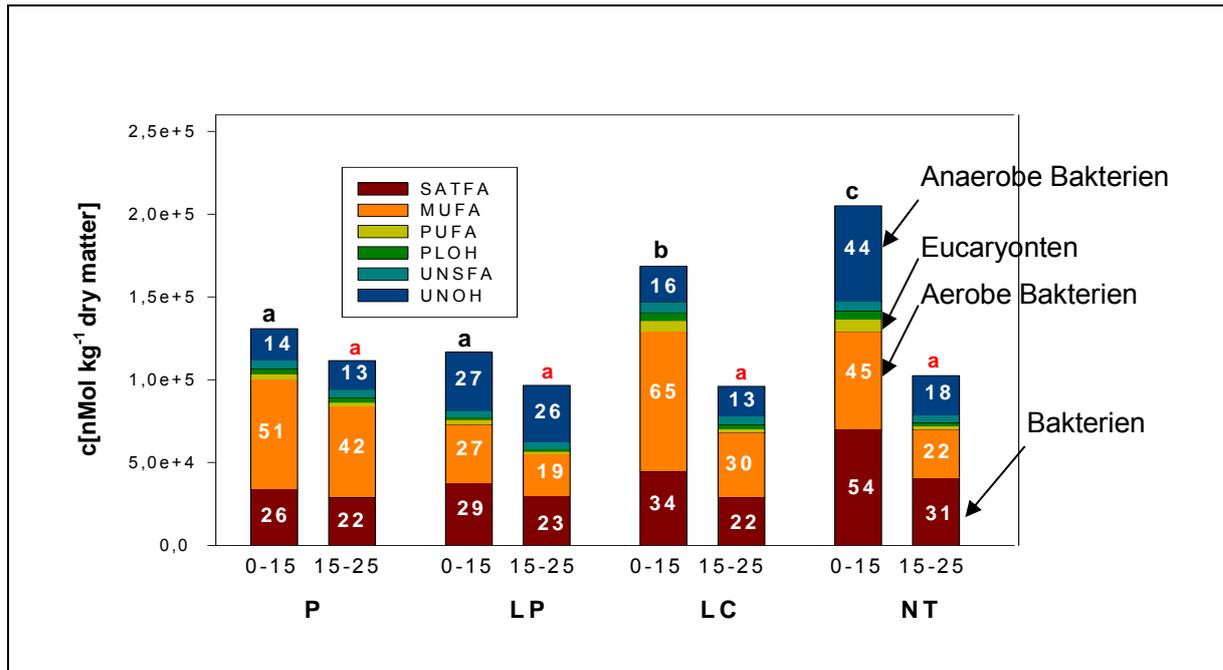


Abbildung 8-8: Biomasse der Regenwurmlenformen in den unterschiedlichen Varianten auf dem Standort Dichtelbach; Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (aus Ernst 2010)

## 8.3 Bodenbearbeitungsversuch Rommersheim

### 8.3.1 Bodenmikroorganismen

Während des zehnjährigen Untersuchungszeitraums (zwei Fruchtfolgeperioden) haben sich infolge der reduzierten Grundbodenbearbeitung deutliche Veränderungen einiger wichtiger Bodeneigenschaften in der Krume der Böden der fünf-feldrigen Fruchtfolge gezeigt.



**Abbildung 8-9: Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen-Gemeinschaft (Phospholipid-Fettsäuremuster) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung unter Grünbrache [P=Pflug; LP=Schichtenpflug; LC=Schichtengrubber; NT=No Till (ohne Bodenbearbeitung)] (aus: Gättinger et al., 2002)**

Alle ermittelten bodenmikrobiologischen Eigenschaften wurden analog der Entwicklung der organischen Bodensubstanz in der Oberkrume durch die reduzierte Grundbodenbearbeitung gefördert, während die mikrobielle Biomasse und ihre Aktivität in der Unterkrume sukzessive abnahm. Bezogen auf die gesamte Krume waren die Gehalte z.B. an mikrobieller Biomasse im Vergleich zur Pflugvariante um 10-12% erhöht. Ebenso war die Aktivität der Bodenmikroorganismen in der Krume der Schichtenpflug- und Schichtengrubber-Parzellen im Vergleich zum Pflug um 8 % höher.

In der reduzierten (Schichtenpflug), pfluglosen (Schichtengrubber) und No-Till-Variante (ohne Bodenbearbeitung) wurden darüber hinaus deutliche Hinweise auf eine Veränderung innerhalb der Bodenmikroorganismen-Gemeinschaft gefunden (Abbildung 8-9). Im Vergleich zur Pflugvariante stieg der Anteil von Bakterien, insbesondere der anaeroben Bakterien, auf Kosten der aeroben Mikroorganismen an. Dies kann als eine Reaktion auf zunehmende Bodendichte in den pfluglosen Varianten gedeutet werden.

### 8.3.2 Regenwürmer

Ab dem ersten Hauptfruchtjahr 1995 zeigte die Regenwurmgemeinschaft eine deutliche Reaktion auf die reduzierte und konservierende Bodenbearbeitung. Sowohl die Abundanz als auch die Biomassen nahmen in der Zweischichtenpflug- und insbesondere in der Schichtengrubbervariante zu. Im Vergleich zur Pflugvariante stieg die Besiedlung durch adulte Regenwürmer in der Grubbervariante bei beiden Kulturen fast um das Doppelte (Abbildung 8-10). Im Gegensatz zu den bodenchemischen und -mikrobiologischen Eigen-

schaften der untersuchten Böden war eine Förderung der Individuendichte und Biomasse sowohl adulter als auch juveniler Regenwürmer allein bei pflugloser Grundbodenbearbeitung statistisch nachzuweisen (Abbildung 8-10). Zwischen Pflug- und Schichtenpflugvariante war im Mittel aller Untersuchungsjahre kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Ebenso nahm die Zahl der Arten zu, von 3-4 (P) auf 5-6 (SP) und 7 Arten (SG). Das gesamte Artenspektrum der erfassten Regenwürmer der Untersuchungsfläche wurde ausschließlich in der Schichtengrubbervariante erfasst.

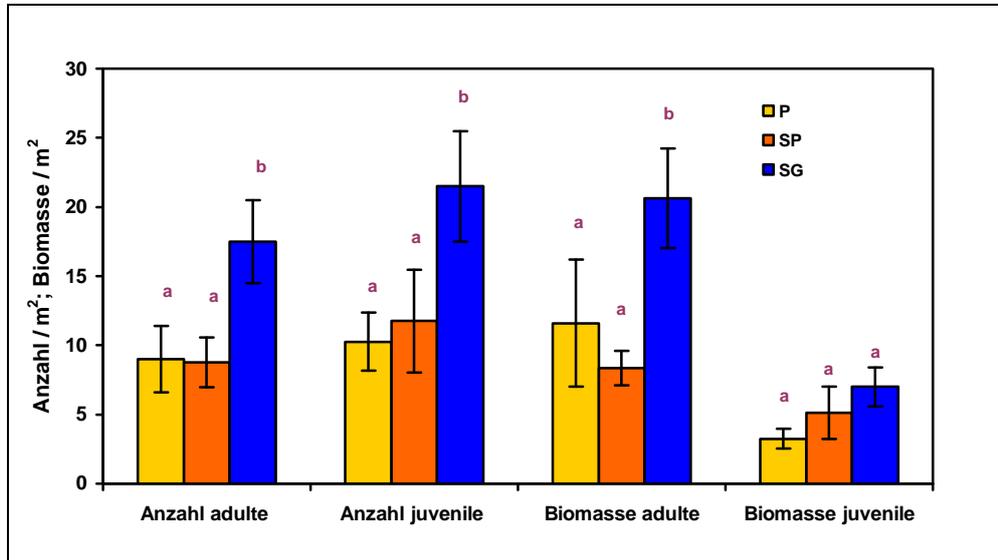


Abbildung 8-10: Abundanz und Biomasse von adulten und juvenilen Regenwürmern in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung unter Winterroggen am Standort Rommersheim (aus: Emmerling, 2007)

### 8.3.3 Segetalvegetation

Im Rahmen des Bodenbearbeitungsversuches in Rommersheim wurden ebenfalls Untersuchungen zur Ackerbegleitvegetation durch Oesau (2002) und Eysel (2002) durchgeführt.

Vegetationskundlich zeigte sich zum Beispiel, dass die Zahl der Ackerwildkräuter nach Umwandlung der Flächen von konventioneller zu ökologischer Bewirtschaftung kontinuierlich zunahm und mit 80 Arten eine für Rheinhessen bemerkenswerte Größenordnung erreichte.

Die unterschiedlich intensive Grundbodenbearbeitung zeigte keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Artenzahl. Allerdings waren die Bedeckungsgrade der Arten stark von der angewandten Bodenbearbeitung beeinflusst. Die Bedeckungsgrade der meisten Arten lagen in den reduzierten Verfahren Schichtenpflug und Schichtengrubber ca. 20% höher als unter Pflug. Die Vorfrucht Grünbrache wirkte sich ebenfalls positiv auf die Verbreitung der Ackerwildkräuter aus (Oesau 2002). Des Weiteren stellten sich im Laufe der Versuchszeit einige seltene und gefährdete Arten ein, wie zum Beispiel der Orientalische Rittersporn *Consolida hispanica* (Oesau 2002).

## 8.4 Bodenbearbeitungsversuch Sachsen

In einem Versuch zur bodenschonenden Bodenbearbeitung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Sachsen (LfL 2005) wurden u.a. Untersuchungen von Laufkäfern und Spinnen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren durchgeführt. Bei diesen Tiergruppen handelt es sich um räuberische Organismen, die aus der Sicht der Biodiversität eine besondere Beachtung verdienen.

### 8.4.1 Laufkäfer (Carabidae)

Auch anhand der Laufkäferfauna konnte an zwei unterschiedlichen Standorten im Leipziger Lößhügelland und im Leipziger Tiefland der Einfluss unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung dokumentiert werden. Da viele dieser Arten zumeist aus trockenen Offenlandbiotopen stammen und aufgrund ihrer Laufaktivität Bodenbearbeitungseinflüsse besser tolerieren können als weniger mobile Arten, können auch gepflügte Standorte eine hohe Artenzahl und Individuendichte an Carabiden aufweisen. So war zum Beispiel zwischen gepflügten, gemulchten oder direkt gesäten Standorten kein Unterschied in der Anzahl an Arten noch an Individuen (hier nur für Leipziger Tiefland) zu erkennen (Abbildung 8-11 und Abbildung 8-12). Lediglich im Leipziger Tiefland nahm die Artenzahl von Pflug über Mulchsaat zur Direktsaat stetig zu (Menge und Kreuter 2004).

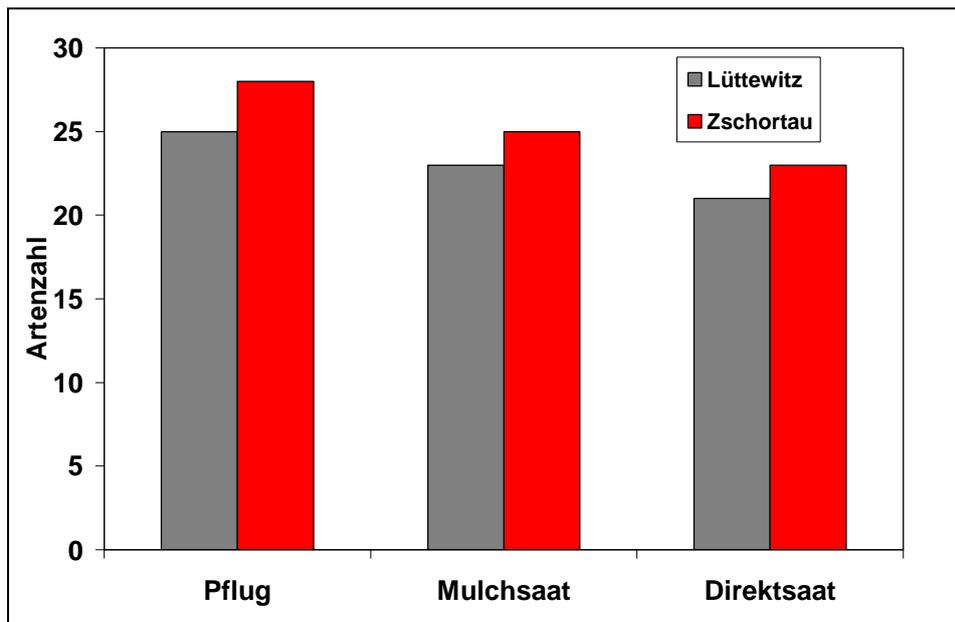


Abbildung 8-11: Artenzahl der Laufkäfer von gepflügten, gemulchten und im Direktsaatverfahren bearbeiteten Weizenschlägen in Sachsen (aus: Menge & Kreuter, 2004, S. 23)

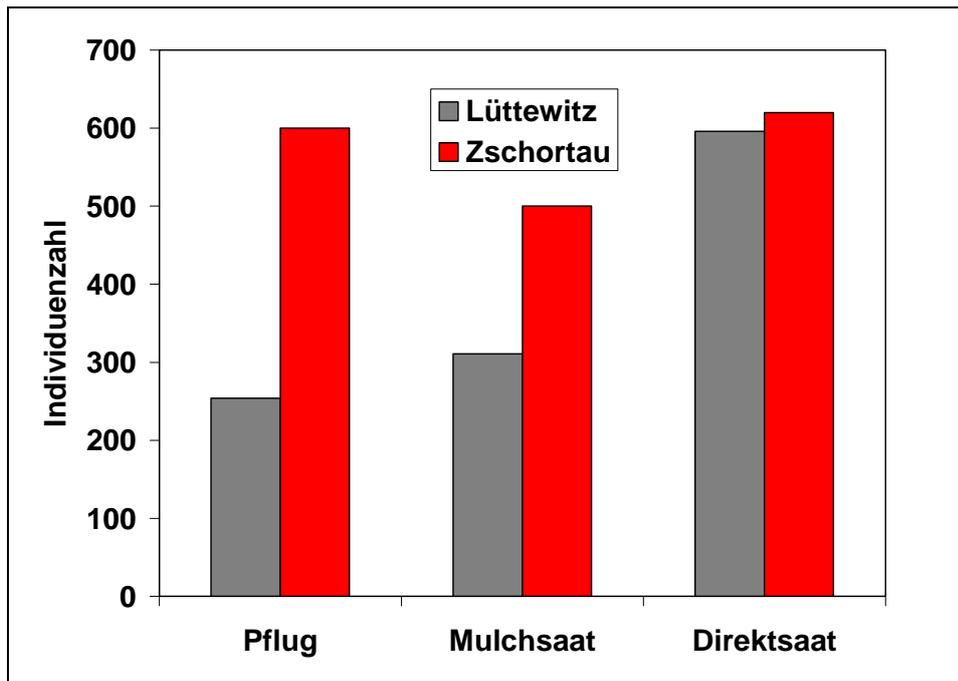


Abbildung 8-12: Individuenzahl der Laufkäfer von gepflügten, gemulchten und im Direktsaatverfahren bearbeiteten Weizenschlägen in Sachsen (aus: Menge & Kreuter, 2004, S. 23)

Es gibt allerdings bestimmte Arten, wie zum Beispiel der Goldlaufkäfer, die eine sehr sensible Reaktion auf eine unterschiedlich intensive Bodenbearbeitung zeigen. So stieg zum Beispiel nach Untersuchungen des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft (Menge & Kreuter 2004) die Individuenzahl des Goldlaufkäfers (*Carabus auratus*) deutlich in der Reihenfolge Pflug - Mulchsaat - Direktsaat an, sowohl im Leipziger Lößhügelland (Abbildung 8-14), als auch im Tiefland (Abbildung 8-14). Dieser Trend war ebenfalls für die Art Pechschwarzer Dammläufer (*Nebria brevicollis*) im Lößhügelland zu erkennen, während die Art Feld-Sandlaufkäfer (*Cicindela campestris*) wiederum einen entgegengesetzten Trend anzeigte (Abbildung 8-14).

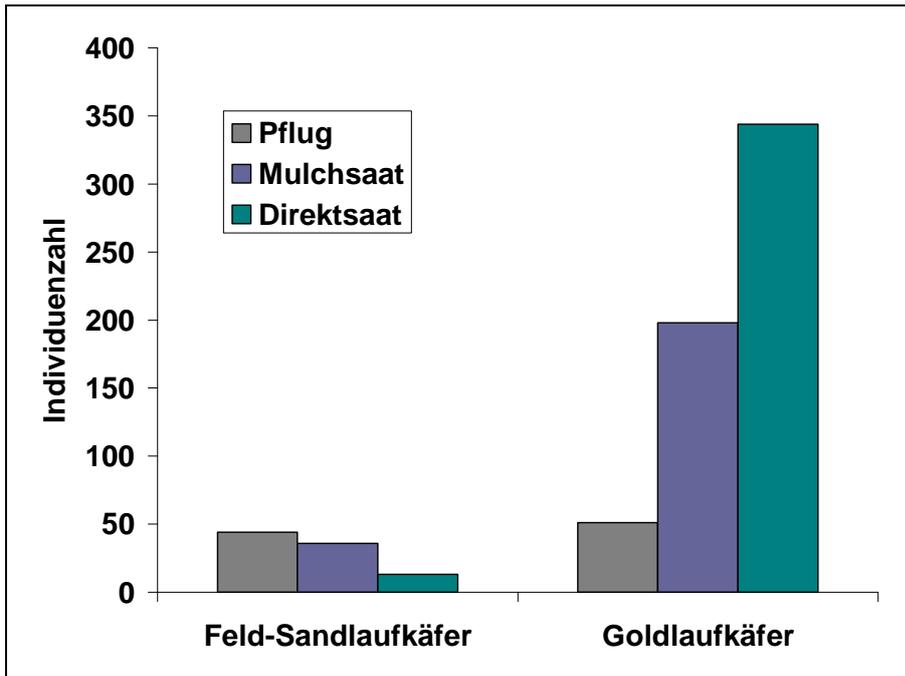
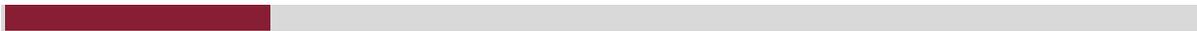


Abbildung 8-13: Faunistisch interessante Laufkäferfunde bei unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung im Tiefland (aus: Menge & Kreuter, 2004, S. 24)

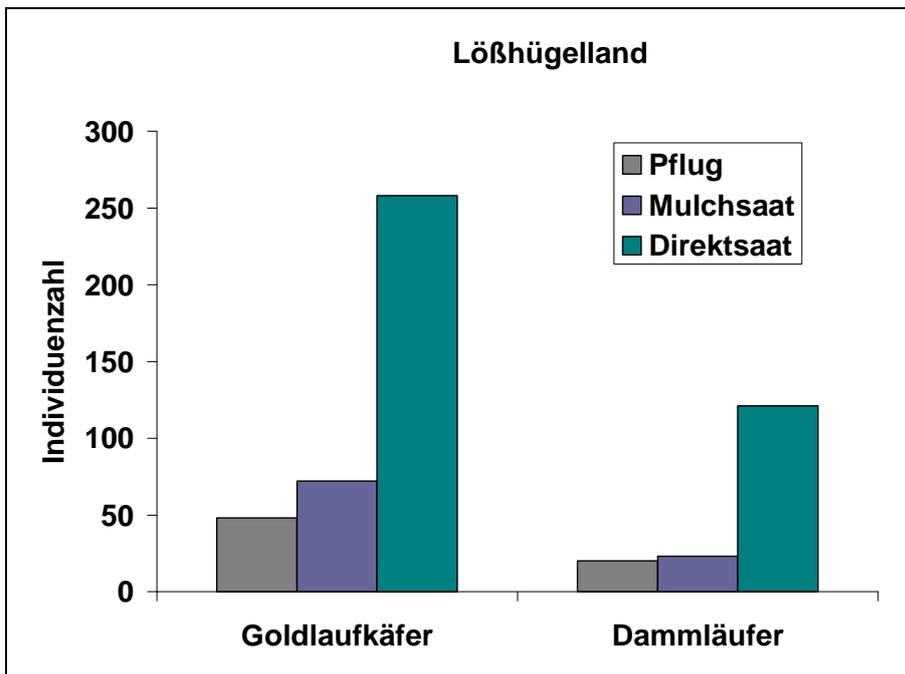


Abbildung 8-14: Faunistisch interessante Laufkäferfunde bei unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung im Lösshügelland (aus: Menge & Kreuter, 2004, S. 24)

## 8.4.2 Webspinnen (Araneae)

Tabelle 8-1: Ökologische Kennzahlen der Webspinnenbesiedlung bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (aus LfL, 2005, S. 49)

BB-Varianten (konventionell)	LP (Pflug)	LM (Mulch)
Artenzahl	32	35
Individuenzahl	2228	3164
Shannon-Index	1,71	2,02
Evenness	0,50	0,57
Jaccard-Index	57 %	
Renkonen-Index	82 %	

BB-Varianten (konventionell)	LP (Pflug)	LD (Direkt)
Artenzahl	32	40
Individuenzahl	2228	1789
Shannon-Index	1,71	2,17
Evenness	0,50	0,59
Jaccard-Index	53 %	
Renkonen-Index	81 %	

BB-Varianten (konventionell)	LM (Mulch)	LD (Direkt)
Artenzahl	35	40
Individuenzahl	3164	1789
Shannon-Index	2,02	2,17
Evenness	0,57	0,59
Jaccard-Index	50 %	
Renkonen-Index	81 %	

Die Artenzahl der Webspinnen nahm mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität in der Reihe Pflug (32) - Mulchsaat (35) - Direktsaat (40) zu, während die Individuenzahl in der Mulchsaat-Variante am höchsten war (Tabelle 8-1). Die Kennzahlen der Biodiversität (Shannon-Index und Evenness) deuteten ebenfalls an, dass der Artenreichtum der Spinnenfauna durch Mulchsaat und Direktsaat-Verfahren gefördert wurde (Tabelle 8-1). Darüber hinaus waren die Arten bei reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren gleichmäßiger verteilt.

Beim Vergleich der Pflug- und Mulchsaatvariante waren lediglich 57% der Arten identisch, zwischen Pflug und Direktsaat lag der Jaccard-Index auch nur bei 53%. Dies zeigt, dass durch unterschiedliche Bodenbearbeitung ganz unterschiedliche Arten auftreten können. Die Identität der Dominanz der Arten lag bei den genannten Vergleichspaaren bei 82% und 81%, d.h. die genannten Flächen waren durch annähernd gleiche dominante Arten gekennzeichnet.

## 8.5 Schlussfolgerungen

Es herrscht heute weitgehender Konsens, dass die Intensivierung der Landwirtschaft zu deutlichen Bestandesrückgängen von einer Vielzahl an Tierarten, sowohl der Bodenfauna, als auch von laufaktiven Organismen an der Bodenoberfläche geführt hat. Dies gilt für die Segetalvegetation gleichermaßen.

Zahlreiche Untersuchungen geben darüber hinaus Anlass zu vermuten, dass hierzu neben dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und der Reduzierung der Kulturartenvielfalt, im Wesentlichen eine intensive Bodenbearbeitung mit dem Pflug verantwortlich ist. Die vorhandene Literatur zeigt allerdings auch, dass ein Pflugeinsatz in bestimmten Jahren und innerhalb der Fruchtfolge möglich ist. Der dauerhafte Einsatz von tief reichenden und wendenden Verfahren sollte vermieden und durch Boden schonende Verfahren ersetzt werden.

Hierdurch kann eine hohe mikrobielle Besiedlung und Aktivität in den Böden erzielt werden, da die Humusversorgung der Böden verbessert wird. Ebenfalls positiv reagieren Regenwürmer und die meisten laufaktiven Organismen, bzw. deren Artenzahl, auf eine Boden schonende Bearbeitung. Im Hinblick auf die Förderung der Biodiversität in der Agrarlandschaft ist insbesondere die Mulchwirtschaft und die Direktsaat zu nennen. Bodenbearbeitungsverfahren wie Scheibenegge und Grubber zeigen im Vergleich zum Pflug ebenfalls positive Auswirkungen auf die Biodiversität der genannten Organismengruppen.

## 8.6 Literatur

- Emmerling, C. (2007): Reduced and conservation tillage effects on soil ecological properties in an organic farming system. *Biological Agriculture & Horticulture*, 24, 363-377
- Ernst, G.; Emmerling, C. (2009): Impact of five different tillage types on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology*, 45, 247-251
- Eysel, G. (2002): Biodiversität ökologischer und integrierter Landwirtschaft - Natur- und sozialwissenschaftliche Untersuchungen zur Optimierung des Öko-Landbaus im Projekt. Schriftenreihe des Landesamtes für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Rheinland-Pfalz, 13/2002, 56-61
- Gattinger, A.; Embacher, A.; Emmerling, C.; Fließbach, A.; Schlöter, M. (2002): Microbial community analyses in organically and conventionally managed soil ecosystems. Proc. 14th International IFOAM Scientific Conference, Canada, 2002
- Ernst, G. (2010): Ökologische und umweltrechtliche Relevanz der biologischen Vielfalt im Boden. Dissertation Universität Trier. Trierer Bodenkundliche Schriften, Band 13. ISBN: 987-3-9813264-2-0
- Menge, M.; Kreuter, T. (2004): Biodiversität auf dem Ackerland in Sachsen. In: Agrarproduktion und Biodiversität, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt



Oesau, A. (2002): Vegetationskundliche Untersuchungen im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung in Wörrstadt-Rommersheim 1995-2004, Zwischenbericht 2000. Schriftenreihe des Landesamtes für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Rheinland-Pfalz, 13/2002, 47-55

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2005): Biodiversität sächsischer Ackerflächen. Schriftenreihe der LfL, Heft 9, 10. Jahrgang, ISSN 1861-5988, S. 1-104, Dresden

# 9 PRAKTIKER BERICHTEN

Michael Richter; Dienstleistungszentrum für den ländlichen Raum in Oppenheim

## 9.1 Konservierende Bodenbearbeitung in einem Trockengebiet: Betriebsreportage

Der Ackerbaubetrieb von Ortwin Reis in Freimersheim umfasst eine Gesamtfläche von 113 ha. Kalksteinverwitterungsböden mit einer unterschiedlich mächtigen Lössauflage, teilweise stark tonig mit hohem Steinbesatz herrschen vor. Die Bodengüte schwankt zwischen 35 und 93 Bodenpunkten. Durch die Lage im Regenschatten des Donnersbergs fallen im Durchschnitt nur knapp über 500 mm Niederschlag jährlich. Verschärft wird der Wassermangel durch eine hohe Verdunstung. Während der Wintermonate fallen in den meisten Jahren keine ausreichenden Niederschläge, um die Feldkapazität des Bodens wieder aufzufüllen. Nachteilig auf den Getreideertrag wirkt sich vor allem die Vorsommertrockenheit aus.

### 9.1.1 Pfluglos seit 1984

Anfang der achtziger Jahre pachtete Ortwin Reis einige Grenzertragsflächen mit wechselnden Bodenverhältnissen und hohem Steinbesatz zu. Der Aufwand für eine konventionelle Bodenbearbeitung war auf diesen Flächen mit geringem Ertragsniveau zu hoch. Er entschied sich deshalb gegen den Pflug und stellte 1984 auf Mulchsaat um, was auch eine Veränderung in der Fruchtfolge bewirkte. Wintergerste und Winterroggen wurden durch Braugerste ersetzt. Damit entfiel das sonst kaum zu beherrschende Problem des "Durchwuchses".

Die Fruchtfolge besteht seitdem aus Winterraps - Winterweizen - Zuckerrüben - Sommergerste, wobei die Zuckerrüben heute nur noch einen kleinen Flächenanteil ausmachen. Der Wasserentzug der Zuckerrübe erwies sich besonders für den Winterweizen als Folgefrucht nachteilig. Außerdem sah der Landwirt ein erhöhtes Risiko für die Vermehrung von Nematoden in Winterraps. Zwischenfrüchte werden nur in feuchten Jahren angebaut, weil sie den Wasserhaushalt des Bodens zusätzlich belasten.

Im Jahr 1987 stellte Reis seinen Betrieb komplett auf das System "Dutzi" um, welches sich durch ein intensives Mischen, Lockern und Krümeln auszeichnet. Die Folge waren Probleme mit der relativ aggressiven Bearbeitung, einhergehend mit einer Zerstörung der Krümelstruktur, unproduktiven Wasserverlusten, mangelhafter Rückverfestigung und Verkrustung. Aus diesen Gründen wechselte der Landwirt 1997 auf das Verfahren "Airseeder". Nicht zuletzt aufgrund der Möglichkeit, seinen Dünger tiefer und wurzelnah platzieren zu können. Um Direktsaattauglichkeit zu erreichen, ergänzte Reis dieses System in 2007 durch einen vor geschalteten Mulch-Arbeitsgang. In 2008 und 2009 wurde die gesamte Herbstsaat von Winterweizen und Winterraps mit dem Airseeder im Direktsaatverfahren vorgenommen.

In den letzten Jahren hat der Landwirt die Technik konsequent von Anbaugeräten auf gezogene Geräte (Airseeder, Grubber, Feldspritze) umgestellt. Gegenüber Anbaugeräten wird der Schlepper dadurch entlastet und kann so mit einem Reifen-Luftdruck von 1 bar gefahren werden.

### **9.1.2 Strohmanagement und Bodenbearbeitung**

In der Vergangenheit machte Ortwin Reis gute Erfahrungen mit dem Köckerling-Anbaustrohstriegel mit 6 Meter Arbeitsbreite. Durch eine diagonale Überfahrt als ersten Arbeitsgang nach der Ernte geht das Ausfallgetreide gut auf. Vor den Sommerkulturen Zuckerrüben und Sommergerste blieb der Acker nach dem Striegeln unbearbeitet liegen. Die Strohmatten schützen dann vor unproduktiver Verdunstung. Erst im Spätherbst erfolgte ein zweiter Arbeitsgang mit einem 4-reihigen Grubber 8-15 cm tief, ohne Walze, aber mit einem dreireihigen Striegel.

Wenn Winterraps oder Winterweizen folgten, wurde ein- oder zweimal mit einem Grubber (Spiralfedern und Doppel-Herzschare) bearbeitet, als Nachläufer mit Sterntiller und Prismenwalze. Der erste Arbeitsgang erfolgte dabei flach und diagonal zur Druschrichtung, der zweite Arbeitsgang parallel und tiefer.

Der Güttler Non-Stop-Striegel (Dreireihiger Striegel mit Prismenwalze) eignete sich für die Saatbettbereitung und außerdem für eine flache Stoppelbearbeitung, z.B. nach dem Winterraps. Nach dem Striegeln erfolgt die Aussaat der Zuckerrüben durch einen Lohnunternehmer mit einem konventionellen Einzelkornsäugerät "Accord Monopill".

Während die Aussaat des Weizens und auch des Raps im Weinbauklima Rheinhessen nicht zu früh erfolgen sollte, wird Sommergerste dagegen möglichst noch im Februar gesät. Auf besseren Standorten bevorzugt Reis Weizensorten wie Cubus, Asano oder Chevallier. Für die schwächeren Standorte sind trockenresistentere Sorten wie z.B. der begrannte Nirvana die bessere Wahl. Als Braugerste hat sich in den letzten Jahren vor allem Braemar bewährt. Bei Winterraps eignen sich vor allem Hybridsorten wegen ihrer besseren Triebkraft und Wurzelleistung. Bei Trockenheit ist es insbesondere beim Winterraps erforderlich, nach der Saat mit der Güttler-Prismenwalze anzuwalzen.

### **9.1.3 Mit dem "Horsch Airseeder" Nährstoffe im Herbst an die Wurzel bringen**

Die Mulchsaaten blieben in der Vergangenheit oft in ihrer Entwicklung hinter konventionell bestellten Beständen zurück. Ortwin Reis sah die Ursache darin begründet, dass im trockenen Klima Rheinhessens die Nährstoffversorgung nicht kontinuierlich erfolgt. In den oberen Schichten kam es zu einer Nährstoffanreicherung, in der Unterkrume dagegen zu einer Nährstoffverarmung. Bei Trockenheit lösen sich breitwürfig ausgebrachte Düngemittel nicht und werden erst nach einsetzenden Niederschlägen pflanzenverfügbar. Viel Stickstoff wird außerdem im Stroh gebunden. Der Landwirt kam zur Überzeugung, dass vor allem die Nährstoffverfügbarkeit ein Problem darstellt, das neue Lösungsansätze erfordert. Am besten bewährte sich in eigenen Versuchen die PPF-Technik des "Horsch Airseeders" (Abbildung 9-1). Mit diesem System lassen sich Nährstoffe direkt an Wurzel (P und N in Ammoniumsulfat) bringen, was er für Trockengebiete als prädestiniert ansieht. Mit der Unterfußdüngung bringt O. Reis den gesamten Bedarf an Phosphor sowie eine Startgabe an Stick-

stoff aus. Infolge der Unterfußdüngung steht den Pflanzen vor allem in der Jugendentwicklung ausreichend gut verfügbares Phosphat zur Verfügung. Von einer Vorratsdüngung mit Phosphat ist der Landwirt abgegangen, da Phosphat bei pH Werten um 7,5 im Boden zu schnell festgelegt werden. Kalium wird nach wie vor als Korn-Kali auf die Stoppel ausgebracht.



Abbildung 9-1: Horsch Airseeder, Bild: Scheid 2008

#### 9.1.4 CULTAN im Frühjahr mit Schleppschlauch- und Injektionstechnik

Die CULTAN-Düngung (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) im Frühjahr erfolgt auf dem Betrieb Reis mit einer modifizierten Anhängespritze Amazone UG 2200 (21 m), die dazu mit Schleppschläuchen der Firma Rau ausgerüstet wurde; diese haben ein Endstück aus Edelstahl und schleifen damit ständig auf dem Boden. Weizen und Raps erhalten so 170-180 kg N/ha als Ammon-Harnstoff-Lösung (AHL). Somit entstehen in einem Reihenabstand von 25 cm Düngerdepots mit einer hohen Ammonium-Konzentration an der Bodenoberfläche.



**Abbildung 9-2: Igelrad-Injektionstechnik, Bild: Richter 2010**

Auf einigen Weizenflächen wurde 2009 und 2010 versuchsweise die Injektionstechnik mit dem Igelrad (Abbildung 9-2) und einer Ammon-Sulfat-Lösung (8 % Ammonium + 9 % Schwefel) angewendet. Hierbei wird die Düngerlösung durch 6 bis 8 cm lange "Hartmetall Spokes" punktgenau als Depots an die Wurzel gebracht. In den Depots liegt Ammonium hoch konzentriert vor und kann deshalb von den Pflanzenwurzeln nur nach und nach erschlossen werden. Der Ausnutzungsgrad ist hoch, da die Gefahren von Verflüchtigung oder Auswaschung des Düngers relativ gering sind. Vorteilhaft ist weiterhin, dass die Ausbringung des Gesamtstickstoffes in nur einer Überfahrt vorgenommen werden kann. Die Ammonium-Depot-Düngung darf keinesfalls zu früh erfolgen. Beim Getreide ist das Entwicklungsstadium 31 (Einknotenstadium) optimal. Die späte Ammonium-Gabe und der damit verbundene latente N-Mangel verschieben offensichtlich die Hormonproduktion in den Pflanzen zu Gunsten von Kinetin, was wiederum zur Ausbildung größerer Wurzelsysteme im Verhältnis zum Spross führt. Besonders in Trockengebieten kann das ein großer Vorteil sein. Außerdem kommt es durch Ammonium-Depot Düngung im Boden zu einer partiellen Versauerung, was wiederum zu einer Mobilisierung von Phosphat und bestimmter "Mikronährstoffe" im Wurzelbereich führen kann.

#### **9.1.5 „CULTAN Bestände" müssen hungern!**

Ortwin Reis, der diese Variante der Stickstoffdüngung schon seit 1997 durchführt, berichtet von durchweg positiven Erfahrungen mit diesem System. Wichtig ist, dass die CULTAN - Düngung zu einem relativ späten Zeitpunkt, das heißt nicht vor dem Kulturstadium "Schoßbeginn" erfolgt. Bis dahin hungern die Bestände. Doch dies erweist sich nicht als nachteilig was den Ertrag betrifft. Der Anblick ist allerdings gewöhnungsbedürftig, so der Landwirt. Während sich konventionell angedüngte Bestände im April frischgrün präsentieren, scheinen die "CULTAN Bestände" in der Entwicklung zurückgeblieben zu sein. Ab Mai holt solch ein Weizen aber wieder auf und hält bei Trockenheit sogar länger durch. Ziel ist es, eine unproduktive Bestockung zu verhindern. Optimal für das Trockengebiet sind be-

reits 500 bis 550 Weizenähren je m<sup>2</sup>. Um das zu erreichen, ist die vom Praktiker durchgeführte Unterfußdüngung im Herbst mit rund 27 kg N/ha als AHL und 10 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> als Polyphosphat beim Weizen bereits ausreichend. Sollte der Bestand nach einem kalten Winter doch zu dünn sein, kann die Bestockung im März durch 25 kg N als AHL, bei einer Pflanzenschutzmaßnahme zugegeben, gefördert werden.

Die Kombination aus Unterfußdüngung und CULTAN-Verfahren führt zu einer verbesserten Wurzelentwicklung. Aufgrabungen zeigten, dass Wurzeln bis 1,8 m tief in den Boden eindringen, wobei die Regenwurmgänge eine wichtige Funktion als Leitbahnen haben.

Dadurch ist die Ertragssicherheit angestiegen und ein Ertragsniveau von 90-100 dt/ha Weizen wird erreicht. Die Ähren sind lang und von unten bis oben bekörnt, die Körner groß und gleichmäßig ausgebildet. Es gibt noch weitere Vorteile: Die Anfälligkeit des Weizens gegenüber Krankheiten und Lager ist bei ausschließlicher Ammoniumdüngung niedrig. Weil der Boden bei der Kombination aus Unterfuß- und Cultandüngung an Nitrat verarmt, ist der Unkrautdruck gering.

Eine Eigenart des CULTAN-Verfahrens besteht auch darin, dass die Rohproteingehalte im Korn relativ niedrig ausfallen. Bei Braugerste konnten so in den letzten Jahren bei einem Vollgersteanteil von 96-98 % stabile Rohproteingehalte von 10,5 -11,0% erreicht werden. Bei der Produktion von Backweizen ist jedoch eine N-Spätdüngung mit ca. 20 kg N/ha als Flüssigdünger (z.B. NTS-Lösung) notwendig, die im Fahnenblattstadium ausgebracht wird.

Eine Blattdüngung kann bei Sommergerste auf schwächeren Standorten erforderlich werden. Die Gesamtmenge von 60 kg N/ha sollte hier allerdings nicht überschritten werden. Ortwin Reis verfolgt die Versorgung mit Mikronährstoffen über Blattanalysen. Ein Mangel war bisher vor allem bei Mangan festzustellen, das bei hohen pH-Werten im Boden festgelegt wird. Deshalb ist zu Sommergerste eine Blattdüngung sinnvoll. Bei Wintertraps wird neben Mangan auch Bor zugesetzt.

#### **9.1.6 Bessere Bodenfruchtbarkeit und rückläufiger Pflanzenschutzmittelaufwand**

Der Pflanzenschutzaufwand auf dem Betrieb konnte in den letzten Jahren verringert werden. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der "Strohhygiene" zu. Infektiöse Rückstände wie Stroh und Stoppeln müssen schnell abgebaut werden. Durch den Einsatz des Strohstriegels, aber auch durch eine Vielzahl von Regenwürmern, wird die Umsetzung des Strohs stark beschleunigt. Beim Winterweizen reicht so eine Fungizidbehandlung während des Ährenschiebens in der Regel aus. Fusarium spielte bislang keine Rolle. Septoria tritici oder Halmbruch kann jedoch bei Weizenselbstfolge eine zweite Behandlung erforderlich machen.

#### **9.1.7 Mäuse und Schnecken**

Speziell auf den trockenen Lößstandorten ist bei einem Verzicht der Bodenbearbeitung mit einer starken Vermehrung der Mäuse zu rechnen, deren Bekämpfung Spareffekte wieder zunichte machen kann. Wichtig ist, den Mäusen die Deckung zu nehmen, also das Stroh gut zu verteilen, einzuarbeiten und keinen Bewuchs zuzulassen sowie die "Grüne Brücke" zu unterbrechen. Dann sorgen Mäusebussard und Fuchs für eine Kontrolle der Population.

Mit Schnecken gab es Anfangs einige Probleme. Nach langjähriger Mulchsaat haben sich räuberische Laufkäfer vermehrt und halten die Schneckenpopulation kurz. Vorbeugend gegen Schnecken hilft der Einsatz der Walze. Selbst in feuchten Jahren reicht dann eine Randbehandlung mit Schneckenkorn meist aus.

#### **9.1.8 Herbizideinsatz ohne erhöhten Aufwand**

Um Ausfallgetreide und Unkraut zu bekämpfen, werden die Möglichkeiten des Glyphosat-Einsatzes auf der Raps- und Getreidestoppel genutzt. Meist reichen 1,5 l/ha eines Glyphosats aus. Nur bei größerem Ausfallraps und Ackerkratzdistel wird die Aufwandmenge erhöht. Häufig genügt sogar eine Randbehandlung an Wegrändern und Böschungen. Bei Zuckerrüben hat sich eine Voraufbehandlung mit RoundUp UltraMax bewährt.

Durch Fruchtfolge, Stoppelbearbeitung (Strohstriegel) und Glyphosateinsatz werden selbst Problemunkräuter wie z.B. die Taube Trespe auch ohne Spezialherbizide zurückgedrängt. Auf Herbstmaßnahmen kann aufgrund des späten Aussaattermins verzichtet werden. Mit Broadway im Frühjahr werden alle wichtigen Ungräser wie Flughafer, Ackerfuchsschwanz und Windhalm in Winterweizen gut und sicher erfasst. Beim Winterraps kommt vorwiegend Effigo in Verbindung mit einem Gräsermittel zum Einsatz. Bei Zuckerrüben ist eine dreimalige Standardbehandlung ausreichend. Mischungen aus Einzelwirkstoffen und ein im Betrieb vorhandenes Bandspritzgerät ermöglichen Herbizideinsparungen von bis zu 50 %.

#### **9.1.9 Bodenfruchtbarkeit und Humusgehalt sind gestiegen**

Seitdem auf das Pflügen verzichtet wird, hat sich die Bodenfruchtbarkeit verbessert. Auf den steinigen Grenzertragsflächen werden Erträge erzielt, die an die übrigen Flächen herankommen. Der Regenwurmbestand hat sich deutlich erhöht. Im Frühjahr zeigen viele Strohpyramiden an, wo sich aktive Regenwurmgänge befinden. Verkrustungen und Verschlammungen sind, wie auch die Bodenerosion durch Wind und Wasser heute kein Thema mehr. Da in der Vergangenheit weder organische Düngemittel ausgebracht- noch humusmehrende Kulturen angebaut wurden, müsste der Humusgehalt eigentlich rückläufig sein. Die regelmäßig durchgeführten Bodenanalysen zeigen jedoch, dass sich der Humusgehalt in der Schicht 0-20 cm seit 1982 bis heute von 2,3 % auf 2,8 % erhöht hat.

#### **9.1.10 Schlussbetrachtung**

Höchsterträge mit einem hohen Aufwand an Dünger, Pflanzenschutz oder Beregnung zu produzieren, lohnt heute nicht mehr. Der Landwirt Ortwin Reis hat es geschafft, durch reduzierte und bodenschonende Bearbeitung mit Hilfe von Mulchsaat, Unterfußdüngung und CULTAN seinen Betrieb nicht nur wirtschaftlich zu optimieren. Auch im Hinblick auf den Umweltschutz und auf derzeit sich in Umsetzung befindlichen Rahmenrichtlinien bezüglich Boden- und Wasserschutz hat der Landwirt wichtige Vorarbeit geleistet.

#### **9.1.11 Literatur**

Reis, O. (2005): Nährstoffe an die Wurzel bringen. Landwirtschaft ohne Pflug, 5/2005, S. 4-9

Richter M., Reis O. (2010): Streifenbearbeitung und Cultan-Düngung kombiniert. Landwirtschaftliches Wochenblatt 32/2010, S. 24-28

Reis O. (2010): Mündliche Angaben zu den betrieblichen Zusammenhängen. 15.03.2010

## 9.2 Betrieb Manfred Mades, erfolgreich pfluglos seit über 10 Jahren

Ingo Scheid; Dienstleistungszentrum für den ländlichen Raum in Bad Kreuznach

### 9.2.1 Betriebliche Kenngrößen

Manfred Mades bewirtschaftet 198 ha Ackerfläche in Sponheim, einem kleinen Ort in der Region Nahe-Hunsrück in Rheinland-Pfalz. Die Ackerflächen liegen ca. 180 - 200 m über NN. Die Flächen sind mit 40 bis 80 Bodenpunkten eingestuft. Die bewirtschafteten Schläge liegen in einer Entfernung bis maximal 6 km von dem Betrieb. Die durchschnittliche Parzellengröße beträgt 4,5 ha. Angebaut werden vorwiegend Winterraps, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Sommergerste. Seit 1999 werden die Flächen pfluglos bewirtschaftet. Landwirt Mades vermarktet über AGIL e. V., einer Organisation von Landwirten, die sich selbst zum integrierten Anbau verpflichten. Alle Flächen werden nach den entsprechenden Richtlinien des Vereins bewirtschaftet. Maßgebende Restriktionen des Anbaus in Folge einer Vermarktung über AGIL e.V. sind:

- Verzicht auf den Wachstumsregler CCC (Chlormequatchlorid),
- kein Einsatz von Klärschlamm,
- kein Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen,
- Stickstoffdüngung nach dem System N- min Rheinland-Pfalz (Fritsch 2008),
- Einhaltung der in Tabelle 9-1 genannten Obergrenzen für Stickstoff in bestimmten Kulturen.

**Tabelle 9-1: Obergrenzen für Stickstoffdüngung nach den Richtlinien von Agil e. V.**

Kultur	N-Obergrenze in kg/ha
Winterbraugerste	70
Sommerbraugerste	70
Winterroggen	120
Winterweizen	170

In dem landwirtschaftlichen Unternehmen werden zwei Fruchtfolgen gefahren, eine auf besseren Standorten mit Ackerzahlen über 55 und eine auf Standorten mit Ackerzahlen unter 55 (Abbildung 9-4). Die einzelnen Fruchtfolgeglieder der verschiedenen Fruchtfolgen können der Tabelle 9-2 entnommen werden. Die Aufteilung der einzelnen Früchte auf die Flächenanteile ist in Abbildung 9-3 dargestellt. Die Maßnahmen im Ackerbau werden mit

den in Tabelle 9-3 aufgezählten Maschinen durchgeführt. Nach Angaben des Betriebsleiters werden im Durchschnitt der Jahre die in Tabelle 9-4 dargestellten Erträge geerntet.

**Tabelle 9-2: Fruchtfolgen im Betrieb Mades**

Bessere Standorte (G)	Schlechtere Standorte (S)
Winterraps	Winterraps
Winterweizen	Winterweizen
Winterweizen	Winterbraugerste
Sommergerste	Winterroggen

**Tabelle 9-3: Maschinenausstattung zur Bewirtschaftung im Betrieb Mades**

Zugmaschinen	
Schlepper 41 – 48 kW	
Schlepper 72 – 81 kW	
Schlepper 82 – 97 kW	
Schlepper 98 – 110 kW	
Transport	
Kipper	18 t
Kipper	18 t
Gerät	Arbeitsbreite in m
Bodenbearbeitung/ Aussaat	
Flügelscharrgrubber Horsch	4,00
Tiefengrubber + Krümmler	2,50
Federzahnegge	4,40
Crosskillwalze	6,30
Scheibenegge	5,00
Hackstriegel	7,50
Doppelscheibenschardrillmaschine Horsch Pronto	4,00
Düngung / Pflanzenschutz	
Pflanzenschutzspritze	28
Schleuderstreuer	28
Ernte	
Mähdrescher mit Häcksler und Rapsschneidwerk	6,10
Mulchgerät	3,00

**Tabelle 9-4: Durchschnittliche Erträge in dt/ha in Abhängigkeit von der Ackerzahl**

Kultur	Standorte > AZ 55 (G)	Standorte < AZ 55 (S)
Winterweizen Vorfrucht Winterraps	80	70
Winterbraugerste		55
Sommergerste	45	
Winterraps	42	38
Winterroggen		65
Winterweizen Vorfrucht Winterweizen	70	

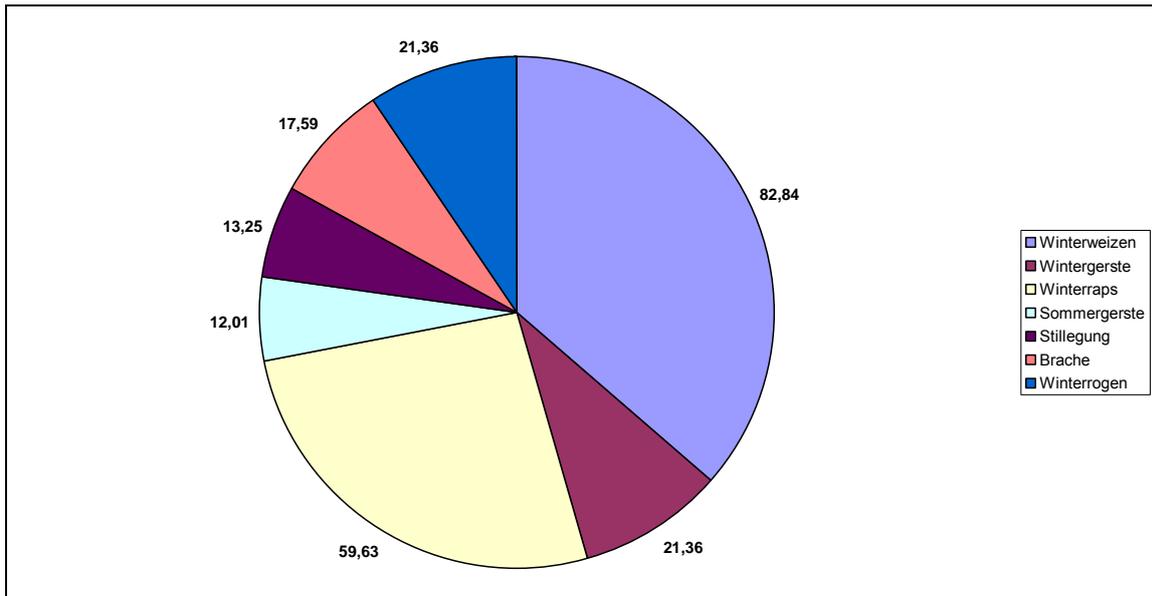
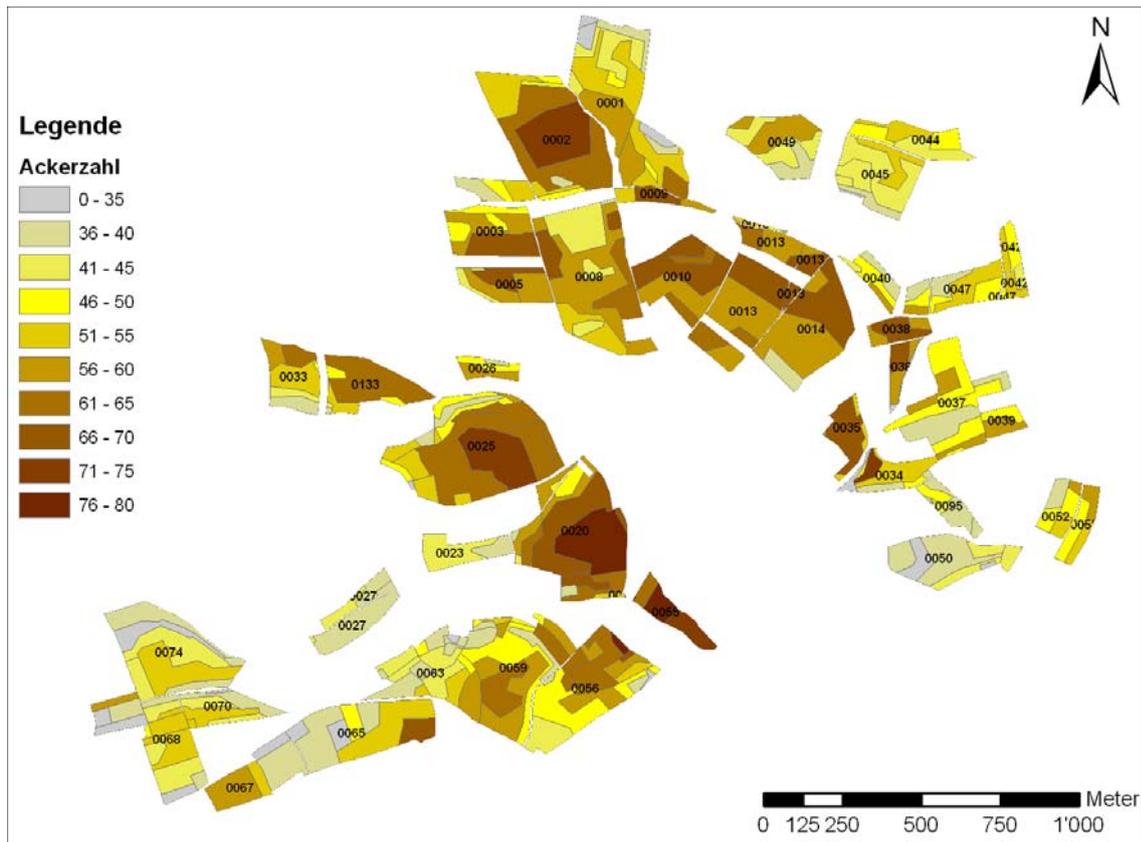


Abbildung 9-3: Anteil der einzelnen Kulturen an der Gesamtfläche im Jahr 2009

### 9.2.2 Naturräumliche Kenngrößen

Die Böden des Betriebs Mades werden überwiegend mit Bodenzahlen zwischen 40 und 50 bewertet. Die nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum liegt in der Regel unter 140 mm. Teilweise wurden während des Quartär größere Lössmächtigkeiten abgelagert. Hier finden sich heute erodierte Parabraunerden, die mit Bodenzahlen zwischen 60 und 75 bewertet werden. Die nutzbare Feldkapazität dieser ertragsreichen Böden liegt um die 200 mm.



**Abbildung 9-4: Ackerzahlen der Schläge Betrieb Mades, Quelle LGB (2010)**

Die langjährige Durchschnittstemperatur am Standort beträgt  $9,8^{\circ}\text{C}$ , gemessen an der Wetterstation in Bad Kreuznach von dem Jahr 1959 bis 2009. Die Station ist ca. 4 km Luftlinie von Sponheim entfernt. In den letzten zehn Jahren wurde eine Durchschnittstemperatur von  $10,6^{\circ}\text{C}$  gemessen. Die Jahresdurchschnittswerte von 1999 bis 2009 können der Abbildung 9-5 entnommen werden. Der langjährige durchschnittliche Jahresniederschlag, gemessen von 1959 bis 2009 an der Wetterstation in Bad Kreuznach betrug  $534\text{ l/m}^2$ . In den letzten zehn Jahren fielen im Schnitt  $605\text{ mm}$ . Die Durchschnittswerte der Jahre 1999 bis 2009 können der Abbildung 9-6 entnommen werden.

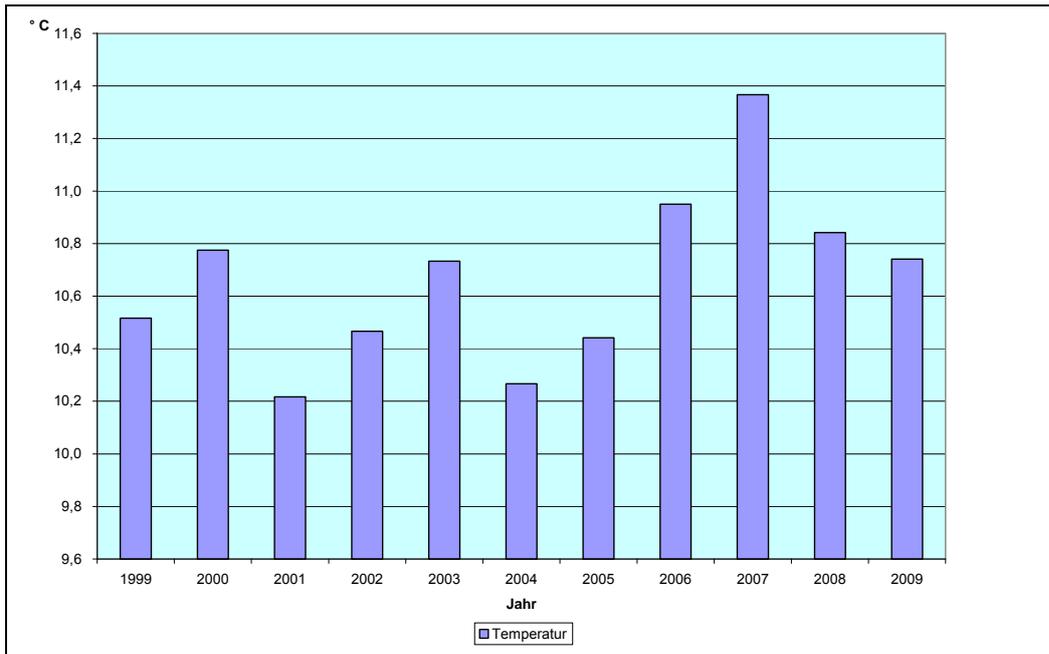


Abbildung 9-5: Jahresdurchschnittstemperaturen 1999 bis 2009 in °C, Station Bad Kreuznach

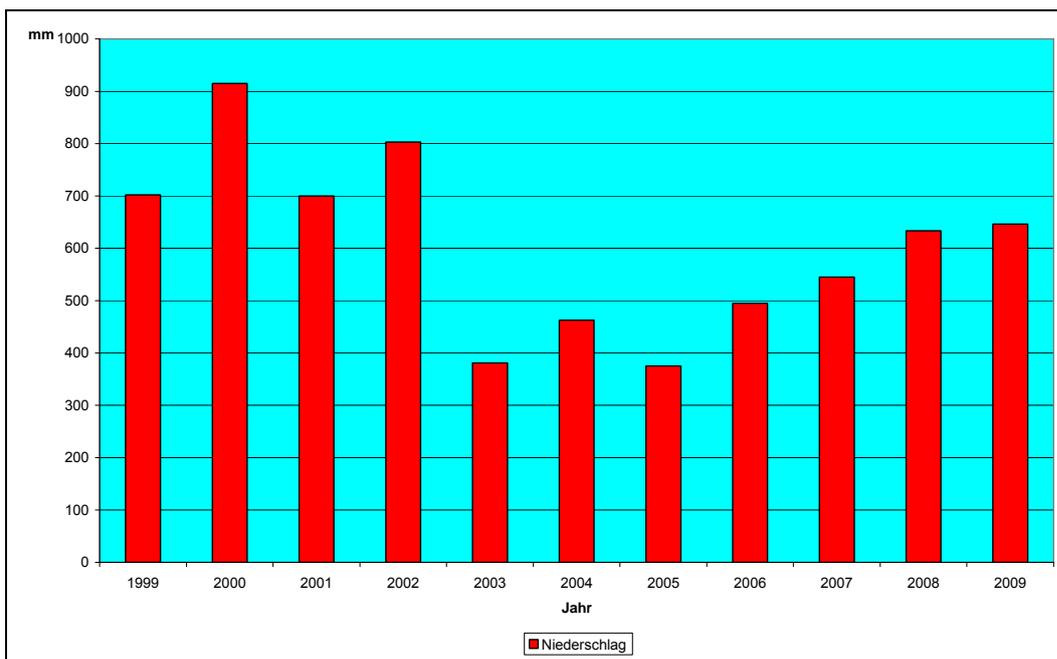


Abbildung 9-6: Durchschnittlicher Jahresniederschlag 1999 bis 2009 in l/m<sup>2</sup>, Station Bad Kreuznach

## 9.2.3 Anbauverfahren

### 9.2.3.1 Winterweizen

Für Winterweizen wird nach Raps flach mit der Scheibenegge gearbeitet. Vor der Aussaat wird der Boden mit dem Grubber Horsch Terrano (Abbildung 9-7) auf 12 cm Tiefe gelockert. Anschließend erfolgt die Einsaat mit der Doppelscheibenscharmaschine Horsch Pronto (Abbildung 8). Die Aussaatmenge beträgt 280 Körner/m<sup>2</sup>. Bei Vorfrucht Winterweizen erfolgt eine tiefere Lockerung mittels Flügelschargrubber. Bei Vorkommen von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) erfolgt die Herbizidmaßnahme im Herbst mit einer Kombination aus den Präparaten Stomp (Wirkstoff Pendimethalin) und Lexus (Wirkstoff Flupyrsulfuron) oder dem Mittel Absolute M (Diflufenikan + Flupyrsulfuron). Die im pfluglosen Anbau sich schnell etablierende Tresse (*Bromus ssp.*) wird im Frühjahr mit dem Mittel Broadway (Wirkstoffe Pyroxulam + Florasulam), welches zudem über eine große Breitenwirkung verfügt, wirksam kontrolliert. Dieses Mittel wird auch bei Winterweizen, die nach der ersten Oktoberwoche ausgesät werden, verwendet. Die N-Düngung wird auf drei Gaben im Frühjahr verteilt. Die erste fällt Mitte bis Ende der Bestockung, die zweite im Stadium BBCH 32 - 37 des Getreides und die dritte zu Beginn des Ährenschiebens. Die Berechnung der Ausbringhöhe erfolgt mittels des N-min Systems Rheinland-Pfalz (Fritsch 2008). Sie liegt in der Regel um die 170 kg N/ha, da die Obergrenzen von Agil e. V. beachtet werden müssen. Fungizidmaßnahmen erfolgen nach Schadschwellen. Hauptkrankheiten in der Region sind Blattdürre (*Septoria tritici*) und Braunrost (*Puccinia recondita*). In Jahren mit günstigen Infektionsbedingungen ist auf parasitären Halmbruch (*Pseudocercospora herpotrichoides*) zu achten. Insektizidmaßnahmen sind in der Regel nicht notwendig.



Abbildung 9-7: Grubber Horsch Terrano, Bild Scheid (2008)

### 9.2.3.2 Winterraps

Für Raps erfolgt eine zweimalige Bearbeitung des Bodens mit dem Flügelschargrubber, der erste Arbeitsgang flach, der zweite etwas tiefer. Nach der Saat wird gewalzt. Die Aussaatstärke beträgt 55 Körner/m<sup>2</sup>. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist Raps die intensivste Kultur in diesem Betrieb. Vor Auflauf der Kultur wird Schneckenkorn (Wirkstoff Methaldehyd) gestreut. Nach dem Auflaufen erfolgt eine Herbizidmaßnahme mit Butisan Top gegen Dikotyle, einer Kombination aus den Wirkstoffen Metazachlor + Quinmerac und Focus Ultra (Wirkstoff Cycloxydim) gegen Ausfallgetreide. Im zeitigen Frühjahr wird der große Rapsstängelrüssler (*Ceuthorrhynchus napi*) und vor der Rapsblüte der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) mit Insektiziden aus den Wirkstoffgruppen der Phyrethroide Typ I bzw. Typ II oder der Neonicothinoide behandelt. Zum Insektizid wird Bor gemischt. Vor der Behandlung werden die entsprechenden Schadschwellen ermittelt. Gegen Weißstängligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) wird in der Blüte ein Fungizid eingesetzt. Die Behandlung erfolgt nach den Empfehlungen des Prognosemodells Scleropro unter [isip.de](http://isip.de). Zur Förderung der Jugendentwicklung wird im Herbst eine N-Düngung in Höhe von 20 bis 30 kg N/ha durchgeführt. Die Höhe der N-Düngung im Frühjahr richtet sich nach der o. g. Nmin Methode (Fritsch 2008). Sie liegt um die 160 kg N/ha und wird auf zwei Gaben verteilt, die erste zu Vegetationsbeginn, die zweite zu Beginn des Längenwachstums. Die erste Gabe wird mit einem schwefelhaltigen N-Dünger durchgeführt.



Abbildung 9-8: Universaldrillmaschine Horsch Pronto, Bild Scheid (2008)

### 9.2.3.3 Winterbraugerste

Die Bodenbearbeitung zur Wintergerste wird im ersten Arbeitsgang flach mit der Scheibenegge durchgeführt, anschließend erfolgt eine tiefere Lockerung mit dem Flügelschargrubber. Die Aussaatstärke beträgt 300 Körner/m<sup>2</sup>. Bis zum Dreiblattstadium der Kultur wird die Herbizidmaßnahme mit den Wirkstoffen Isoproturon und Diflufenikan ausgeführt. Ein Fungizid wird im Frühjahr ab BBCH 32 bei Erreichen der Schadschwelle gegen Rhynchosporium Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*) und Netzflecken (*Phyronophora terres*) appliziert. Da hohe Anforderungen an die Qualität, bezüglich eines niedrigen Eiweißgehalts, an die Gerste gestellt werden (max. 11,5 %), wird nur eine verhalten bemessene N-Gabe zur Mitte der Bestockung gegeben.

### 9.2.3.4 Winterroggen

Die Bodenbearbeitung zum Winterroggen erfolgt ebenfalls zum ersten Arbeitsgang flach mit der Scheibenegge, anschließend wird, auch um Weizendurchwuchs vorzubeugen, tief gegrubbert. Zusätzlich wird Glyphosat eingesetzt. Die Aussaatsärke beträgt 210 Körner/m<sup>2</sup>. Die Herbizidmaßnahme wird im Herbst mit Absolute M (Wirkstoffe: Diflufenikan und Fluorpyrsulfuron) im Dreiblattstadium der Kultur durchgeführt. Eine Fungizidmaßnahme muss in der Regel nach Erreichen der Schadschwelle gegen Braunrost (*Puccinia recondita*) erfolgen. Die Stickstoffdüngung wird auf zwei Gaben verteilt, die Höhe richtet sich nach der N-min Methode (Fritsch 2008).

### 9.2.3.5 Sommergerste

Sommergerste stellt die extensivste Kultur im Betrieb dar. Im Herbst wird der Boden mit dem Flügelschargrubber tief bearbeitet. Im Frühjahr erfolgt eine weitere Lockerung mit der Federzahnegge, wobei gleichzeitig der Dünger eingearbeitet wird, um die Feuchtigkeit des Bodens zur Umsetzung in pflanzenverfügbare Nährstoffe auszunutzen. Die Aussaatstärke beträgt 300 Körner/m<sup>2</sup>. Die Höhe der N-Gabe wird aufgrund der Qualitätsziele (Eiweiß max. 11,5 %) sehr verhalten bemessen. In der Bestockung wird die Herbizidmaßnahme mit dem Präparat Artus, einer Kombination aus den Wirkstoffen Carfentazon und Metsulfuron, durchgeführt. Fungizidmaßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich. Die Grunddüngung im Betrieb Mades wird alle drei Jahre nach Bodenuntersuchung und Bilanzierung durchgeführt. Als Dünger wird zurzeit Raiffeisenkalk verwendet. Die Anbauverfahren sind beispielhaft für das Erntejahr 2009 nach den Angaben der Schlagkartei des Betriebs Mades in den Tabelle 9-5 bis Tabelle 9-10 dargestellt.

**Tabelle 9-5: Anbauverfahren Winterweizen Vorrucht Winterraps**

<b>Winterweizen Vorrucht Winterraps</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Scheibenegge Bearbeitungstiefe: 5 cm Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 12 cm	
<b>Aussaatstärke</b>		280 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Herbizid	Stomp + Lexus	2 + 0,02	11 – 13
Fungizid	Bsp. Opus Top	1,2	55 - 61
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	50		25
2. Gabe	55		31
3. Gabe	65		51

**Tabelle 9-6: Anbauverfahren Winterweizen Vorfrucht Winterweizen**

<b>Winterweizen Vorfrucht Winterweizen</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Scheibenegge Bearbeitungstiefe: 5 cm Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 15 cm	
<b>Aussaatstärke</b>		280 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Herbizid	Broadway	0,225	11 – 13
Fungizid	Champion + Dia- mant	0,7 + 0,7	39 – 49
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	50		25
2. Gabe	55		31
3. Gabe	65		51

**Tabelle 9-7: Anbauverfahren Winterraps**

<b>Winterraps</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Scheibenegge Bearbeitungstiefe: 5 cm Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 15 cm Walzen	
<b>Aussaatstärke</b>		55 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Moluskizid	Schneckenlinsen	3	00
Herbizid	Butisan Top + Focus Ultra	2 + 1,4	12
Fungizid	Folicur + Ortiva	0,5 + 0,6	63
Insektizid	Bulldog	0,3	32
	Trebon b.z.w. Bisca- ya	0,2/ 0,3	55
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	30		14
2. Gabe	95		31
3. Gabe	72		51

**Tabelle 9-8: Anbauverfahren Winterbraugerste**

<b>Winterbraugerste</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Scheibenegge Bearbeitungstiefe: 5 cm Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 12 m	
<b>Aussaatstärke</b>		300 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Herbizid	Fenikan + IPU	2 + 1	11 – 13
Fungizid	Capitan	0,8	39 – 49
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	70		25 - 29

**Tabelle 9-9: Anbauverfahren Winterroggen**

<b>Winterroggen</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Scheibenegge Bearbeitungstiefe: 5 cm Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 12 cm	
<b>Aussaatstärke</b>		210 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Herbizid	Absolute M	0,18	11 – 13
Fungizid	Amistar Opti + Gladio	1,5 + 0,5	39 – 49
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	65		25 – 29
2. Gabe	50		37 - 39

**Tabelle 9-10: Anbauverfahren Sommergerste**

<b>Sommerbraugerste</b>			
<b>Bodenbearbeitung</b>		Flügelschargrubber Bearbeitungstiefe: 12 cm Federzahnegge Bearbeitungstiefe: 7 cm	
<b>Aussaatstärke</b>		300 Körner/m <sup>2</sup>	
<b>Pflanzenschutz</b>			
	<b>Mittel</b>	<b>Aufwandmenge in l bzw. kg/ha</b>	<b>BBCH</b>
Herbizid	Artus	0,05	21 – 29
<b>N- Düngung</b>			
	<b>Höhe in kg/ha Reinnährstoff</b>		
1. Gabe	30		Vor Saat

#### 9.2.4 Literatur

Fritsch, F. (2008): Merkblätter sachgerechte Düngung. [www.dlr-rlp.de](http://www.dlr-rlp.de), Abruf 26.06.2010

LGB - Landesamt für Geologie und Bergbau, Mainz (Hrsg.) (2005): Geologie von Rheinland-Pfalz. Mainz, ISBN 3-510-65215-0

Mades, M. (2009): Ackerschlagkartei 2009

Mades, M. (2010): Mündliche Angaben zu den betrieblichen Zusammenhängen.  
12.04.2010



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Rheinland-Pfalz herausgegeben. Sie darf weder von Parteien, noch Wahlbewerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

**Herausgeber**

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung,  
Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Straße 1  
55116 Mainz



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,  
ERNÄHRUNG, WEINBAU  
UND FORSTEN

Kaiser-Friedrich-Straße 1  
55116 Mainz

[poststelle@mulewf.rlp.de](mailto:poststelle@mulewf.rlp.de)  
[www.mulewf.rlp.de](http://www.mulewf.rlp.de)