

# BÖL

Bundesprogramm  
Ökologischer  
Landbau

## Nicht wendendes Bodenbearbeitungssystem im Ökologischen Landbau-Dammkultursystem "Turiel"

Systems of reduced tillage in organic farming: the ridge till system from Turiel-Major

**FKZ: 02OE525**

**Projektnehmer:**

Universität Kassel  
Fachgebiet Bodenkunde  
Nordbahnhofstrasse 1a, 37213 Witzenhausen  
Tel.: +49 5542 981518  
Fax: +49 5542 981606  
E-Mail: [mbrandt@wiz.uni-kassel.de](mailto:mbrandt@wiz.uni-kassel.de)  
Internet: <http://www.wiz.uni-kassel.de>

**Autoren:**

Brandt, Michael; Heß, Jürgen; Finckh, Maria; Jörgensen, Rainer G.; Kölsch, Eberhard; Saucke, Helmut;  
Schenk z. Schweinsberg, Mario; Schüler, Christian; Otto, Marius

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

# Bundesprogramm Ökologischer Landbau

## Schlussbericht

### Projekt 02OE525

Projektzeitraum: Okt. 2002 bis Dez. 2003

# Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau

## Projektleitung:

**Dr. Michael Brandt \***

**Prof. Dr. Jürgen Heß \*\***

## Fachbereich

**Ökologische Agrarwissenschaften**

**der**

**Universität Kassel**

in Zusammenarbeit mit:

<b>Prof. Dr. Maria Finckh</b>	<b>(Pflanzenschutz)</b>
<b>Prof. Dr. Rainer G. Jörgensen</b>	<b>(Bodenbiologie)</b>
<b>Dipl.-Ing. (FH) Eberhard Kölsch</b>	<b>(Versuchswesen)</b>
<b>Dr. Helmut Saucke</b>	<b>(Pflanzenschutz)</b>
<b>Dipl.-Ing. (FH) Mario Schenck</b>	
<b>z. Schweinsberg – Mickan</b>	<b>(Bodenkunde)</b>
<b>Dr. Christian Schüler</b>	<b>(Land- u. Pflanzenbau)</b>
<b>Dipl.-Ing. (FH) Marius Otto</b>	<b>(Versuchswesen)</b>

\*Fachgebiet Bodenkunde; \*\* Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau;  
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel, Nordbahnhofstr. 1a,  
D-37213 Witzenhausen

## **KURZFASSUNG**

In dem interdisziplinären Forschungsprojekt wurde ein Exaktversuch für Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau eingerichtet. Verglichen werden das Dammkultursystem (DKS) nach Turiel-Major und das Ecomat-System der Firma Kverneland mit dem herkömmlichen Pflugsystem, jeweils im Kontext entsprechend angepasster Anbauverfahren. Im Rahmen des Projektes wurden auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen, dem Lehr- und Transferzentrum des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel, zwei Workshops durchgeführt. Durch den regelmäßigen Kontakt mit Landwirten, Beratern, Entwicklern und Wissenschaftlern wurde und wird Praxiswissen in die Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen einfließen. Der Wissenstransfer in beiden Richtungen wurde und wird intensiviert und vorangetrieben.

Es handelt sich um einen Bodenbearbeitungssystemversuch im ersten Versuchsjahr. Insofern sind die Ergebnisse nicht geeignet, die Systeme zur Bodenbearbeitung in ihrer Gesamtheit zu bewerten.

Der Systemwechsel zum Ecomat ist einfach zu bewerkstelligen. Die Veränderungen zum Standard-Pflugsystem sind gering. Die Vorzüge des Ecomat-Systems liegen in seiner hohen Schlagkraft. Durch die geringe Bearbeitungstiefe ist der Zugkraftbedarf gering. Bei 3 m Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeiten von 9-12 km/h werden Flächenleistungen bis zu 2,5 ha/h erreicht. Das Ecomat-System hatte im Umstellungsjahr keine nachteiligen Auswirkungen auf die Erträge. Die N-Mineralisation verlief wie beim Pflugsystem.

Bei der Umstellung auf DKS ist die Dammbreite (75 oder 90 cm) der Arbeitsbreite und der Pflanz- und Erntetechnik anzupassen. Das DKS nach Turiel-Major zeichnet sich gegenüber anderen DKS durch seine hohe Flexibilität und Arbeitsbreiten bis zu 7,2 m aus. Eine Systemumstellung nach der Ernte zur Herbstbestellung ist sinnvoller als im Frühjahr. Die Erträge bei Umstellung auf das DKS waren bei der extrem trockenen Witterung im Frühjahr geringer als bei den Pflugsystemen. Sie erlauben daher keine allgemeingültige Bewertung des DKS, da sich die Veränderungen der Bodenstruktur erst nach mehreren Jahren stabilisieren werden.

## **ABSTRACT**

A field experiment for systems of reduced tillage in organic farming was installed as interdisciplinary research project. The ridge till system from Turiel-Major and the Ecomat-system from Kverneland compared with the conventional ploughing system with the aim to adapt tillage systems. Within the project, located on the Hessian State Domain, two workshops were organized with the education and transfer centre of the Faculty of Organic Agriculture Sciences, University of Kassel. Due to the regular contact with farmers, advisers and scientists, knowledge of practice was transported into scientific research.

After the first year of field experiment with the tillage systems the results are not suitable to evaluate the tillage systems finally.

The change to the Ecomat-system is simple to manage from the standard ploughing system. The advantage of the Ecomat-System is the high effectiveness. Due to the shallow working depth of tillage, the force for towing is low. Working width of 3 m and travel speeds of 9 to 12 km/h leads to work rates up to 2.5 ha/h. In the year of implementing the Ecomat-system there were no decreases in yields. The mineralization of nitrogen was the same as in the ploughing system.

When changing to the ridge till system, the width of the dams (75 or 90 cm) must be fitted to the track width, planting and harvesting equipment. The advantages of the ridge till system of Turiel-Major in comparison to other ridge till systems are the higher flexibility and the working width up to 7.2 m. Implementation of the system after harvesting before tillage in autumn is more practical than changing the system in spring time. The yields of the ridge till system were due to the time of implementation and the spring drought lower than in the ploughing systems. The yields are not suited to evaluate the ridge till system because changes in soil structure will stabilise after several years.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im Ökologischen Landbau</b>	<b>6</b>
1.1	Planung und Ablauf des Projekts	7
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde	7
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Versuchsstandort</b>	<b>9</b>
2.1.1	Lage	9
2.1.2	Boden	9
2.1.3	Klima	11
<b>2.2</b>	<b>Versuchsanlage</b>	<b>12</b>
2.2.1	ECOMAT™-System	12
2.2.2	Dammkultursystem TURIEL-MAJOR	13
2.2.3	Konventionelle Bodenbearbeitung - Pflugsystem	14
2.2.4	Fruchtfolge	14
2.2.5	Versuchsdesign	15
2.2.6	Bearbeitungsmaßnahmen	17
<b>2.3</b>	<b>Untersuchungsprogramm und Methoden</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Bodenphysikalische Untersuchungen</b>	<b>25</b>
3.1.1	Eindringwiderstand	25
3.1.2	Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung sowie Porengrößenverteilung	30
3.1.3	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	34
3.1.4	Bodenerosion durch Wasser	37
<b>3.2</b>	<b>Bodenchemische Untersuchungen</b>	<b>37</b>
3.2.1	Voruntersuchungen	37
3.2.2	Versuchsbegleitende Untersuchungen	40
3.2.2.1	N <sub>min</sub> Gehalte im Boden	40
3.2.2.2	Pflanzenverfügbares P, K und Mg im Boden	45
3.2.2.3	Stickstoffentzüge während der Vegetationsperiode	45
<b>3.3</b>	<b>Bodenbiologische Untersuchungen (R. G. Jörgensen u. M. Lein)</b>	<b>49</b>
3.3.1	Mikrobielle Biomasse	49
3.3.2	Basalatmung	50
3.3.3	Regenwürmer	52
<b>3.4</b>	<b>Pflanzenbauliche Untersuchungen</b>	<b>53</b>
3.4.1	Feldaufgang	53
3.4.2	Ertrag	54
3.4.3	Hafer	54

---

3.4.4	Ackerbohnen	56
<b>3.5</b>	<b>Phytophanitäre Untersuchungen (H. Saucke u. M. Finckh)</b>	<b>58</b>
3.5.1	Bonitur auf Kardinalschädlinge in Fababohnen und Hafer	58
3.5.2	Bonitur auf Beikrautbesatz in Fababohnen	59
3.5.3	Bonitur auf Krankheiten in Fababohnen	60
<b>3.6</b>	<b>Diskussion Exaktversuch Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL</b>	<b>60</b>
<b>3.7</b>	<b>Maßnahmen zum Erfahrungs- und Wissenstransfer zwischen Forschung, Entwicklung, Praxis und Beratung</b>	<b>62</b>
3.7.1	Workshops / Feld- und Informationstag „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL“	62
3.7.2	Fachvorträge	64
3.7.3	Begleitende Forschungsarbeiten	65
3.7.3.1	Diplomarbeit: Praxiserhebung Konservierende Bodenbearbeitung im ÖL	65
3.7.3.2	Diplomarbeit: Bodenstruktur	66
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen erreichten Zielen</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>78</b>

## **1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im Ökologischen Landbau**

Ziel des Vorhabens ist es, die Erfahrungen und Kenntnisse im Bereich der konservierenden Bodenbearbeitung speziell auf die Bedürfnisse des Ökologischen Landbaus auszurichten und zu erweitern. Im Vordergrund stehen die Beseitigung von Wissens- und Erfahrungslücken in der landwirtschaftlichen Praxis und der Beratung im Öko-Landbau.

Dabei sollen die Wirkungen von verschiedenen Systemen der Bodenbearbeitung unter den Anforderungen des Ökologischen Landbaus auf pflanzenbauliche und bodenökologische Parameter untersucht werden. In dem interdisziplinären Forschungsvorhaben unter der Beteiligung der Fachgebiete Bodenkunde, Bodenbiologie, Ökologischer Pflanzenbau und Ökologischer Pflanzenschutz kommt dabei den Wechselwirkungen der untersuchten Parameter auf die Prozesse der Bodenfruchtbarkeit unter den verschiedenen Bearbeitungsverfahren eine besondere Bedeutung zu. Die Untersuchungen sollen die Bewertung der eingesetzten Bearbeitungsverfahren hinsichtlich einer umweltschonenden und effizienten Bodennutzung im Ökologischen Landbau ermöglichen.

Das Projekt stellt den Einstieg in eine Langzeitstudie dar, die mit einer Dauer von 10 Jahren geplant wurde, um die Auswirkungen der Bearbeitungssysteme unter verschiedenen Kulturen und in der Gesamtfruchtfolge zu erfassen. Neben der Erfassung und Bewertung von Produktionsdaten sollen Hemmnisse identifiziert sowie Lösungsstrategien und praktische Handlungsanweisungen für Betriebe, die die Bodenbearbeitungsverfahren nutzen wollen, erarbeitet werden.

Durch die Anschubfinanzierung sollen die Grundlagen für die Einrichtung des Langzeitversuches am Versuchsbetrieb der Universität Kassel geschaffen werden. Neben der Anlage des Exaktversuches sollen alle notwendigen Parameter erfasst, dokumentiert und bewertet werden, die für den Versuchsbeginn notwendig sind. Sie stellen die Grundlage für eine vergleichende Bewertung der Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL in der Zukunft dar. Bei der Festlegung der Fragestellungen und Untersuchungsziele sollen frühzeitig Landwirte, Berater und Entwickler verstärkt einbezogen werden. Die erwarteten Ergebnisse aus der Phase der Versuchetablierung sind sicherlich noch nicht geeignet, um die Bearbeitungssysteme zu bewerten, da sich die Fließgleichgewichte von Bodenparametern erfahrungsgemäß erst nach 5 bis 10 Jahren einstellen.

### **Maßnahmen zum Erfahrungs- und Wissenstransfer zwischen Forschung, Entwicklung, Praxis und Beratung**

Auf Grundlage der Erkenntnisse sollen Workshops zur Vermittlung der Ziele und Umsetzung bodenschonender Bewirtschaftungsverfahren an wissenschaftliche und fachlich orientierte Interessengruppen wie Landwirte, Berater und Entwickler durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollen auf Fachtagungen mit Wissenschaftlern und Beratern kontrovers diskutiert werden, um die Transdisziplinarität zu fördern. Die Ergebnisse sollen darüber hinaus über regel-

mäßige Veröffentlichungen einem breiten fachwissenschaftlichen und praxisorientierten Publikum zugänglich gemacht werden. Es ist angestrebt, die Ergebnisse aus den sich daraus ergebenden Diskussionen im Bereich der Ziele, Maßnahmen und Probleme Ökologischer Bodenbewirtschaftung mit erweiterten Fragestellungen innerhalb der Versuchskonzeption aufzugreifen und zu bearbeiten.

### **1.1 Planung und Ablauf des Projekts**

Grundlage der wissenschaftlichen Studie stellt ein Exaktversuch dar, der als Parzellenlangzeitversuch konzipiert ist. Im Rahmen des Vorhabens sollen vorrangig die Problemstellungen die während der Umstellungsphase des Bodenbearbeitungssystems auftreten näher untersucht werden. Langzeiteffekte treten in dieser Phase des Versuches in den Hintergrund. Es ist zu erwarten, dass nach frühestens 5-10 Versuchsjahren Bodenstruktur und –gefüge sowie bodenbiologische Parameter einen neuen Gleichgewichtszustand erreichen und sich dementsprechend die ertragsbestimmenden Bodenfaktoren wie Wasserhaushalt und Nährstoffbereitstellung ändern. Die Entwicklung von Beikrautgesellschaften in Abhängigkeit der neuen Bearbeitungssysteme dürfte sich ebenfalls erst mittel- bis langfristig vollziehen.

### **1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde**

Das Ziel der Ökologischen Bodenbearbeitung ist Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit im Sinne einer nachhaltigen Landbewirtschaftung. Mit dem technischen Fortschritt in der Landwirtschaft und den ökonomischen Rahmenbedingungen traten bei der Bodenbearbeitung mit dem herkömmlichen tief wendenden Pflugsystem im Ökologischen Landbau zunehmend Probleme mit Bodenverdichtungen, Erosion und Problembeikräutern in den Vordergrund.

In der konventionellen Landwirtschaft haben sich mit Hilfe der ökologisch umstrittenen Totalherbizide konservierende, nicht wendende Systeme der Bodenbearbeitung entwickelt. Diese wirken Bodenerosion und z. T. Bodenverdichtungen entgegen und sind unter den momentanen agrarpolitischen Rahmenbedingungen wirtschaftlich interessant.

Die Geschichte der nicht wendenden Systeme der Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau begann in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts mit Sekera und Brunner. Sie erkannten die Probleme der Pflugsohlenverdichtung und entwickelten den Zweischichtenpflug. Dieser wendet den Oberboden flach und lockert gleichzeitig die Unterkrume. In den 80er Jahren entwickelten Weichel und Kress den „Rotorgrubber“, eine Kombination aus Grubber, Rotor-egge und ggf. Sämaschine. Kemink brachte zur gleichen Zeit das Kemink-Exakt-System, ein Häufelgerät, auf den Markt. Alle genannten „reduzierten“ Systeme der Bodenbearbeitung setzten sich aus vielfältigen Gründen nicht in der weiten Praxis der Biobetriebe durch. Als wesentliches Hemmnis können allgemein fehlende Informationen zu diesen nicht herkömmlichen Systemen genannt werden.

Aus diesen Gründen wurde von der Stiftung Ökologie & Landbau ein Bodenbearbeitungsversuch „Projekt Ökologische Bodenbearbeitung“ (PÖB) in Rommersheim angelegt. Im PÖB werden erstmals Systeme der Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau eingesetzt,

die auf den Pflug verzichten (SÖL, 2002). Es werden der Zweischichtenpflug und der Schichtengrubber mit dem herkömmlichen Pflugsystem verglichen. Nach bisherigen Ergebnissen steigt die Bodengesundheit in Bezug auf Humusgehalt, Aggregatstabilität und biologische Bodenaktivität an. Beikräuter nehmen zu, wodurch geringe Ertragseinbußen eintreten können.

Die Frage nach Pflügen oder nicht Pflügen konnte aber in dem Versuch nicht eindeutig beantwortet werden. Die bisherigen Ergebnisse regen aber dazu an, die die Bodenfruchtbarkeit fördernden Wirkungen nicht wendender Systeme der Bodenbearbeitung so häufig wie möglich zu nutzen.

In den letzten Jahren hat sich das Angebot an Systemen der reduzierten Bodenbearbeitung für den Ökologischen Landbau erweitert. Herr Julian Turiel-Major hat das Dammkultursystem (gelegentlich als Arado<sup>1</sup>-system bezeichnet) weiterentwickelt. Die Firma Kverneland hat ein flach schälendes Bodenbearbeitungssystem mit integrierter Saatbettkombination, dem Ecomat-System, entwickelt. Das Ecomat-System arbeitete wie ein Schälpflug.

Beide Systeme werden von Praktikern und Beratern mit großem Interesse aufgenommen und diskutiert. Das Fehlen wissenschaftliche Ergebnisse erschwert jedoch eine Bewertung der Systeme die die breite Einführung in die Praxis erlaubt. Vor allem Fragen hinsichtlich des Humushaushaltes und der Nährstoffversorgung der Kulturbestände sind offen. Ebenso stellt sich die Frage nach den Auswirkungen auf das Bodengefüge und die Ertragsleistung der Böden durch den Verzicht auf eine Unterkrumenlockerung beim Ecomat-System.

Der Exaktversuch am Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel soll als Langzeitversuch zu wesentlichen Fragen der beiden neuen Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung Klärungsansätze liefern.

---

<sup>1</sup> Arado: spanisch Pflug

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsstandort

#### 2.1.1 Lage

Die Hessische Staatsdomäne Frankenhausen, Lehr-, Versuchs- und Transferzentrum für Ökologische Landwirtschaft und Nachhaltige Regionalentwicklung des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel, liegt etwa 10 km nördlich von Kassel. Sie befindet sich nach der naturräumlichen Gliederung in der Landschaftseinheit der Hofgeismarer Rötlenke, die sich in Süd-Nord-Richtung von Kassel bis Trendelburg erstreckt (Klink, 1969). Die Senke, in der auch Frankenhausen liegt, besteht aus weichen Tonsteinen (Schiefer-ton, Mergel) des oberen Buntsandsteins (Röt) (Linstow & Breddin, 1996), die z. T. mit Löss wechselnder Mächtigkeit überlagert sind.

Detaillierte und aktualisierte Informationen sind auf der Homepage der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen <http://www.wiz.uni-kassel.de/dfh/index.html> zu finden.

Die Fläche des Exaktversuchs Bodenbearbeitungssysteme befindet sich westlich der Wirtschaftsgebäude auf dem Schlag Lindenbreite (Abb. 1), einem lössbedeckten Schlag mit einer Lössmächtigkeit von 7,5 m und einer Hangneigung von ca. 5 % in süd-östlicher Richtung. Die Versuchsanlage wurde am 15.11.02 mittels GPS eingemessen. Die Anlage hat eine Gesamtfläche von 2,86 ha. Seit Übernahme des Betriebs durch die Universität Kassel im Jahre 1998 werden die Flächen nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschaftet.



**Abb. 1: Lage des Exaktversuchs zur reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen**

#### 2.1.2 Boden

Auf den Betriebsflächen dominieren auf dem Löss die Bodentypen Parabraunerde, Pseudogley-Parabraunerde und Kolluvisol und auf dem Röt die Bodentypen Braunerde und Pelosol (Brandt, 2001). Der vorherrschende Bodentyp auf dem Schlag Lindenbreite ist eine Parabraunerde, die nur äußerst schwach erodiert ist (Abb. 2).

Zur Beschreibung der Bodeneigenschaften der Versuchsfläche wurden an den vier Ecken Bodenprofile aufgegraben und nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 1994)

aufgenommen. Die erwartete, hohe Homogenität der Fläche wurde durch 4 Bodenprofile bestätigt. Das in (Abb. 2) beschriebene Bodenprofil repräsentiert den Boden der Versuchsfläche.



**Abb. 2: Bodenprofil des Exaktversuches „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ (Mai 2003)**

Für sämtliche Horizonte des Referenzprofils wurden Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, Kohlenstoff, Stickstoff und austauschbaren Kationen, pH-Werte, Textur, Lagerungsdichte, nutzbare Feldkapazität und pF-Charakteristik bestimmt (Anhang Tab. 22 bis Tab. 26). Aus den Bodenkenndaten des Oberbodens der Rasterkartierung des Jahres 1998 (Brandt et al., 2001) wurden von der Versuchsfläche Mittelwerte berechnet und in Tab. 1 zusammengestellt.

**Tab. 1: Bodenkenndaten der Versuchsfläche „Lindenbreite“ (0-30 cm Tiefe)**

<b>Bodentyp</b>	Parabraunerde
<b>Bodenart</b>	Ut3
<b>Sand</b>	2,0 %
<b>Schluff</b>	81,2 %
<b>Ton</b>	16,8 %
<b>pH-Wert</b>	6,8
<b>Humus</b>	2,1 %
<b>C/N</b>	8,7
<b>P (CAL)</b>	61 ppm
<b>K (CAL)</b>	141 ppm
<b>Mg (CaCl<sub>2</sub>)</b>	90 ppm

### 2.1.3 Klima

Im 30-jährigen Mittel beträgt in Kassel-West die durchschnittliche Niederschlagsmenge 699 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 8,5°C. Auf der Domäne wurde eine eigene Klimastation installiert, die zukünftig kontinuierliche Wetterdaten erfassen wird. Für den Versuchszeitraum waren die monatlichen Niederschlagsmengen und Temperaturen des nahe gelegenen Flughafens Kassel Calden (ca. 5 km) verfügbar und sind in Abb. 3 dargestellt (Anonym, 2004).

In der Summe betrug die Niederschlagsmenge 703 mm für das Jahr 2002 und 505 mm für das Jahr 2003. Das Jahr 2002 wies eine durchschnittliche Niederschlagsmenge mit einem Maximum in den Monaten Okt. 2002 bis Jan. 2003 auf. Der Winter 2002/03 war somit extrem nass. Die Jahresdurchschnittstemperatur entsprach 2002 dem langjährigen Mittel, während sie in 2003 mit 9,7°C über dem langjährigen Mittel lag. 2003 war ein Versuchsjahr mit ausgeprägt trockenen und warmen Sommermonaten (Abb. 3).

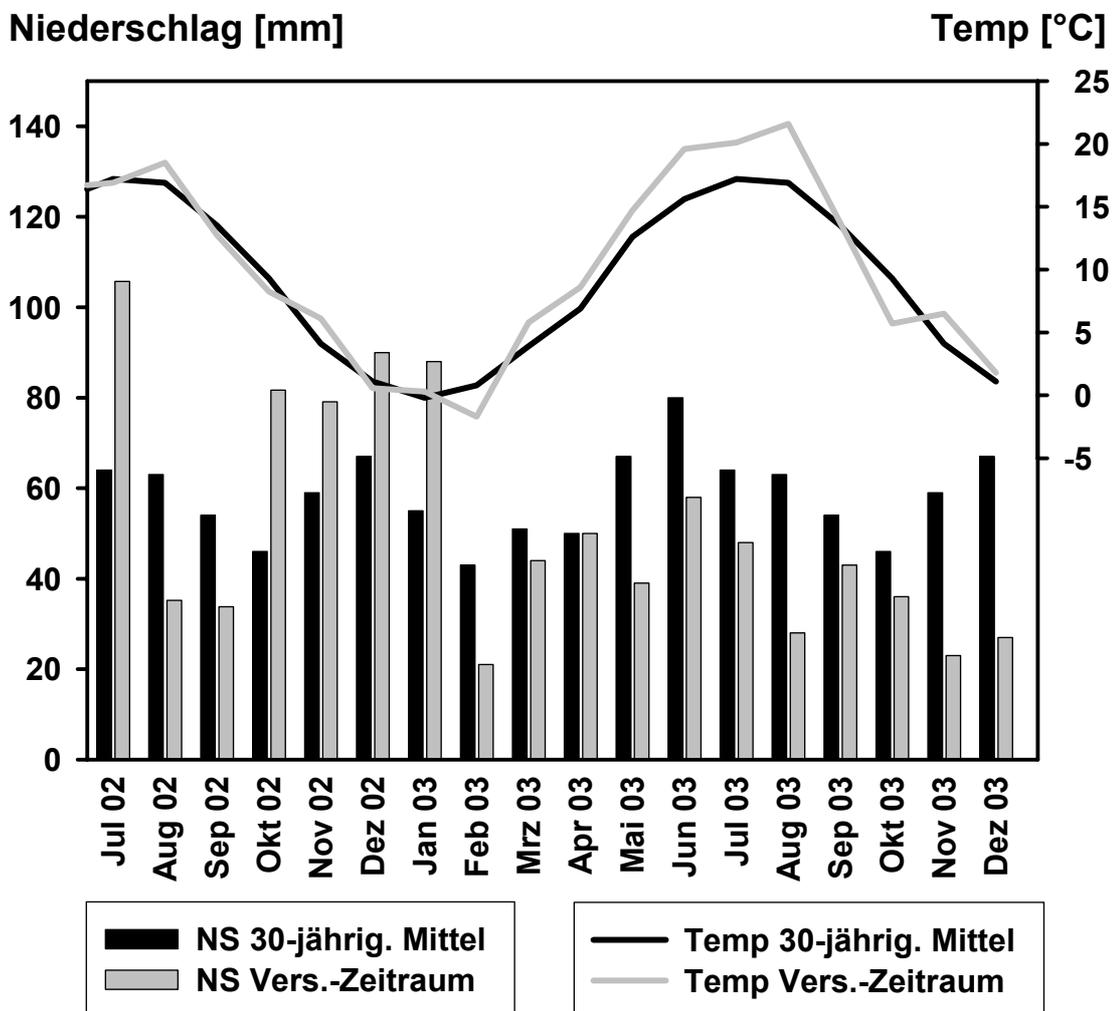


Abb. 3: Niederschlagsverteilung, durchschnittliche Temperaturen im Versuchszeitraum in Kassel-Calden und im 30-jährigen Mittel (Kassel-West)

## 2.2 Versuchsanlage

### Bodenbearbeitungssysteme

Im Exaktversuch reduzierte Bodenbearbeitungssysteme im ÖL werden das ECOMAT™-System (Entwicklung: Fa KVERNELAND) und das Dammkultursystem (Entwicklung: JULIAN TURIEL-MAJOR) im Vergleich zur konventionellen wendenden Bodenbearbeitung, dem Pflugsystem, untersucht. Im Versuch werden verschiedene Bodenbearbeitungssysteme als Systeme und nicht einzelne Bodenbearbeitungsmaßnahmen untersucht und verglichen. Daher werden die verschiedenen Maßnahmen wie Grundbodenbearbeitung, Aussaat- und Pflegearbeiten in Abhängigkeit von den für das jeweilige Bearbeitungssystem günstigsten Bedingungen durchgeführt. Das bedeutet, dass die Termine für die Grundbodenbearbeitung bei den einzelnen Systemen voneinander abweichen können, wenn z. B. der Boden nach einem Niederschlagsereignis bei den reduzierten Bodenbearbeitungssystemen rascher abtrocknet als bei der wendenden Bodenbearbeitung.

#### 2.2.1 ECOMAT™-System

Das Kverneland ECOMAT™-System kombiniert nach Herstellerangaben eine flach wendende Grundbodenbearbeitung bei einer möglichen Arbeitstiefe von 10-18 cm mit dem Arbeitsschritt der Saatbettbereitung mittels integriertem Packer (Abb. 4) (KVERNELAND, 2003). Die Stoppelbearbeitung kann ebenfalls mit demselben System vorgenommen werden, wobei mit dem Ecomat sehr flach (6-10cm) gearbeitet wird. Die Saatbettbereitung erfolgt dann nach ca. 2 Wochen mit dem Ecomat-System bei einer Bearbeitungstiefe die geringfügig tiefer ist als bei der Stoppelbearbeitung.



**Abb. 4: ECOMAT™-System des Herstellers Kverneland: flach wendende Grundbodenbearbeitung (6-18 cm) mit integriertem Packer zur Saatbettbereitung (Foto: KVERNELAND)**

Im Versuch wurde mit dem Ecomat-System eine flache Grundbodenbearbeitung (10 cm) in Kombination mit dem integrierten Packer durchgeführt. Anschließend wurde in Abhängigkeit

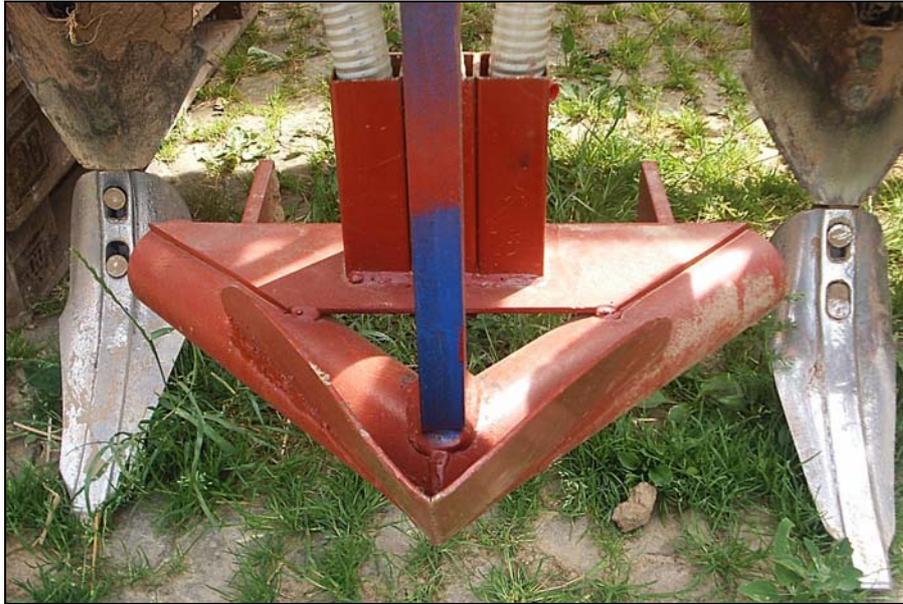
der Saatbetтанforderungen der jeweiligen Kulturen (auch bedingt durch die Trockenheit im Frühjahr 2003) ein weiterer Arbeitsschritt mit der Kreiselegge durchgeführt oder direkt nach dem Ecomat-System gedrillt. Die weiteren Arbeitsschritte bis zur Stoppelbearbeitung erfolgten analog zur konventionellen Bodenbearbeitungsvariante. Die Stoppelbearbeitung erfolgte durch Einsatz des Ecomat-Systems mit einer Arbeitstiefe von ca. 12 cm. Der Anbau folgender Zwischenfrüchte wurde im Verzicht auf eine weitere Grundbodenbearbeitung im Anschluss an die Stoppelbearbeitung ebenfalls im Drillsaatverfahren durchgeführt. Der Umbruch der Zwischenfrüchte erfolgte wiederum mit dem Ecomat-System.

### 2.2.2 Dammkultursystem TURIEL-MAJOR

Beim Dammkultursystem des Entwicklers JULIAN TURIEL-MAJOR werden die verschiedenen Feldfrüchte auf Dämmen mit einer Breite von 75 cm in Breitsaat angebaut. Die Grundbodenbearbeitung wurde mit dem so bezeichneten Häufelpflug integriert mit einem Tiefenmeißel (35 cm) zur Tiefenlockerung durchgeführt. Die Aussaat erfolgte mit dem gleichen Gerät mit mittig vor die Häufelkörper montierten Säaggregaten (Abb. 6) und aufgesattelter pneumatischer Sämaschine (Abb. 5). Als Pflegemaßnahmen wurden die Dämme vor dem Auflaufen der Kulturen einmalig mit einer an die Tiefenlockerer eingehängten Stahlkette abgeschleppt um sowohl eine Regulierung der Ablagetiefe des Saatguts als auch eine Verschüttung der gekeimten Unkräuter zu erreichen. Analog zum Pflugsystem wurde zur weiteren Unkrautkontrolle gestriegelt. Die Stoppelbearbeitung wurde mit flach arbeitendem Grubber durchgeführt.



**Abb. 5: Dammkulturgerät (Häufelpflug) mit aufgesattelter pneumatischer Sämaschine**



**Abb. 6: Säaggregate des Dammkulturgeräts (Häufelpflugs)**

### **2.2.3 Konventionelle Bodenbearbeitung - Pflugsystem**

Bei der konventionellen Bodenbearbeitung wurde der Boden zur Grundbodenbearbeitung bis auf die im Ökologischen Landbau praxisübliche Tiefe von 25 cm gewendet. Es wurde mit einem 3-Schar Volldrehpflug mit einer Arbeitsbreite von 1,05 m gearbeitet. Die Saatbettbereitung wurde mit einer Arbeitstiefe von 6-8 cm mit einer Kreiselegge durchgeführt. Im Anschluss erfolgte die praxisübliche Aussaat der verschiedenen Kulturen im Drillsaatverfahren (Fa. NORDSTERN). Die Arbeitsbreite betrug 3 m. Pflegemaßnahmen wurden mit dem Striegel (Fa. HEGE) oder ggf. mit einer Hacke jeweils in Arbeitsbreiten von 3 m durchgeführt. Die Stoppelbearbeitung erfolgte durch 2-maliges Grubbern. Die auf Getreide folgende Zwischenfrucht wurde unter Verzicht auf eine weitere Grundbodenbearbeitung im Anschluss an die Stoppelbearbeitung ebenfalls im Drillsaatverfahren durchgeführt. Der Umbruch der Zwischenfrüchte erfolgte wiederum durch Pflügen auf 25 cm Tiefe.

### **2.2.4 Fruchtfolge**

In Tab. 2 ist die für den Ökologischen Landbau typische Fruchtfolge des Exaktversuchs dargestellt. Einbezogen in die Fruchtfolge ist eine flächenabhängige Tierhaltung mit 1,47 GV ha<sup>-1</sup>, bei der das Feldfutter geerntet, das Stroh abgefahren und die kompostierte äquivalente Mistmenge wieder zurück auf die Flächen fließt. Auf diese Art und Weise können im Versuch kritische Probleme der Bodenbearbeitung hinsichtlich Fruchtfolge (Klee grasumbruch) und Düngewirtschaft (Misteinbringung) praxisorientiert untersucht werden. Vor und nach Kartoffeln ist ein abfrierendes Zwischenfruchtgemenge in die Fruchtfolge integriert, um Bodenerosion und N-Verlagerungen mit dem Sickerwasser vorzubeugen.

Der Exaktversuch startete im ersten Versuchsjahr mit dem 1., 3. und 5. Fruchtfolgeglied gleichzeitig. In Kombination mit den drei Bodenbearbeitungssystemen ergeben sich 9 Versuchsglieder pro Wiederholung (Abb. 7). Auf Grund der Vorfrucht Sommerweizen und des verzögerten Projektstarts musste das Fruchtfolgeglied Winterweizen einmalig im ersten

Versuchsjahr durch Hafer ersetzt werden. Um Auswinterungen des Klees im Klee gras zu vermeiden wurde das Klee gras erst im Frühjahr gesät. Zukünftig erfolgt auch hier die Aussaat im Herbst nach Wintergerste. Der kompostierte Mist wird auf die Winterweizenstoppel zu Kartoffeln ausgebracht.

**Tab. 2: Fruchtfolge im Exaktversuch „Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen**

Fruchtfolgejahr	Fruchtfolgeglied	Zwischenfrucht
1*	Klee gras	
2	Klee gras	
3*	Winterweizen**	Abfrierendes Gemenge
4	Kartoffeln	Abfrierendes Gemenge
5*	Ackerbohnen	
6	Wintergerste	

\* Fruchtfolgeglieder des 1. Versuchsjahres (2003)

\*\* Im 1. Versuchsjahr wegen des verspäteten Beginns: Hafer

### 2.2.5 Versuchsdesign

Der Exaktversuch wurde als vollständig randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellen haben eine Abmessung von 13,5 x 35 m. Zu Demonstrations- und Übungszwecken wurden an die Versuchsanlage angrenzend zusätzliche Parzellen eingemessen. Auf den zusätzlichen Parzellen erfolgten notwendige Einstellarbeiten der Geräte und Demonstrationen der Arbeitsweisen der Geräte im Vergleich bei Besuchertagen und Workshops. Die Abb. 7 zeigt einen detaillierten Plan des Exaktversuches mit der Lage der Versuchsvarianten im ersten Jahr (2003).

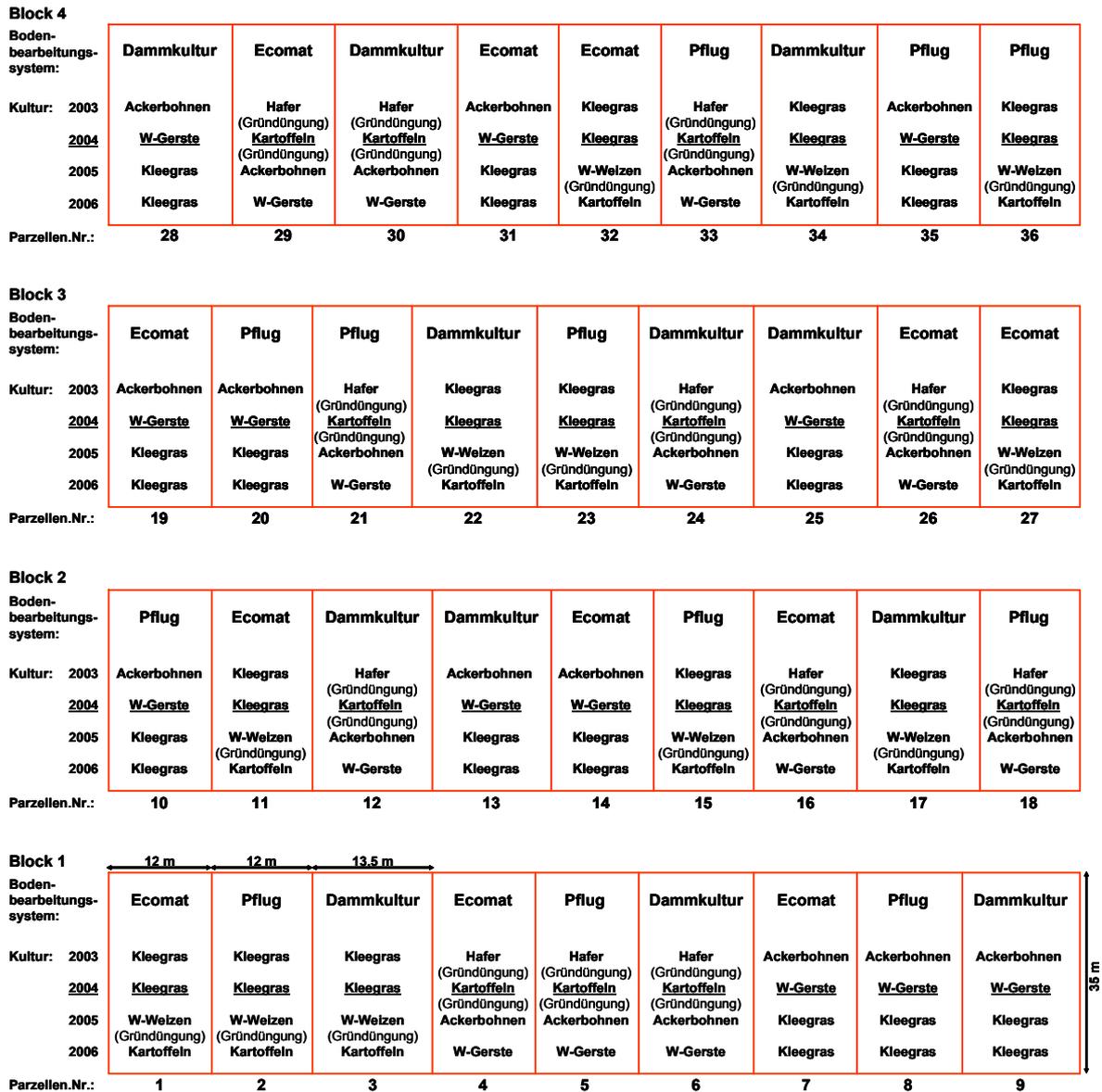
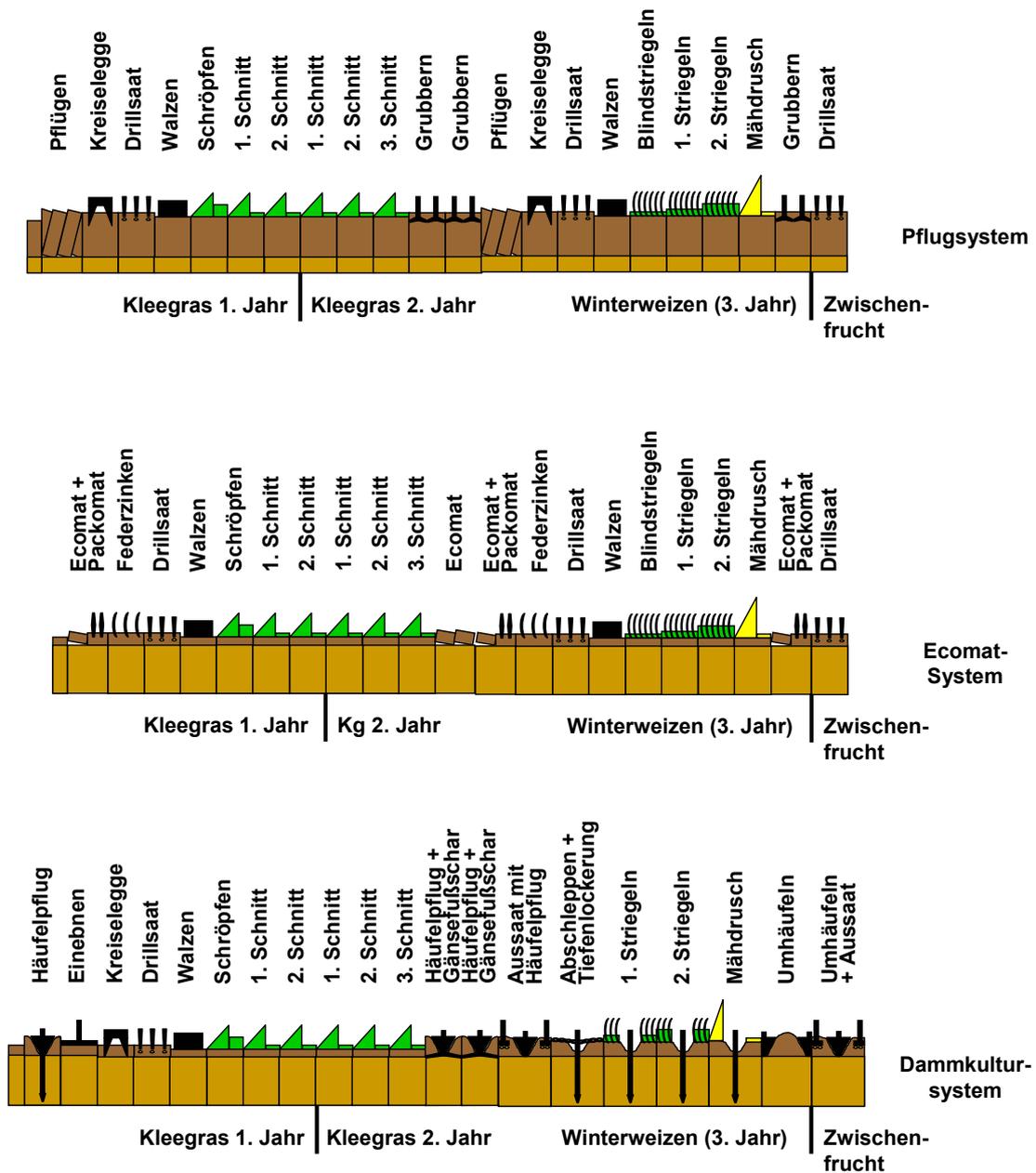


Abb. 7: Detailplan des Exaktversuches „Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen

## 2.2.6 Bearbeitungsmaßnahmen



**Abb. 8: Bodenbearbeitungsmaßnahmen der im Exaktversuch eingesetzten Bearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur während des 1. bis 3. Fruchtfolgejahrs**

In den Abb. 8 und Abb. 9 sind die durchgeführten und geplanten Bodenbearbeitungsmaßnahmen der im Exaktversuch eingesetzten Systeme zur Bodenbearbeitung für die gesamte Fruchtfolge vergleichend dargestellt. Sämtliche Maßnahmen, wie Bodenbearbeitung, Saat, Pflege, Ernte usw., die während des Versuchszeitraums durchgeführt wurden, sind in Tab. 3 bis Tab. 6 detailliert nach Kulturen und Bodenbearbeitungssystemen chronologisch beschrieben. Die Kultur Wintergerste (Tab. 6) schließt sich an die Kultur Hafer (Tab. 4) Hafer an.

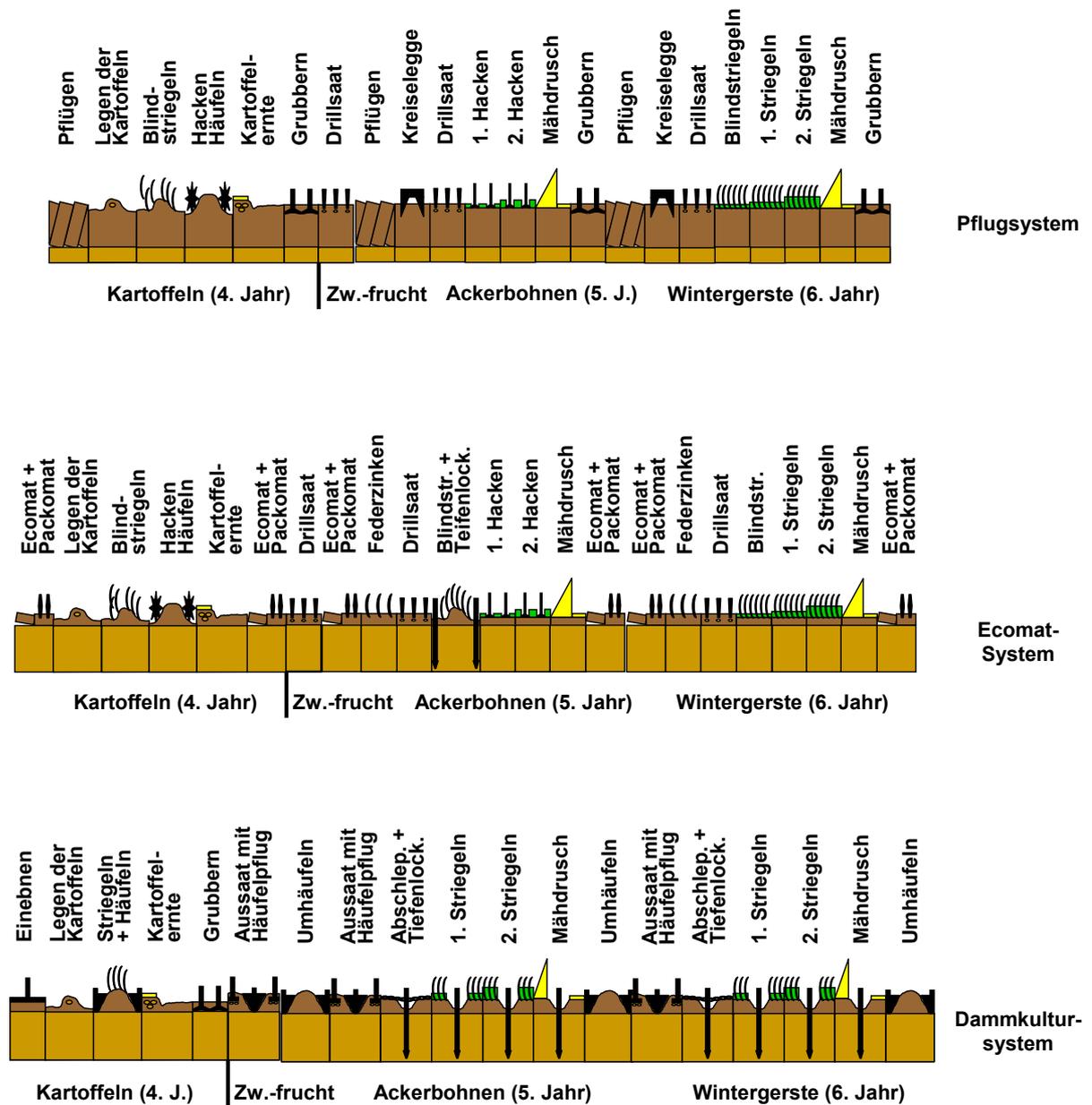


Abb. 9: Bodenbearbeitungsmaßnahmen der im Exaktversuch eingesetzten Bearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur während des 4. bis 6. Fruchtfolgejahrs

**Tab. 3: Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgeglieds Klee gras im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur**

**Kultur:** Klee gras, Sorte: Country 2203 (DSV) .+. Luzernebeimengung  
 Zusammensetzung der Mischung: 26 % Wiesenschwingel, 21 % Rotklee, 17 % dtsch. Weidelgras, 15 % Luzerne, 13 % Lieschgras und 8 % Weißklee.  
 Aussaatstärke: 30 kg ha<sup>-1</sup>

Termin	Ecomat	Pflug	Dammkultur
<b>Grundbodenbearbeitung:</b>			
07.01.03		20 cm tief gepflügt	
18.03.03	10 cm tief Ecomat mit Packomat		10 cm tief Ecomat ohne Packomat
22.03.03			Häufelpflug mit Grindeln und Tiefenmeißeln (35 cm)
<b>Saatbeetbereitung:</b>			
14.04.03	Kreiselegge (6-8 cm)	Kreiselegge (6-8 cm)	Kreiselegge (6-8 cm)
<b>Aussaat:</b>			
14.04.03	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm	
15.04.03			Nordstern Drillmaschine mit Tiefenlockerung, Reihenabstand 10,5 cm
17.04.03	Walzen	Walzen	
<b>Pflegemaßnahmen:</b>			
02.06.03	Schröpfschnitt	Schröpfschnitt	Schröpfschnitt
04.06.03			Klee gras nachsaat (30 kg ha <sup>-1</sup> )
05.06.03			2-maliges Walzen
<b>Ernte:</b>			
09.07.03	1. Schnitt	1. Schnitt	1. Schnitt
25.08.03	Mulchen (sehr kurzer Bestand, Trockenheit)	Mulchen (sehr kurzer Bestand, Trockenheit)	Mulchen (sehr kurzer Bestand, Trockenheit)
03.11.03	2. Schnitt	2. Schnitt	2. Schnitt

**Tab. 4: Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgeglieders Hafer im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur****Kultur:** Hafer, Sorte: Jumbo (Nordsaat)Aussaatstärke: 400 keimfähige Körner m<sup>2</sup> (140 kg ha<sup>-1</sup>)

Termin	Ecomat	Pflug	Dammkultur
<b>Grundbodenbearbeitung:</b>			
07.01.03		20 cm tief gepflügt	
18.03.03	10 cm tief Ecomat mit Packomat		10 cm tief Ecomat ohne Packomat
22.03.03			Häufelpflug mit Grindeln und Tiefenmeißeln (35 cm)
<b>Saatbeetbereitung:</b>			
20.03.03		Kreiselegge (6-8 cm)	
<b>Aussaat:</b>			
21.03.03	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm Ablagetiefe 3-5 cm	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm Ablagetiefe 3-5 cm	
23.03.03			Dammaufbau und Aussaat mit Häufelpflug Ablagetiefe 15 cm
<b>Pflegemaßnahmen:</b>			
09.04.03			Abschleppen der Dammkronen
02.05.03	Striegeln	Striegeln	
07.05.03			Striegeln der Dämme in Kombination mit Tiefenlockerung (35 cm)
<b>Ernte:</b>			
20.07.03	Parzellenmähdrusch	Parzellenmähdrusch	Parzellenmähdrusch
28.07.03	Strohbergung	Strohbergung	Strohbergung
<b>Stoppelbearbeitung:</b>			
30.07.03			Nachhäufeln der Dämme
31.07.03		Grubbern 6-8 cm	
03.08.03	6-8 cm tief Ecomat (mit Stroheinlegeblech) mit Packomat		
12.08.03	Tiefenlockerung 40 cm	Tiefenlockerung 40 cm	Tiefenlockerung 40 cm
12.08.03	Mistdüngung 19 t frischer Stallmistkompost	Mistdüngung 19 t frischer Stallmistkompost	Mistdüngung 19 t frischer Stallmistkompost
12.08.03		Grubbern (Misteinarbeitung)	
13.08.03			Nachhäufeln (Misteinarbeitung)
15.08.03	Grubbern (Misteinarbeitung)		

**Zwischenfrucht:** (Bitterlupine 45 kg ha<sup>-1</sup>, Sommerwicke 25 kg ha<sup>-1</sup>, Phacelia 3 kg ha<sup>-1</sup>, Senf 4 kg ha<sup>-1</sup>)

Termin	Ecomat	Pflug	Dammkultur
20.08.03	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm Ablagetiefe Lupine u. Wicke 4-6 cm; Sent u. Phacelia 2 cm	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 10,5 cm Ablagetiefe Lupine u. Wicke 4-6 cm; Sent u. Phacelia 2 cm	
22.08.03			Aussaat mit Häufelpflug in Dammkrone, Zusatz- schlauch für Saat an Flan- ken, 2 Säscharre in Fur- chen,

**Tab. 5: Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgeglied Ackerbohnen im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur**

**Kultur:** Ackerbohnen, Sorte: Divine (EU-Sorte)

Aussaatstärke: 40 keimfähige Körner m<sup>-2</sup>

Termin	Ecomat	Pflug	Dammkultur
<b>Grundbodenbearbeitung:</b>			
07.01.03		20 cm tief gepflügt	
18.03.03	10 cm tief Ecomat mit Packomat		10 cm tief Ecomat ohne Packomat
22.03.03			Häufelpflug mit Grindeln u. Tiefenmeißeln (35 cm)
<b>Saatbeetbereitung:</b>			
20.03.03	Kreiselegge (6-8 cm)	Kreiselegge (6-8 cm)	
<b>Aussaat:</b>			
23.03.03	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 21 cm Ablagetiefe 6-8 cm	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 21 cm Ablagetiefe 6-8 cm	
24.03.03			Dammaufbau und Aussaat mit Häufelpflug Ablagetiefe 15 cm
<b>Pflegemaßnahmen:</b>			
09.04.03			Abschleppen der Damm- kronen
07.05.03			Striegeln der Dämme in Kombination mit Tie- fenlockerung (35 cm)
11.05.03	Hacken	Hacken	
<b>Ernte:</b>			
07.08.03	Parzellenmähdusch	Parzellenmähdusch	Parzellenmähdusch
<b>Stoppelbearbeitung:</b>			
15.08.03	6-8 cm tief Ecomat mit Packomat	Grubbern 6-8 cm	Nachhäufeln der Dämme
19.08.03			Umhäufeln der Dämme

**Tab. 6: Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgegliedees Wintergerste im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur****Kultur:** Wintergerste, Sorte: Candesse (Borries-Eckendorf/Saaten-Union)Aussaatzstärke: 350 keimfähige Körner m<sup>2</sup>

<b>Termin</b>	<b>Ecomat</b>	<b>Pflug</b>	<b>Dammkultur</b>
<b>Grundbodenbearbeitung:</b>			
01.10.03	8-10 cm tief Ecomat mit Packomat	25 cm tief gepflügt	
01.10.03	Tiefenlockerung 40 cm	Tiefenlockerung 40 cm	Tiefenlockerung 40 cm
02.10.03			Umhäufeln
<b>Saatbeetbereitung:</b>			
01.10.03	Kreiselegge (6-8 cm)	Kreiselegge (6-8 cm)	
<b>Aussaat:</b>			
01.10.03	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 21 cm Ablagetiefe 3-4 cm	Nordstern Drillmaschine, Reihenabstand 21 cm Ablagetiefe 3-4 cm	
02.10.03			Aussaat mit Häufelpflug in bestehende Dämme Ablagetiefe 15 cm
<b>Pflegemaßnahmen:</b>			
03.11.03			Abschleppen der Dammkronen

### 2.3 Untersuchungsprogramm und Methoden

Sämtliche Methoden der angewandten Untersuchungen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in Tab. 7 und Tab. 8 zusammengefasst. Sie wurden nach Fachrichtungen sortiert und beinhalten Beprobungstermine, –umfang, -tiefe und den Quellenbezug. Bei allen Methoden handelt es sich um Standardmethoden.

**Tab. 7: Übersicht über Untersuchungsparameter, Probenahme und Methode im Projekt „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ - Teil 1**

Parameter	Termin	Anzahl Proben [n]	Tiefe [cm]	Methode
<b>Bodenphysik</b>				
Aggregatstabilität	15.05.03	24 Parzellen (H, AB) Mischpr. aus 6 Einz.	0-2	(Sekera & Brunner, 1943)
Gesättigte Wasserleitfähigkeit	10.06.03	6 Parz. x 6 (H, AB)	0-5	(Hartge, 1966) (Roth, 1992)
	03.07.03	6 Parz. x 6 (H, AB)		
	27.11.03	3 Parz. x 12 (WG)		
Eindringwiderstand Boden	13.03.03	36 Parz. x 6 Einst.	0-75	Penetrologger Fa. Eijkelkamp
	29.04.03	36 Parz. x 6 Einst.		
	18.12.03	36 Parz. x 20 Einst.		
Bodentextur	28.04.03	18 Parzellen	0-30	(DIN, 1973); (Schlichting, 1995)
	01.03.03	Bodenprofil		
Wassergehalt-Wasserspannungs-Beziehung;	09.04.03	3 Parz. x 6 je Tiefe	2-7	(Klute, 1986)
	07.06.03	3 Parz. x 6 je Tiefe	15-20	(Hartge & Horn, 1989)
	27.11.03	3 Parz. x 6 je Tiefe		
Porengrößenverteil.	01.03.03	Bodenprofil		(Beisecker, 1994)
<b>Bodenchemie</b>				
N <sub>min</sub> Boden	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	CaCl <sub>2</sub> -Extraktion (Hoffmann, 1991)
	14.11.02	36 Parzellen	30-60	
	ab	Mischproben. aus 6	60-90	
	04.03.03 ca. 14-täg.	Einzelproben		
Pflanzenverfügbares P Boden	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	CAL-Extraktion (Schüller, 1969)
	28.04.03	36 Parzellen		
	04.08.03	36 Parzellen		
	01.03.03	Bodenprofil		
Pflanzenverfügbares K Boden	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	CAL-Extraktion (Hoffmann, 1991)
	28.04.03	36 Parzellen		
	04.08.03	36 Parzellen		
	01.03.03	Bodenprofil		
Pflanzenverfügbares Mg Boden	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	CaCl <sub>2</sub> -Extraktion (Hoffmann, 1991)
	28.04.03	36 Parzellen		
	04.08.03	36 Parzellen		
	01.03.03	Bodenprofil		
pH-Wert Boden	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	CaCl <sub>2</sub> (1:2,5) (Hoffmann, 1991); H <sub>2</sub> O (1:2,5) (Schlichting, 1995)
	28.04.03	36 Parzellen		
	04.08.03	36 Parzellen		
	01.03.03	Bodenprofil		
Carbonatgehalt	01.03.03	Bodenprofil		Scheibler (Hoffmann, 1991)
Gesamtkohlenstoff	10.12.02	216 Rasterbeprobung	0-30	Vario EL
Gesamtstickstoff C <sub>t</sub> , N <sub>t</sub>	28.04.03	36 Parzellen		Verbrennung 950 °C Wärmeleitfähigkeitsdetektion
	04.08.03	36 Parzellen		
	01.03.03	Bodenprofil		
Kationenaustauschkapazität, KAK <sub>pot</sub>	28.04.03 01.03.03	18 Parzellen Bodenprofil	0-30	(DIN19684, 1977)

**Tab. 8: Übersicht über Untersuchungsparameter, Probenahme und Methode im Projekt „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ - Teil 2**

Parameter	Termin	Anzahl Proben [n]	Tiefe [cm]	Methode
<b>Bodenbiologie</b>				
Basalatmung	30.03.03	36 Parzellen Mischpr. aus 6 Einz.	0-10 10-20 20-30	(Anderson & Domsch, 1990)
C <sub>mik</sub> und N <sub>mik</sub>	30.03.03	36 Parzellen Mischpr. aus 6 Einz.	0-10 10-20 20-30	(Jenkinson, 1966); (Joergensen, 1996)
Ergosterol	30.03.03	36 Parzellen Mischpr. aus 6 Einz.	0-10 10-20 20-30	(Djajakirana et al., 1996)
In situ CO <sub>2</sub> -Respiration	siehe N <sub>min</sub>	36 Parzellen	0	(Blanken, 1996)
Regenwürmer	24.09.03 07.10.03	18 Parzellen 18 Parzellen	0~20	(Dunger & Fiedler, 1997)
<b>Pflanzenbau</b>				
Feldaufgang	29.04.03	12 Parzellen je Kultur 8 Wdhlg. (H) 12 Wdhlg. (AB)		
Ertrag (Meter-schnitte)	19.07.03 07.08.03	8 Wdhlg. (H) 8 Wdhlg. (AB)		
N <sub>t</sub> -Spross	siehe N <sub>min</sub> u. Ernte	36 Parzellen		Vario EL Verbrennung 950 °C Wärmeleitfähigkeits- detektion
Nährstoffgehalte	siehe Ernte	36 Parzellen		Aufschluss nach Kurmies (Hoffmann, 1991)
<b>Pflanzenschutz</b>				
Bonitur von Schädlingen	14.05.03	12 Parzellen je Kultur 4 Wdhlg. x 10 Pfl.		(Doré & Meynard, 1995)
Bonitur auf Beikrautbesatz	06.08.03	24 Parzellen (H, AB) 4 Transekte a 1m/Par.		
Bonitur auf Krankheiten	06.08.03	12 Parzellen (AB)		

Bei den in den Ergebnisteilen dargestellten Daten handelt es sich um arithmetische Mittelwerte. Die Daten wurden je nach Fragestellung mit einer 1-faktoriellen ANOVA (Faktor: Bodenbearbeitung) oder einer 2-faktoriellen ANOVA (Faktoren: Bodenbearbeitung und Feldfrucht) für wiederholte Messungen verrechnet. Die statistische Auswertung erfolgte mit unterschiedlicher Software (SPSS, SAS, StatView). In den Abbildungen aufgeführten Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, wenn die Buchstaben sich unterscheiden (Tukey, HSD  $\alpha = 0,05$ ).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Bodenphysikalische Untersuchungen

##### 3.1.1 Eindringwiderstand

Die Messungen der Eindringwiderstände erfolgten im ersten Versuchsjahr an drei Terminen (Tab. 9). Sie dienten zum einen zur Erfassung der Ausgangsbedingungen bei Versuchsbeginn, sollten aber auch erste Veränderungen durch die Reduzierung der Bodenbearbeitung aufzeigen.

**Tab. 9: Termine und Randbedingungen zur Messung der Eindringwiderstände**

Termin	Bodenfeuchte	Beprobungsumfang
13.03.2003	Feldkapazität 0- >100 cm Tiefe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor Anlage der Dämme</li> <li>• alle Parzellen</li> <li>• 6 Messungen pro Parzelle; 37,5 cm Abstand; 37,5 cm Abstand</li> </ul>
29.04.2003	Feldkapazität 0- >100 cm Tiefe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach Anlage der Dämme</li> <li>• alle Parzellen</li> <li>• 6 Messungen pro Parzelle (Ecomat, Pflug)</li> <li>• 12 Messungen pro Parzelle (Damm); 37,5 cm Abstand</li> </ul>
18.12.2003	Feldkapazität 0-30 cm Tiefe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach Anlage der Winterdämme</li> <li>• alle Parzellen</li> <li>• 20 Messungen pro Parzelle; 37,5 cm Abstand</li> </ul>

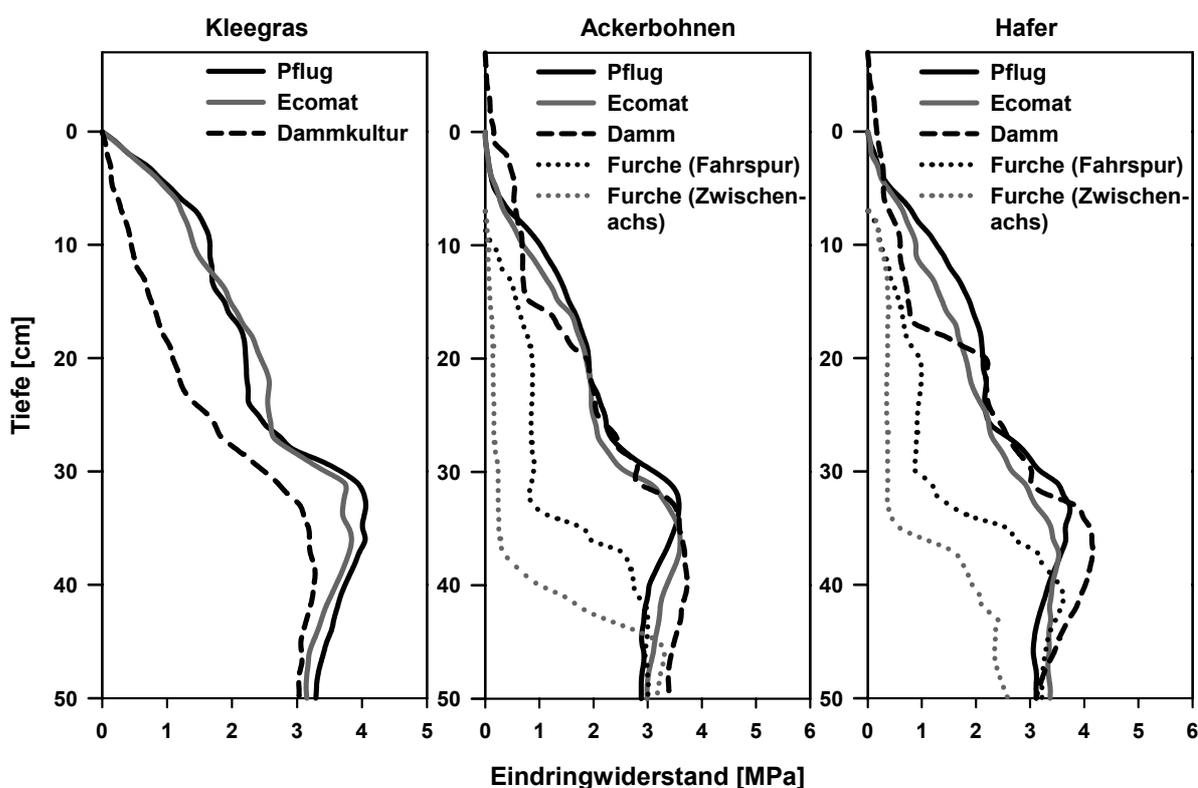
Ein besonderer Schwerpunkt der Untersuchungen stellten die Pflugsohlenverdichtungen in einer Tiefe von 35 bis 40 cm und der Bereich der Unterkrume in einer Tiefe von 12-25 cm dar. So werden vorhandene Pflugsohlenverdichtungen beim Dammkultursystem systembedingt während der ersten Jahre mit einem Tiefenlockerer aufgebrochen und sollen in der weiteren Bewirtschaftung vermieden werden. Die Messung des Eindringwiderstandes stellt eine relativ störungsfreie Untersuchungsmethode dar, die besonders bei Parzellenversuchen einer das natürliche Bodengefüge zerstörenden Aufgrabung vorzuziehen ist.

Bei dem sehr flach schälenden Ecomat wird die Unterkrume nicht mehr mechanisch gelockert, wie es beim Pflügen bis 25 cm geschieht. Das mechanische lockere Gefüge des Pflügens wird beim Ecomat-System durch ein natürliches Gefüge mit gänzlich anderen bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Eigenschaften ersetzt. Wie rasch dieser Prozess des Gefügebau und inwieweit es zu einer ungünstigen Dichtlagerung der Unterkrume kommt, kann unter Umständen durch ein Messen der Eindringwiderstände beschrieben werden.

**April 2003**

In Abb. 10 sind die Eindringwiderstände bei Klee gras, Ackerbohnen und Hafer von jeweils 24 Wiederholungen zusammengefasst und für jedes Bodenbearbeitungssystem und jede Kultur dargestellt.

Beim Hafer Abb. 10 (rechts) wies im Vergleich mit dem Pflugsystem das Ecomat-System in der Oberkrume (0-12 cm Tiefe) geringfügig niedrigere Eindringwiderstände auf. In der Unterkrume (12-25 cm Tiefe) kehrte sich dieses Verhältnis um, hier waren die Eindringwiderstände beim Pflugsystem tendenziell geringer als die des Ecomat-Systems. Im Unterboden (>25 cm Tiefe) waren die Eindringwiderstände von Ecomat- und Pflugsystem gleich. Auffällig sind die Zunahmen der Eindringwiderstände in der Tiefe von 35 bis 40 cm auf Werte bis zu 3,5 MPa. Die Pflugsohlenverdichtung führte hier zu höheren Eindringwiderständen.



**Abb. 10: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Klee gras, Ackerbohnen und Hafer (29.04.2003)**

Die Eindringwiderstände des Dammkultursystems waren bei Klee gras über die Tiefe von 0-40 cm niedriger als die der Vergleichsvarianten. Vor der Aussaat des Klee grasses wurde der Boden beim Dammkultursystem bis in eine Tiefe von 40 cm gelockert und der Boden im Gegensatz zu den Vergleichsvarianten vor der Aussaat nicht gewalzt. Dieses erklärt die deutlich geringeren Eindringwiderstände im Bereich der „aufgebrochenen“ Pflugsohlenverdichtung und im Saatbett. (Dieses überlockerte Saatbett ließ das feinsämige Saatgut zu tief in den Boden fallen, was in Kombination mit der extremen Frühjahrstrockenheit zu einer schlechten Bestandesentwicklung des Klee grasses beim Dammkultursystem führte. In Zukunft wird auch beim Dammkultursystem der Boden vor der Aussaat von Klee gras gewalzt werden).

Die Eindringwiderstände bei Ackerbohnen für die Bearbeitungssysteme Pflug und Ecomat sind in Abb. 10 (mitte) dargestellt. In der Oberkrume (0-12 cm Tiefe) wies das Ecomat-System tendenziell geringere Eindringwiderstände als das Pflugsystem auf. Im Bereich der Unterkrume (12-25 cm Tiefe) waren die Eindringwiderstände des Ecomat-Systems gleich hoch wie die des Pflugsystems. Bei beiden Bodenbearbeitungssystemen war in einer Tiefe von 30-35 cm die Pflugsohlenverdichtung deutlich ausgeprägt. Im Unterboden waren die Eindringwiderstände für beide Bearbeitungssysteme gleich groß.

In Abb. 10 (rechts) sind die Eindringwiderstände bei Hafer von den Bearbeitungssystemen Pflug und Ecomat dargestellt. Die Eindringwiderstände waren beim Ecomat-System in der Unterkrume (12-25 cm Tiefe) und in der Tiefe von 30 bis 35 cm Tiefe geringer als beim Pflugsystem. Eine Erklärung liefert die zu unterschiedlichen Terminen durchgeführte Grundbodenbearbeitung. Im Pflugsystem wurde betriebsüblich im Januar bei nur leichtem Frost gepflügt. Der Boden war zu diesem Zeitpunkt ausreichend tragfähig. Der Ecomat konnte jedoch den auf ca. 3-4 cm Tiefe gefrorenen Boden zu diesem Zeitpunkt nicht befriedigend umdrehen (Schollenbildung), so dass hier die Grundbodenbearbeitung erst kurz vor der Aussaat erfolgte. Rückblickend hat das Pflügen sowohl zu einer Druckbelastung im Bereich der Pflugssole geführt und den Boden im Krumenbereich nicht ausreichend lockern können. In der Tiefe unterhalb von 35 cm unterscheiden sich die Eindringwiderstände beider Bodenbearbeitungssysteme kaum voneinander.

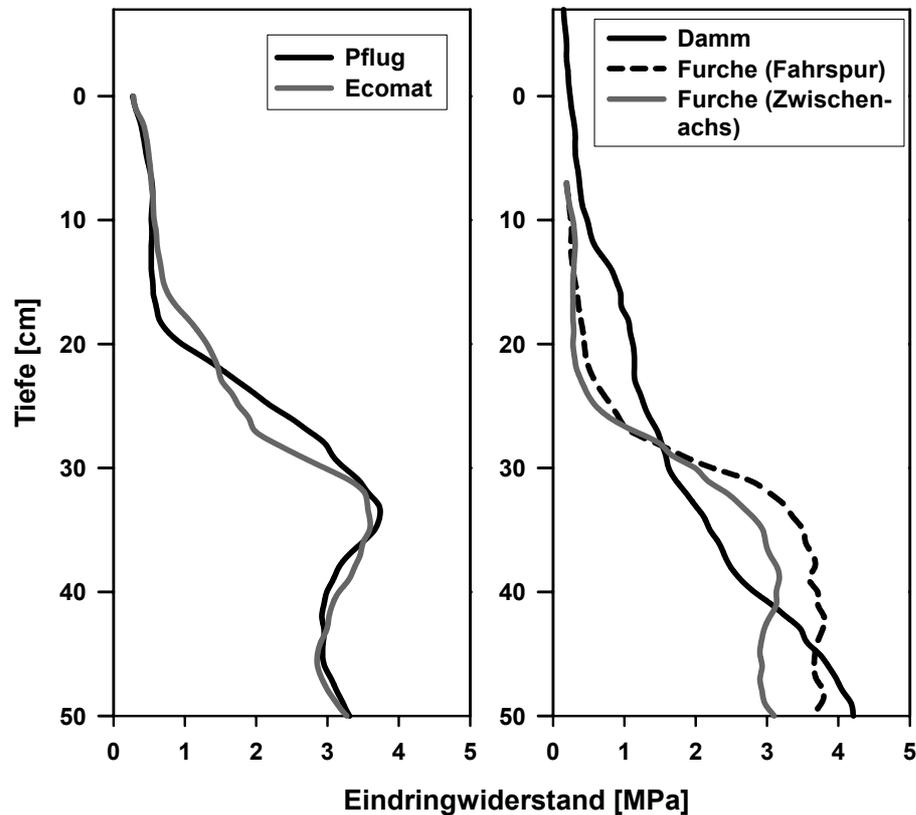
### **Dezember 2003**

Die Eindringwiderstände der verschiedenen Systeme zur Bodenbearbeitung wurden bei Klee gras mit jeweils 80 Wiederholungen für jedes Bodenbearbeitungssystem gemessen. Die Ergebnisse der Eindringwiderstände vom Dezember unterschieden sich bei Klee gras nicht wesentlich von denen vom April. Im Vergleich mit dem Pflugsystem wies das Ecomat-System in der Oberkrume (0-12 cm Tiefe) geringere Eindringwiderstände auf. In der Unterkrume (12-25 cm Tiefe) kehrte sich dieses Verhältnis um, hier waren die Eindringwiderstände des Pflugsystems geringer als die des Ecomat-Systems. Im Unterboden (>25 cm Tiefe) waren die Eindringwiderstände von Ecomat- und Pflugsystem gleich. Die Eindringwiderstände des Dammkultursystems waren über die gesamte Tiefe von 0-50 cm niedriger als die der Vergleichsvarianten.

Der Eindringwiderstand ist stark vom Bodenwassergehalt abhängig. Geringere Bodenwassergehalte erhöhen den Eindringwiderstand. Dieses erklärt die deutlich höheren Eindringwiderstände der Dezembermessungen, die bis zu 5 MPa in Tiefen >30 cm betragen (Abb. 11 und Abb. 12), gegenüber den Messungen im März und April des Jahres, die lediglich Maximalwerte von etwas über 4 MPa aufwiesen (Abb. 10). Die geringen Niederschlagsmengen im Laufe des Jahres haben den Boden bis zu den Messterminen am 18. und 19. Dezember nur bis zu einer geringen Tiefe im Bereich der Krume bis Nahe zur Feldkapazität aufgesättigt.

Die Eindringwiderstände bei Wintergerste nach Ackerbohnen sind für die Bearbeitungssysteme Pflug, Ecomat und Dammkultursystem in Abb. 11 dargestellt. Beim Vergleich Pflugsystem mit Ecomat-System zeigten sich in der Oberkrume von 0-12 cm Tiefe bei beiden Varianten gleiche Eindringwiderstände von ca. 0,9 MPa. Wie schon beim Klee gras gezeigt werden

konnte, waren im Bereich der Unterkrume von 12-25 cm die Eindringwiderstände des Ecomat-Systems (1,2 MPa) höher als beim Pflug (1 MPa). Bei beiden Bodenbearbeitungssystemen war in einer Tiefe von 30-35 cm mit Eindringwiderständen von 3,6 MPa die Pflugsohlenverdichtung deutlich ausgeprägt. Im Unterboden waren die Eindringwiderstände (ca. 3 MPa) für beide Bearbeitungssysteme gleich groß, lagen jedoch unter den hohen Werten der Kleegrasparzellen mit vermutlich höheren Evapotranspirationsraten als Ackerbohnen.



**Abb. 11: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Wintergerste nach Ackerbohnen (18.12.2003)**

Die Eindringwiderstände beim Dammkultursystem sind differenziert nach Dämmen, Furchen mit Fahrspur (Aussaat und Pflegemaßnahmen) und Furchen ohne Fahrspur dargestellt. Die Tiefenangaben sind zur besseren Vergleichbarkeit auf das Bezugsniveau Pflug angepasst.

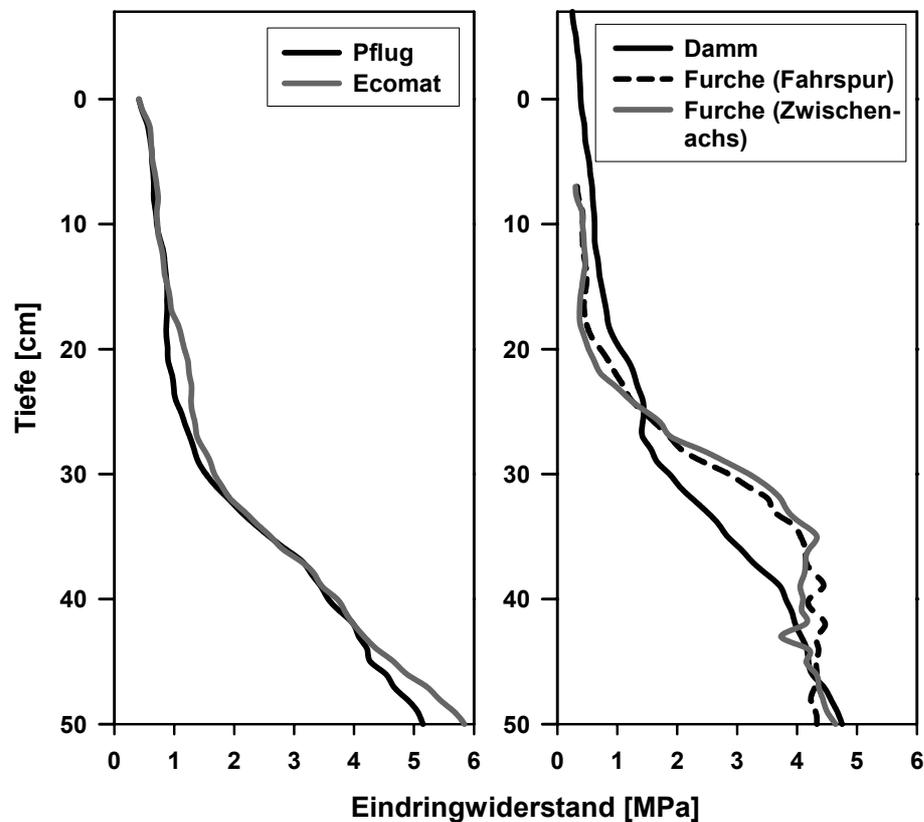
In den Furchen waren die Eindringwiderstände bis in eine Tiefe von 25 cm deutlich geringer als in Dämmen und beim Pflug- und Ecomat-System. Hier zeigten sich bei einer Tiefe von unterhalb 30 cm noch Reste der Pflugsohlenverdichtung, was sich in den höheren Eindringwiderständen äußert. In Furchen mit Fahrspur waren die Eindringwiderstände geringfügig höher als in Furchen ohne Fahrspur, was durch die Rückverdichtung durch den Schlepper verursacht wurde. Die Eindringwiderstände in der Dammbasis (12-25 cm Tiefe) lagen über denen der Furche und befanden sich damit auf etwa gleichem Niveau wie beim Pflugsystem und beim Ecomat-System.

Unterhalb einer Tiefe von 30 cm war der Eindringwiderstand unter den Dämmen jedoch geringer als unter den Furchen. In Folge des Umhäufelns der Dämme befanden sich an den

Stellen der Dämme vorher Furchen, in denen bei Pflegemaßnahme eine Tiefenlockerung stattgefunden hatte.

Die Eindringwiderstände im Bereich der Pflugsohlenverdichtungen waren unter den Dämmen deutlich geringer als bei den Vergleichsvarianten (Abb. 11), was eine wirksame Beseitigung der Verdichtungen durch den Unterbodenlockerer des Dammkultursystems zeigt.

In Abb. 12 (links) sind die Eindringwiderstände der Bearbeitungssysteme Pflug, Ecomat bei Gründung nach Hafer dargestellt. Die Eindringwiderstände der beiden Bodenbearbeitungssysteme unterscheiden sich kaum voneinander. Lediglich im Bereich der Unterkrume (12-25 cm Tiefe) war der Eindringwiderstand beim Ecomat-System geringfügig höher als beim Pflugsystem. In der Tiefe unterhalb von 35 cm nahm der Eindringwiderstand bei beiden Bearbeitungssystemen stark zu. Hier überlagerten sich die Effekte der Pflugsohlenverdichtung und des trockenen Unterbodens.



**Abb. 12: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Gründung nach Hafer (18.12.2003)**

Die in Abb. 12 (rechts) dargestellten Eindringwiderstände bei Gründung nach Hafer beim Dammkultursystem sind wiederum differenziert nach Dämmen, Furchen mit Fahrspur (Aus-saat und Pflegemaßnahmen) und Furchen ohne Fahrspur dargestellt. Die Tiefenangaben sind auf das Bezugsniveau Pflug angepasst. Die Kurven der Eindringwiderstände zeigen den selben charakteristischen Verlauf wie beim Dammkultursystem bei Wintergerste nach Acker-bohnen (Abb. 11). Die Ergebnisse lassen sich weitestgehend übertragen. Die etwas höheren Eindringwiderstände im Unterboden nach Hafer lassen eine höhere Ausschöpfung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers vermuten.

Generell ist festzustellen, dass Eindringwiderstände in den Horizonten mit Bodenbearbeitung deutlich geringer waren als im Unterboden. Bodenbearbeitung führte zu einer Verringerung des Eindringwiderstandes. Deutlich wird dieses beim Vergleich des Ecomat-Systems mit dem Pflugsystem. In der Oberkrume (ca. 0-12 cm Tiefe) kommt es beim Ecomat-System zu geringeren Eindringwiderständen als beim Pflugsystem, während beim Ecomat-System der Eindringwiderstand in der nicht bearbeiteten Unterkrume (ca. 12-25 cm Tiefe) geringfügig über dem des Pflugsystems lag.

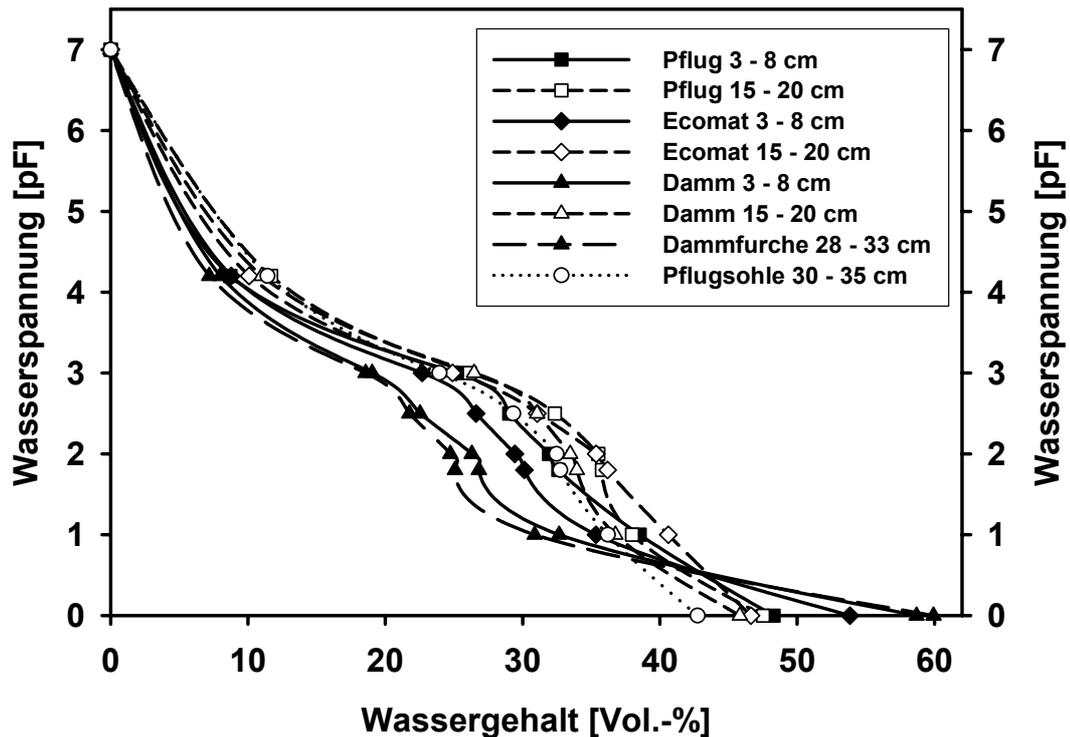
Sehr differenziert waren Eindringwiderstände im Dammkultursystem sowohl in vertikaler Richtung, besonders aber in horizontaler Ebene durch die Anlage der Dämme und dem erstmaligen Einsatzes des Tiefenlockerers. Hier konnten bereits nach den ersten Bodenbearbeitungsmaßnahmen die Auswirkung der Tiefenlockerung auf den Eindringwiderstand deutlich gezeigt werden. Sichere Aussagen über den Abbau der Pflugsohlenverdichtung können jedoch noch nicht getroffen werden, da die Eindringwiderstände unterhalb von 30 cm bedingt durch die Bodentrockenheit nur eingeschränkt aussagefähig sind.

Zukünftig sollten Messungen der Eindringwiderstände im zeitigen Frühjahr zu Beginn des Vegetationswachstums erfolgen, da sich nur zu diesem Zeitpunkt i.d.R. der Boden bis in ausreichende Tiefe auf Feldkapazität aufgesättigt hat. Dann wäre sichergestellt, dass Eindringwiderstände auch mit Vorjahresergebnissen vergleichbar sind.

### **3.1.2 Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung sowie Porengrößenverteilung**

Die Wassergehalts-Wasserspannungs-Charakteristik, auch als pF-Charakteristik bezeichnet, und die Porengrößenverteilung stellen wichtige, Ertrag bestimmende Bodenparameter dar. Sie geben wichtige Informationen über das Vermögen des Bodens pflanzenverfügbares Wasser zu speichern (nutzbare Feldkapazität = nFK), das Gesamtporenvolumen und damit indirekt über die Lagerungsdichte des Bodens, den Anteil an drämfähigen Poren, die bei ergiebigen Niederschlägen das Sickerwasser rasch abführen und für den Gasaustausch des Bodens sorgen.

Die Abb. 13 zeigt die pF-Charakteristik unmittelbar nach Auflaufen des Hafers Anfang April. In Tab. 11 sind die dazugehörigen Messwerte für die jeweiligen Porengrößenklassen verzeichnet. Die Ergebnisse zum Zeitpunkt Juni 2003, an dem sich das Saatbett bereits gesetzt hatte, sind analog in Abb. 14 und in Tab. 12 wiedergegeben.



**Abb. 13: Wassergehalts-Wasserspannungs-Charakteristik in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett (3-8 cm), Unterkrume (15-20 cm) und Pflugsohle (09.04.2003)**

Die Porengrößenverteilung charakterisiert im hohen Maße den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens. Sie wird aus der pF-Charakteristik berechnet, wobei die Einteilung der Porenklassen nach Tab. 10 erfolgte. In Anlehnung an Hartge & Horn (1991) und Brandt (1997) erfolgt.

**Tab. 10: Porenklassen, Äquivalentdurchmesser der Poren und pF-Stufen**

Porenklasse		Porendurchmesser [ $\mu\text{m}$ ]	pF
weite Grobporen	wGP	> 300	< 1,0
mittlere Grobporen	mGP	300 – 50	1,0 – 1,8
enge Grobporen	eGP	50 – 10	1,8 – 2,5
weite Mittelporen	wMP	10 – 3	2,5 – 3,0
enge Mittelporen	eMP	3 – 0,2	3,0 – 4,2
Feinporen	FP	< 0,2	> 4,2

Das Gesamtporenvolumen (GPV) war an beiden Terminen im Saatbett (3-8 cm Tiefe) höher als in der Unterkrume (15-20 cm Tiefe) und in der Pflugsohle (35-40 cm Tiefe) am niedrigsten. Durch sämtliche Bodenbearbeitungsmaßnahmen wurden im Saatbett weite und mittlere Grobporen (wGP, mGP) geschaffen und dabei der Anteil an engen Grobporen (eGP) und

weiten Mittelporen (wMP) verringert. Dieser Prozess der Porenverteilung ist typisch für Bodenlockerungsmaßnahmen und durch Bodensetzung reversibel.

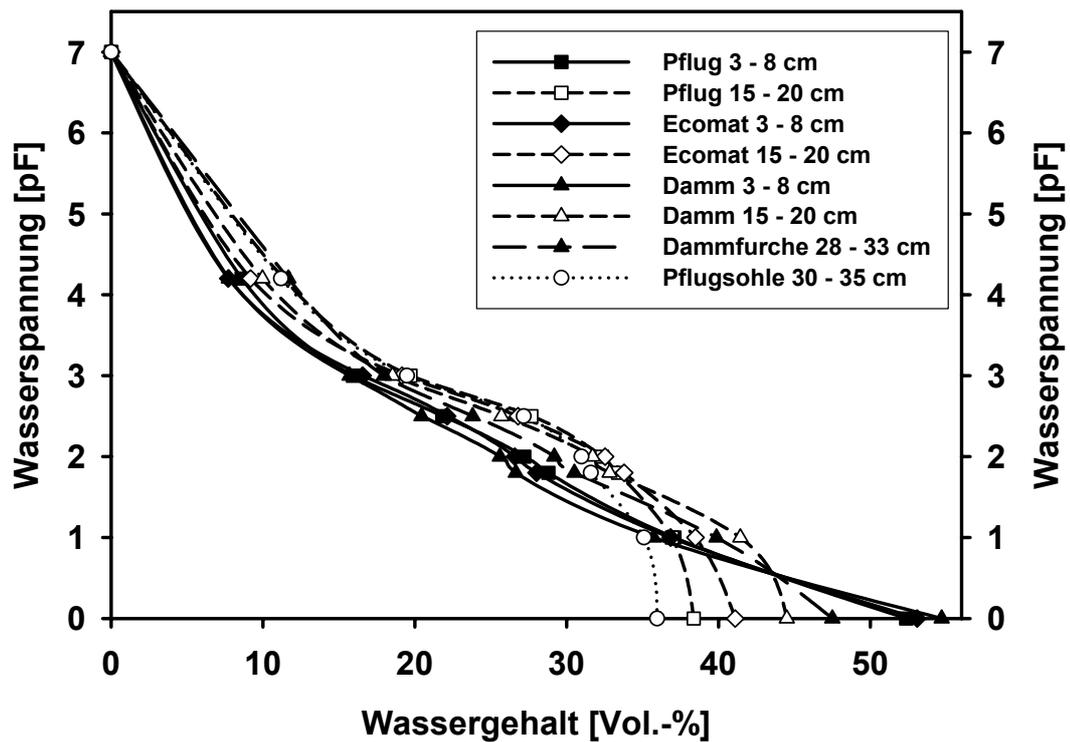
**Tab. 11: Gesamtporenvolumen (GPV) und Porengrößenverteilung in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett, Unterkrume und Pflugsohle (09.04.2003)**

Variante	Tiefe [cm]	GPV	Porengrößenverteilung [Vol.-%]					
			wGP	mGP	eGP	wMP	eMP	FP
Pflug Saatbett	3 - 8	48,3	9,8	5,9	3,6	3,8	16,5	8,7
Ecomat Saatbett	3 - 8	53,8	18,5	5,2	3,5	3,9	13,9	8,8
Dammkultur Damm, Saatbett	3 - 8	58,7	26,0	5,8	4,3	3,5	11,1	8,0
Pflug Unterkrume	15 - 20	47,5	9,5	2,2	3,4	6,2	14,5	11,7
Ecomat Unterkrume	15 - 20	46,6	6,0	4,4	5,1	6,2	14,8	10,1
Dammkultur Dammbasis	15 - 20	45,8	9,1	2,8	2,9	4,6	15,5	11,0
Dammkultur Furche *	28 – 33*	59,9	29,1	5,8	3,3	3,2	11,4	7,2
Alle Varianten Pflugsohle	30 - 35	42,7	6,5	3,5	3,4	5,4	12,5	11,4

\* Bezugsniveau: Oberfläche Damm

Im Zeitraum vom ersten zum zweiten Termin hatte sich im Saatbett das GPV in der Variante Pflugsystem als Folge der Schattengare unter den Ackerbohnen etwas erhöht, beim Ecomat-System kam es zu keinen Veränderungen. Beim Dammkultursystem hatte sich das anscheinend überlockerte Gefüge etwas gesetzt, wodurch das GPV geringfügig abnahm.

Insgesamt haben sich die zum 1. Termin im April recht unterschiedlichen pF-Kurven der Bodenbearbeitungsvarianten im Saatbett bis zum 2. Termin im Juni wieder angenähert und unterscheiden sich kaum noch (Abb. 13 und Abb. 14).



**Abb. 14: Wassergehalts-Wasserspannungs-Charakteristik in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett (3-8 cm), Unterkrume (15-20 cm) und Pflugsohle (01.06.2003)**

In der Unterkrume kam es beim Pflugsystem zu einer Setzung mit Verlusten am GPV, ebenso beim Ecomat-System. Beim Dammkultursystem kam es in der vergleichbaren Tiefe zu keiner Veränderung des Porenvolumens (Tab. 11 und Tab. 12). Beim Dammkultursystem wurde bei den Pflegemaßnahmen wie Abschleppen der Dämme und Striegeln in den Furchen mit Unterbodenlockerern gearbeitet, die eine erschütternde Wirkung auf die Dammbasis ausübten und so einer Bodensetzung entgegenwirkten.

**Tab. 12: Gesamtporenvolumen (GPV) und Porengrößenverteilung in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett, Unterkrume und Pflugsohle (01.06.2003)**

Variante	Tiefe [cm]	[Vol.-%]						
		GPV	wGP	mGP	eGP	wMP	eMP	FP
Pflug Saatbett	3 - 8	52,4	15,3	8,3	7,0	5,9	7,3	8,6
Ecomat Saatbett	3 - 8	53,1	16,2	8,8	5,88	5,6	8,85	7,7
Dammkultur Damm, Saatbett	3 - 8	54,7	19,0	9,1	6,2	4,7	7,9	7,8
Pflug Unterkrume	15 - 20	38,4	1,4	3,6	5,7	8,0	8,3	11,4
Ecomat Unterkrume	15 - 20	41,1	2,6	4,7	7,0	7,6	10,0	9,2
Dammkultur Dammbasis	15 - 20	44,5	3,1	8,6	7,1	7,2	8,6	10,0
Dammkultur Furche *	28 – 33*	47,5	7,6	9,4	6,7	5,9	6,3	11,7
Alle Varianten Pflugsohle	30 - 35	36,0	0,8	3,5	4,4	7,7	8,3	11,2

\*Bezugsniveau: Oberfläche Damm

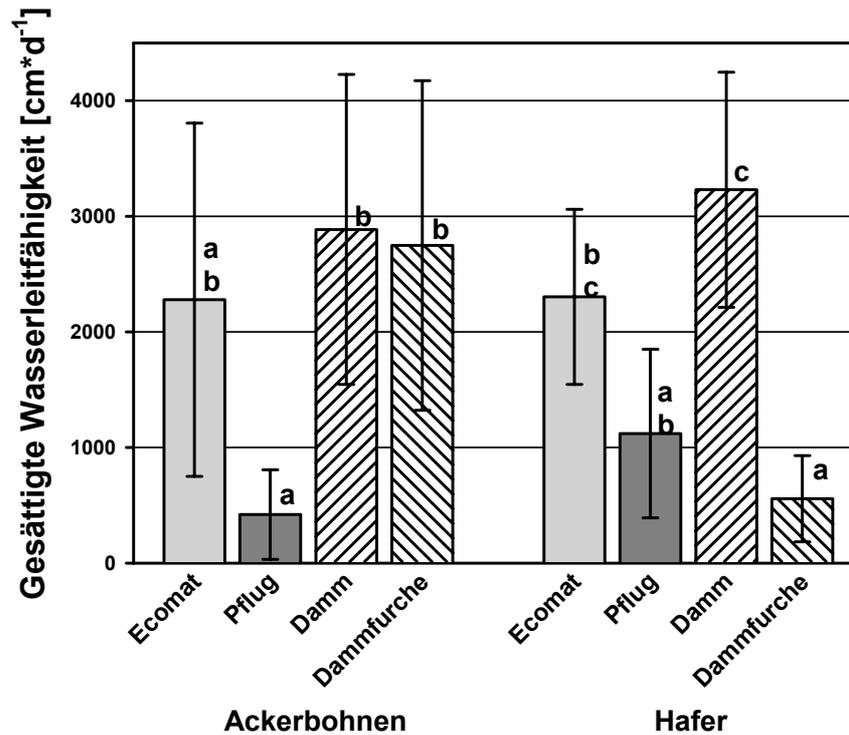
### 3.1.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die Stechzylinderproben wurden stets am Vortag der Messung entnommen, um Austrocknungen und eine damit verbundene Schrumpfung und Rissbildung der Proben zu vermeiden. Die Entnahme der Stechzylinder erfolgte stets zwischen den Kulturpflanzen in vertikaler Richtung durch vorsichtiges Eindrücken der Ringe in den Boden, um Beschädigungen der Bodenoberfläche zu vermeiden. Es wurden min. 6 max. 12 Wiederholungen genommen.

Ein Kriterium für die Bewertung der Strukturstabilität des Bodens ist dessen Anfälligkeit zur Oberflächenverschlammung. Die Oberflächenverschlammung äußert sich vor allem in einer geringeren Infiltrabilität für Niederschlagswasser, die auch als Regenverdaulichkeit bezeichnet wird. Eine geringe Infiltrabilität der Bodenoberfläche als Folge der Oberflächenverschlammung ist eine Hauptursache für die Bildung von Oberflächenabfluss und damit für die Auslösung von Bodenerosion durch Wasser.

Die Infiltrabilität kann in situ (Doppelringinfiltrrometer) mit hohem Zeitaufwand gemessen werden oder indirekt über die Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (**gWL**) an Stechzylinderproben im Labor erfolgen. Bei vorsichtiger vertikaler Entnahme von großen Stechzylinderproben (250 cm<sup>3</sup>) aus 0-5 cm Tiefe bleibt die Oberflächenstruktur weitestgehend erhalten.

In Abb. 15 sind die gWL für die untersuchten Bodenbearbeitungssysteme bei den Kulturen Ackerbohnen und Hafer für Anfang Juni dargestellt. Bei Ackerbohnen wies das Pflugsystem die niedrigsten Infiltrationsraten mit  $420 \text{ cm d}^{-1}$  auf. Die gWL für das Ecomat-System betrug  $2278 \text{ cm d}^{-1}$  und wies eine deutlich höhere Infiltrabilität auf, die sich gegenüber dem Pflugsystem nicht statistisch absichern ließ. Noch höhere gWL wurden beim Dammkultursystem mit  $2886 \text{ cm d}^{-1}$  auf den Dämmen bzw.  $2747 \text{ cm d}^{-1}$  in den Dammfurchen gemessen. Diese waren vom Pflugsystem signifikant unterschiedlich.

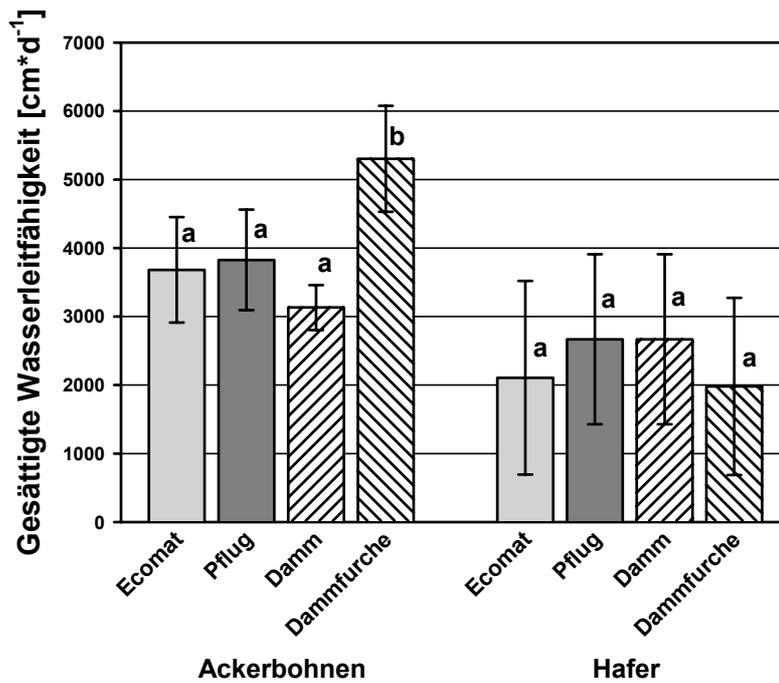


Fehlerbalken +/- 1 Standardabweichung.

**Abb. 15: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben ( $250 \text{ cm}^3$ ) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Ackerbohnen und Hafer (10.06.2003)**

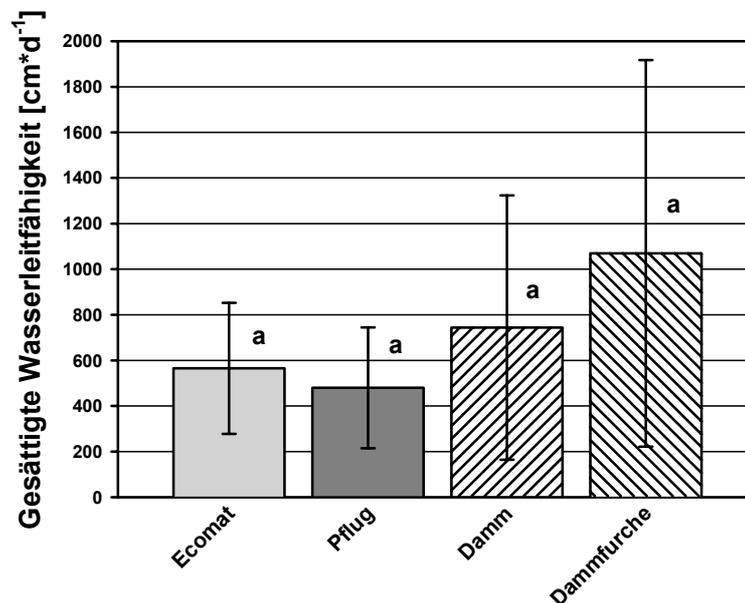
Ein Grund für die schlechte Strukturstabilität des Bodens beim Pflugsystem könnte in dem Hochpflügen von weniger belebtem Boden aus der Unterkrume liegen. Eine anfänglich verzögerte Garebildung ließ die Aggregate an der Oberfläche rascher zerfallen und den Boden verschlammten. Bei den reduzierten Bodenbearbeitungssystemen wurde Schichten erhaltend bearbeitet, mit der Folge einer hohen Strukturstabilität, die entscheidend für eine geringere Erosionsgefährdung ist.

Beim Hafer waren die gWL für die Systeme Pflug mit  $1120 \text{ cm d}^{-1}$ , Ecomat mit  $2303 \text{ cm d}^{-1}$  und Dammkultur (Damm) mit  $3229 \text{ cm d}^{-1}$  in einem ähnlichen Verhältnis. Lediglich die Dammfurche wies mit  $557 \text{ cm d}^{-1}$  sehr niedrige gWL auf. Die Erklärung für diese Abweichung dürfte in dem Weite-Reihe-Anbauverfahren beim Dammkultursystem begründet sein. Während der Ackerbohnenbestand auch die Dammfurchen bedeckte, blieben diese beim Hafer unbedeckt. Die Dammfurchen waren bei Hafer somit der verschlammenden Wirkung des Niederschlags permanent ausgesetzt.



Fehlerbalken +/- 1 Standardabweichung.

**Abb. 16: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben (250 cm<sup>3</sup>) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Ackerbohnen und Hafer (03.07.2003)**



Fehlerbalken +/- 1 Standardabweichung.

**Abb. 17: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben (250 cm<sup>3</sup>) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Wintergerste nach Ackerbohnen (27.11.2003)**

Besonders beim Auftauen des Bodens im Winter besteht bei Wintergetreide ein erhöhtes Erosionspotential. Um die Verschlammungsneigung der Bodenoberfläche zum Winterbeginn in Abhängigkeit der untersuchten Bodenbearbeitungssysteme beurteilen zu können, wurden

Ende November bei Wintergerste die gWL an Stechzylinderproben gemessen. Die wenigen Niederschläge hatten zu diesem Zeitpunkt bereits zu leichten Verschlammungen geführt (Abb. 17). Diese und die nicht mehr vorhandene Schattengare führten zu deutlich niedrigeren gWL als bei den Messungen während der Hauptwachstumsphase im Juni und Juli (Abb. 15 und Abb. 16).

Statistisch unterschieden sich die Mittelwerte der gemessenen gWL innerhalb des Termins November trotz einer hohen Anzahl an Wiederholungen ( $n = 12$ ) für die einzelnen Varianten nicht voneinander. Tendenziell wies jedoch die Dammkulturvariante, sowohl in den Furchen als auch auf den Dämmen, eine höhere Infiltrationsrate auf als das Pflugsystem. Beim Ecomat-System war die Infiltrationsrate geringfügig höher als beim Pflugsystem (Abb. 17).

### **3.1.4 Bodenerosion durch Wasser**

Zur Messung der Bodenerosion durch Wasser wurden am unteren Ende der Versuchspartellen Erosionsauffangbleche und Fässer installiert. Sie sollten den in Folge von natürlich auftretenden Niederschlagsereignissen sich bildenden Oberflächenabfluss mit dem Sediment auffangen. Die Breite der Bleche betrug 50 cm, die Länge der Parzelle 35 m und die Hangneigung ca. 7 %.

Vergleichend wurden im 2. Block an jeder der drei Bearbeitungsvarianten (Pflug, Ecomat und Dammkultur) bei Ackerbohnen die Erosionsauffangbleche installiert. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von erosionswirksamen Niederschlägen ist bei dem Fruchtartenspektrum des Exaktversuches des Jahres 2003 bei Ackerbohnen am höchsten, da diese Kultur im Vergleich zum Hafer und Klee gras als letzte den Bestandsschluss erreicht. Der Boden ist ab Juni durch eine geschlossene Vegetationsschicht vor dem den Boden verschlammenden Niederschlag geschützt.

Während der Monate Mai und Juni hat kein erosionsauslösendes Niederschlagsereignis stattgefunden. Ab Juli war die Bodenbedeckung durch die Bestände vollständig mit der Folge, dass keine Erosionsereignisse mehr zu erwarten waren. Über den Einfluss der reduzierten Bodenbearbeitungssysteme auf die Bodenerosion durch Wasser konnten keine Aussagen getroffen werden.

Die Teilnehmer des 1. Workshops am 13. Juni haben die installierten Erosionssammelbleche als eine sehr sinnvolle Methode zur Abschätzung der Erosionsanfälligkeit im Versuch bewertet und eine Weiterführung in den folgenden Jahren angeregt.

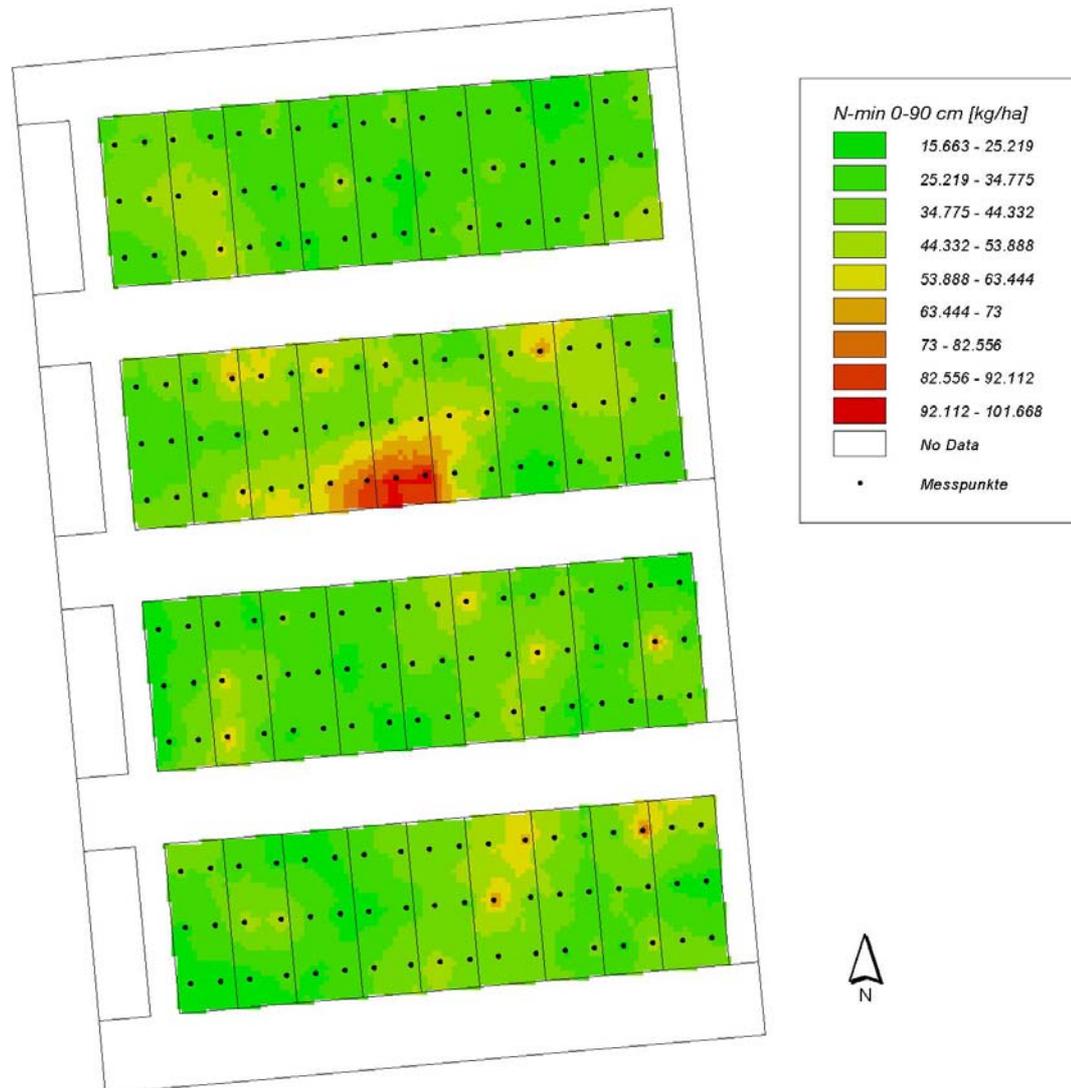
## **3.2 Bodenchemische Untersuchungen**

### **3.2.1 Voruntersuchungen**

Um detaillierte Informationen über die Flächenverteilung der Nährstoffe N, P und K auf der Versuchsfläche und die Ausgangsnährstoffsituation zu erlangen, wurden im Herbst 2002 und im Frühjahr 2003 Flächen- und Tiefenbeprobungen durchgeführt.

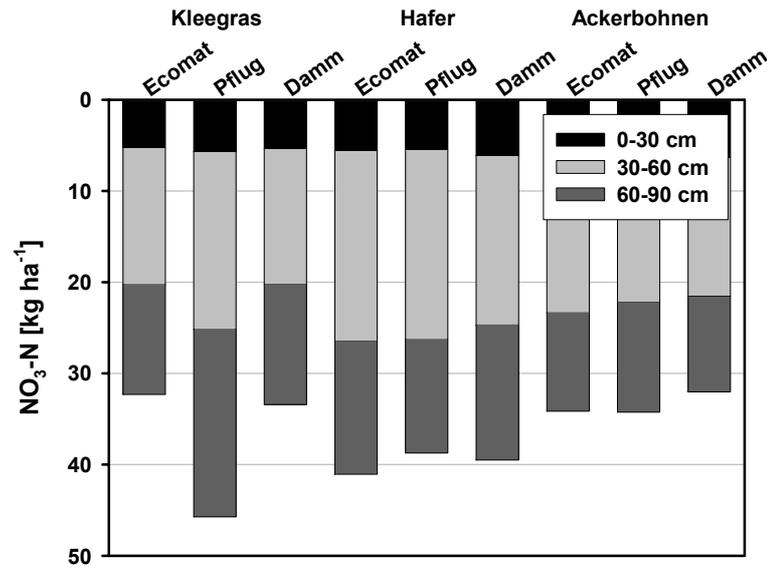
Die Ergebnisse der  $N_{\min}$  Rasterbeprobung mit 216 Einzelmesspunkten und je 3 Tiefenabschnitten bestätigte die Annahme homogener Feldversuchsbedingungen auf dem Standort.

Wie die Abb. 18 zeigt, ist der untersuchte mineralische Stickstoff äußerst homogen auf der Fläche verteilt. Der erfasste hot-spot in der Versuchsmitte (Abb. 18) basiert auf einem von 216 Messpunkten. Die Beprobung erfolgte streng nach einem im GIS entworfenen und mit GPS vermessenen Raster. E bleibt die Möglichkeit, dass ein Mäusenest o. ä. beprobt wurde.



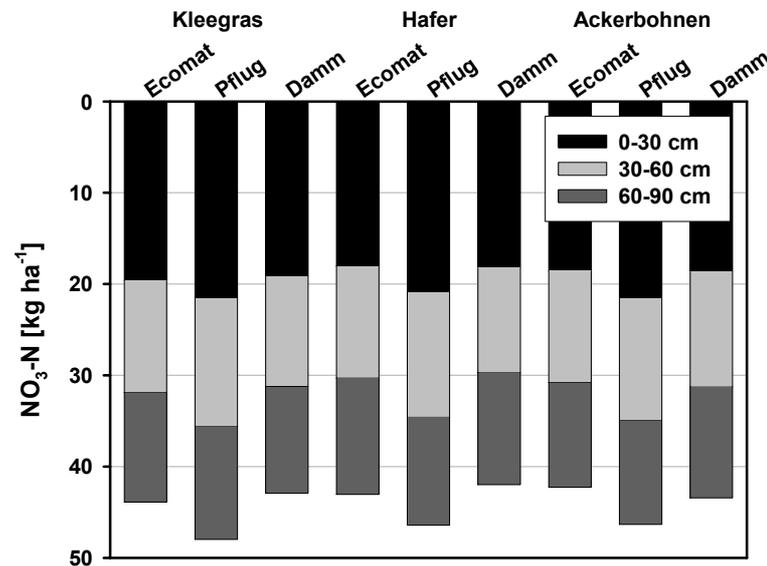
**Abb. 18: Flächendarstellung der N<sub>min</sub>-Gehalte (0-90 cm Tiefe) aus 216 Einzelmessungen der Versuchsfläche (Dez. 2002)**

Die für weitere Nährstoffbilanzierungen wichtige Ausgangssituation des N<sub>min</sub>-Gehalts in den Parzellen des Feldversuches der Untersuchungstermine im Herbst 2002 und im Frühjahr 2003 ist in den Abb. 19 und Abb. 20 graphisch dargestellt. Der durchschnittliche N<sub>min</sub>-Gehalt (0-90 cm Tiefe) in den Parzellen betrug im Herbst 36 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> (Abb. 19).



**Abb. 19:** NO<sub>3</sub>-N-Gehalte über die Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm in den Versuchspartellen des Bodenbearbeitungsversuches vor Versuchsbeginn (14.11.2002)

Die Mittelwerte der N<sub>min</sub>-Gehalte der Versuchsvarianten vor der Aussaat (04.03.2003) ergaben einen Mittelwert über alle Varianten von 42 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> in der Tiefe 0-90 cm (Abb. 20). Gegenüber der Herbstbeprobung erhöhte sich der NO<sub>3</sub>-N-Gehalt um ca. 6 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>.



**Abb. 20:** NO<sub>3</sub>-N-Gehalte über die Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm in den Versuchspartellen des Bodenbearbeitungsversuches unmittelbar vor Vegetationsbeginn (04.03.2003)

Durch die Sickerwasserbildung kam es zu einer Verringerung der N-Konzentration in der Tiefe von 30-60 cm und durch die beginnende Mineralisation zu einer Erhöhung der NO<sub>3</sub>-Konzentration in der oberen Bodenschicht von 0-30 cm um ca. 15 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.2 Versuchsbegleitende Untersuchungen

Die Probenahme für die  $N_{\min}$ -Untersuchungen erfolgte in drei Tiefenabschnitten von je 30 cm bis in 90 cm Tiefe. Im Dammkultursystem erfolgte die Beprobung in der Mitte der Dämme. Als Bezugspunkt der Beprobungstiefe wurde die Dammspitze gewählt. Die Probenahme wurde in allen Varianten je nach Bodenverhältnissen mit dem dreiteiligen Göttinger Probenahmesets oder mit den dreiteiligen Pürckhauer-Bohrstöcken durchgeführt. In den Zeiten extremer Trockenheit war teilweise nur eine Beprobungstiefe bis 60 cm bzw. in den Klee-grasparzellen nur bis 30 cm Tiefe möglich. Pro Probenahme und Tiefe wurden von jeder Parzelle 6 Einzelproben genommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Alle Proben wurden direkt nach der Probenahme gekühlt und anschließend bis zur Aufarbeitung bei 5°C gelagert. Die Aufarbeitung und Analyse der Proben erfolgte am Folgetag der Probenahme.

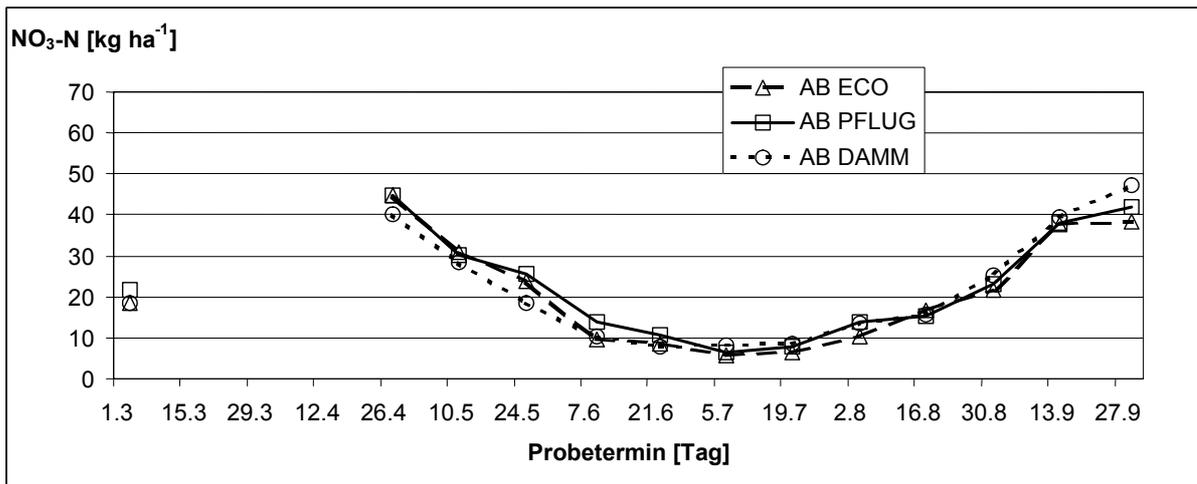
Die erste  $N_{\min}$ -Probenahme wurde am 04.03.03 vor Aussaat der verschiedenen Kulturen durchgeführt. Die weiteren Probenahmen erfolgten nach der Aussaat der verschiedenen Kulturen ab dem 28.04.03 im 14-tägigen Abstand. Am 01.09.03 wurde in den Kulturen Ackerbohne und Hafer nur bis 60 cm beprobt, im Klee-gras nur bis 30 cm. Im Weiteren war bis Ende September im Klee-gras nur eine Beprobungstiefe von 60 cm zu erreichen.

Die pflanzenverfügbaren Phosphat-, Kalium- und Magnesiumgehalte im Boden wurden einmal zu Beginn der Vegetationsperiode am 28.04.03 und gegen deren Ende am 04.08.03 aus luftgetrockneten Rückstellproben des Tiefenabschnitts 0-30 cm der  $N_{\min}$ -Probenahme gemessen.

#### 3.2.2.1 $N_{\min}$ Gehalte im Boden

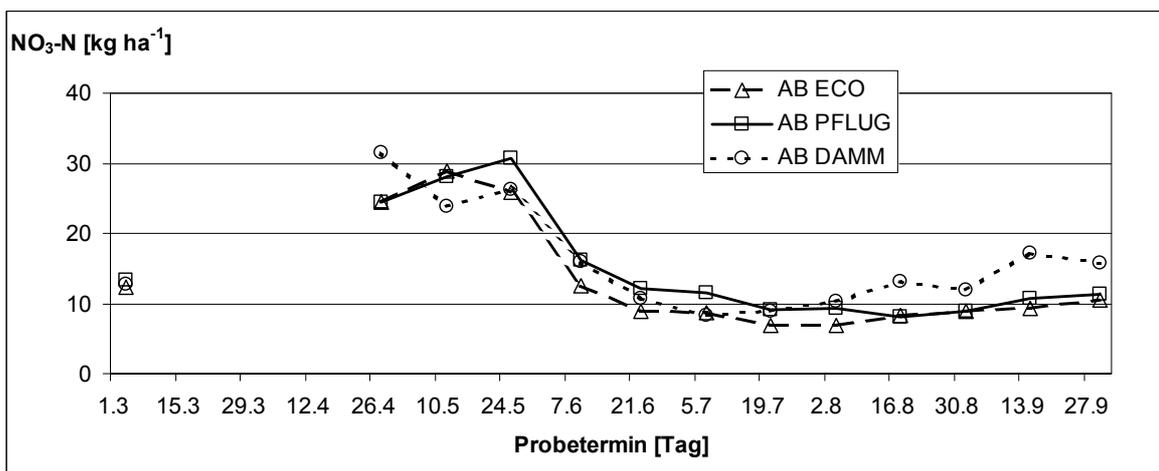
Die  $N_{\min}$ -Gehalte ( $\text{NO}_3\text{-N kg ha}^{-1}$ ) in den Bodentiefen 0-30 cm und 30-60 cm zu den verschiedenen Untersuchungsterminen unter den Kulturen Hafer, Ackerbohne und Klee-gras in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen sind in Abb. 21 bis Abb. 26 dargestellt.

Die über die Vegetationsperiode gemessenen  $N_{\min}$ -Gehalte im Oberboden wiesen unter der Kultur **Ackerbohne** in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungen nur geringe Unterschiede auf (Abb. 21). Auch in dem Zeitraum zwischen der Ernte und der Stoppelbearbeitung zeigten die verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung keinen unterschiedlichen Einfluss auf die N-Mineralisation im Oberboden. Nach der Stoppelbearbeitung kam es zu einer verstärkten N-Mineralisation im Dammkultursystem im Vergleich zum Pflugsystem und zum Ecomat-System. Die maximale Differenz von ca.  $9 \text{ kg N ha}^{-1}$  wurde am Messtermin (30.09.03) zwischen der Dammkultur mit  $47,2 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  und dem Ecomat-System mit  $38,5 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  gemessen. Die Unterschiede ließen sich jedoch statistisch nicht absichern.



**Abb. 21: NO<sub>3</sub>-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

In der Bodentiefe 30-60 cm wurde am ersten Messtermin unter der Kultur Ackerbohne im Dammkultursystem ein mit  $7 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  signifikant höherer  $N_{\min}$ -Gehalt gemessen als in den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem (Abb. 22). Hier kann vermutet werden, dass die gemessene Differenz auf die am 18.03.03 durchgeführte Grundbodenbearbeitung mit Tiefenlockerung im Dammkultursystem zurückzuführen ist. Im weiteren Vegetationsverlauf wiesen die  $N_{\min}$ -Gehalte in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungen keine statistisch abgesicherten Unterschiede auf. Im Anschluss an die Stoppelbearbeitung zeigten sich jedoch wiederum im Dammkultursystem mit bis zu  $8 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  statistisch höhere  $N_{\min}$ -Gehalte als in den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem.

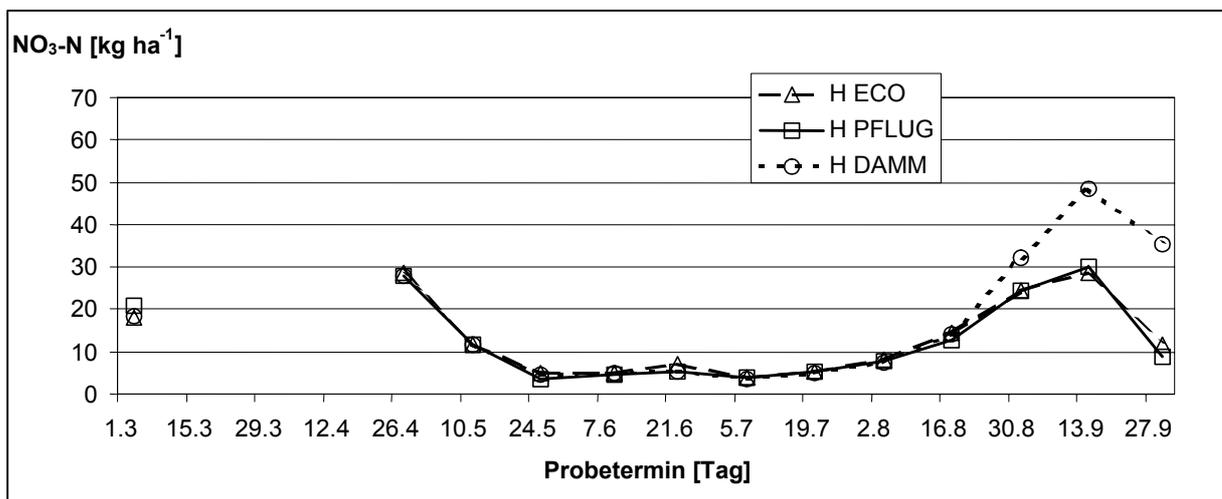


**Abb. 22: NO<sub>3</sub>-N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

Die höheren Gehalte in diesem Bereich hielten bis zu Ende des Messzeitraumes an. Die Stoppelbearbeitung bzw. die Bodenbearbeitung mit dem Dammkultursystem scheint aufgrund der

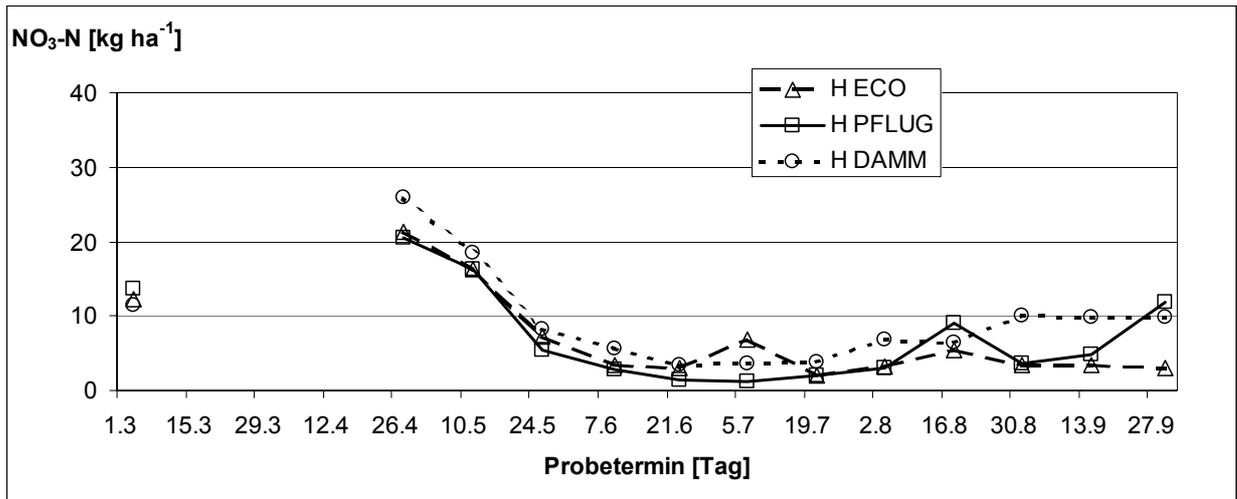
doch relativ tiefen Eingriffsintensität in den Boden, verstärkt Mineralisationsprozesse im Boden auszulösen.

Unter **Hafer** wurden in der Vegetationsperiode bis zur Ernte (20.07.03) ebenfalls nur geringe Unterschiede im  $N_{\min}$ -Gehalt im Oberboden gemessen (Abb. 23). Nach den unterschiedlichen Stoppelbearbeitungsmaßnahmen wurden im Dammkultursystem jedoch deutlich und teilweise signifikant höhere  $N_{\min}$ -Gehalte im Oberboden im Vergleich zu den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem gemessen. Mit dem Etablieren der folgenden, am 28.08. gesäten Zwischenfrucht kommt es ab dem 13.09.03 zu einer Abnahme der  $N_{\min}$ -Vorräte im Oberboden. Die Abnahme ist in der Zeit vom 15. bis zum 30.09.03 in den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem mit ca. 17 – 21 kg  $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  deutlich stärker ausgeprägt als in der Dammkultur mit bis zu 13 kg  $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ . Es zeigte sich, dass im Dammkultursystem deutliche Stickstoffmengen in Folge der systemtypischen Stoppelbearbeitung im Boden mineralisiert werden. Inwieweit sich jedoch die günstigere Stickstoffausschöpfung im Pflugsystem oder das höhere Stickstoffniveau in der Dammkultur auf die weitere Etablierung der Herbstzwischenfrucht auswirken wird, kann zu diesem Zeitpunkt nicht beantwortet werden.



**Abb. 23:  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

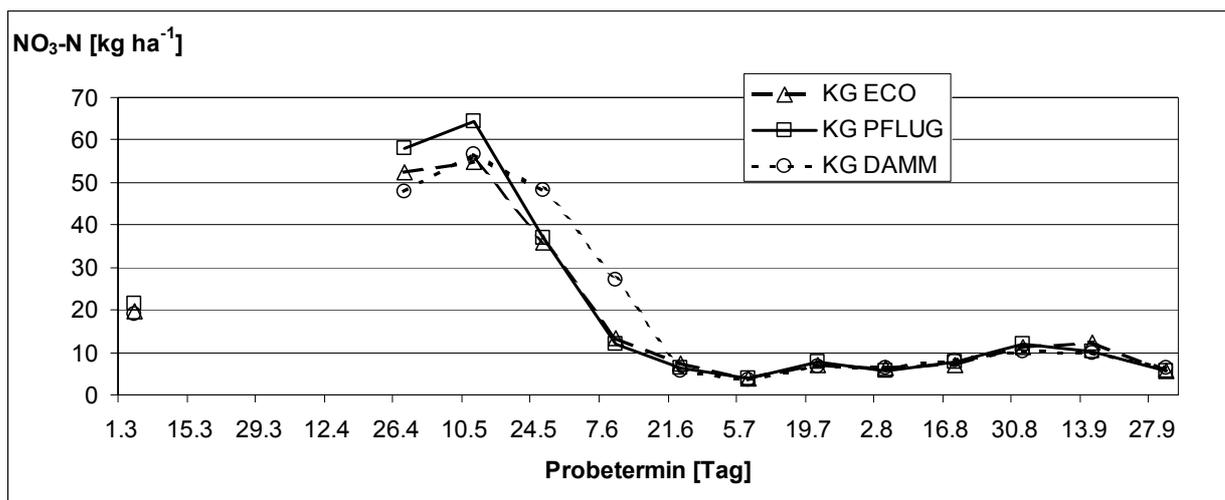
Unter Hafer traten in der Bodentiefe 30-60 cm in der Vegetationsperiode nur geringe Unterschiede im  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden auf (Abb. 24). Im Anschluss an die Stoppelbearbeitung ließen sich teilweise signifikant höhere (bis zu 7 kg  $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ )  $N_{\min}$ -Gehalte im Dammkultursystem im Vergleich zu den anderen Varianten Ecomat-System und Pflugsystem im Unterboden messen. Am letzten Messtermin unterscheiden sich die Varianten Dammkultursystem und Pflugsystem nicht.



**Abb. 24: NO<sub>3</sub>-N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

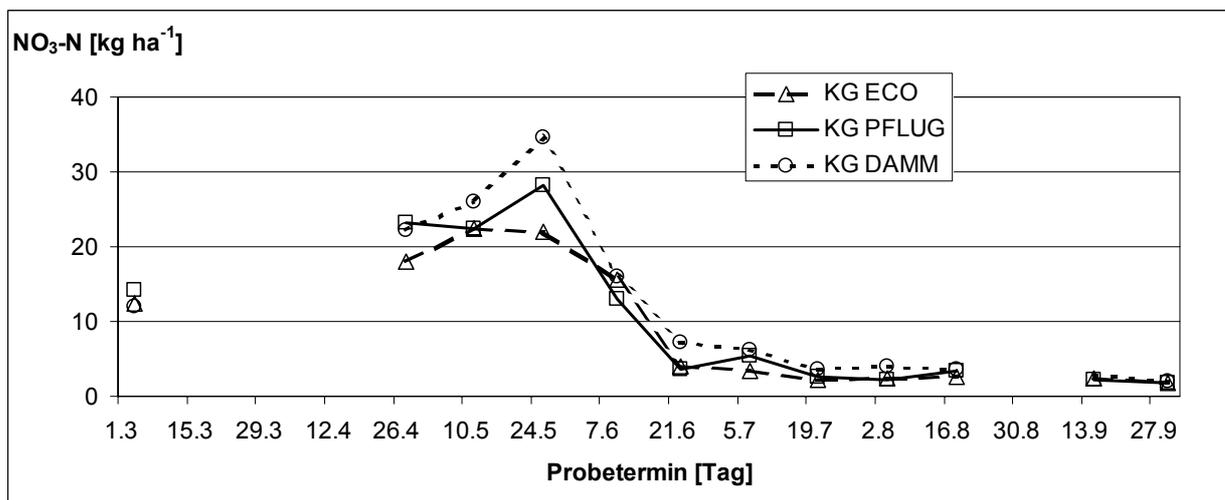
Die Ergebnisse der N<sub>min</sub>-Untersuchungen bei Ackerbohnen und bei Hafer wiesen für das Dammkultursystem nach der Ernte höhere N<sub>min</sub>-Gehalte bis in eine Tiefe von 60 cm auf. Ob diese gegenüber den Kontrollvarianten erhöhten N<sub>min</sub>-Gehalte einzig auf die Stoppelbearbeitung zurückzuführen waren, konnte nach einer Vegetationsperiode nicht eindeutig erforscht werden. Da die Bodenbearbeitung nur bis max. 15 cm Tiefe in den Boden eingreift, müssten für eine Verlagerung des aus der Stoppelbearbeitung freigesetzten N entsprechende Sickerwassermengen als Niederschlag aufgetreten sein. Dieses war im Versuchszeitraum nicht der Fall. Bei der Anlage von Bodenprofilen zur Beurteilung des Wurzelwachstums fiel das Dammkultursystem durch eine deutlich höhere Wurzelentwicklung auf. Ob das Absterben der Feinwurzeln nach der Ernte die höheren N<sub>min</sub>-Gehalte erklären kann, muss in den folgenden Jahren untersucht werden.

Unter **Kleegrass** wurden mit Ausnahme der Termine 26.05.03 und 10.06.03 ebenfalls nur geringe Unterschiede im N<sub>min</sub>-Gehalt des Oberbodens in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungen gemessen (Abb. 25). So wurden von Mitte Mai bis Mitte Juni im Dammkultursystem bis zu 13 kg mehr NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> gemessen als in den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem. Am 10.06.03 ließ sich die Differenz statistisch absichern. Die zeitverzögerte Stickstoffausschöpfung im Dammkultursystem lässt sich durch die deutlich schlechtere Bestandesetablierung der Kleegrassaussaat in diesem System erklären. Ansonsten wiesen die Systeme keine Unterschiede auf.



**Abb. 25: NO<sub>3</sub>-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

Ende Mai wurde unter Klee gras im Dammkultursystem im Vergleich zu den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem deutlich höhere  $N_{\min}$ -Gehalte (bis zu 12,5 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>) im Unterboden gemessen. Die Differenz ließ sich zur Variante Ecomat-System statistisch absichern. Die Unterschiede lassen sich ebenfalls durch die angesprochene schlechte Bestandesetablierung der Kultur im Dammkultursystem erklären. Zu allen anderen Messterminen in diesem Jahr wurden dagegen nur äußerst geringe Unterschiede im  $N_{\min}$ -Gehalt im Unterboden in Abhängigkeit von den verschiedenen Varianten gemessen. Die maximalen Unterschiede betragen mit Ausnahme des angesprochenen Termins 5 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>.



**Abb. 26: NO<sub>3</sub>-N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

In der Bodentiefe 60-90 cm wurden bei allen Kulturen (Ackerbohnen, Hafer und Klee gras) zu keinem Termin Unterschiede im  $N_{\min}$ -Gehalt in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen gemessen.

### 3.2.2.2 Pflanzenverfügbares P, K und Mg im Boden

Die Ergebnisse der untersuchten bodenchemischen Kenngrößen pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O und Mg in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen Ecomat-System, Dammkultur und Pflug in den Kulturen Ackerbohne, Hafer und Klee gras sind in Tab. 13 dargestellt. Aufgeführt sind die Analysenergebnisse vom Beginn der Vegetationsperiode (28.04.03) und nach der Ernte der Ackerbohnen und des Hafers (04.08.03).

**Tab. 13: Bodenchemische Kenngrößen zu Beginn der Vegetationsperiode und zum Zeitpunkt nach der Ernte von Ackerbohnen, Hafer und Klee gras in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)**

Bodenbearbeitungssystem	pH(CaCl <sub>2</sub> )		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (CAL) [mg/100g]		K <sub>2</sub> O (CAL) [mg/100g]		Mg (CaCl <sub>2</sub> ) [mg/100g]	
	28.04.	04.08.	28.04.	04.08.	28.04.	04.08.	28.04.	04.08.
	<b>Ackerbohnen</b>							
Ecomat	6,77		58	56	151	133	93	82
Pflug	6,78		61	59	146	147	87	82
Damm	6,70		61	57	150	117	90	83
<b>Hafer</b>								
Ecomat	6,86		59	62	137	132	88	84
Pflug	6,80		60	53	129	123	86	82
Damm	6,83		64	56	137	106	82	81
<b>Klee gras</b>								
Ecomat	6,72		57	57	135	113	87	82
Pflug	6,77		65	67	140	119	92	80
Damm	6,86		60	57	149	119	94	83

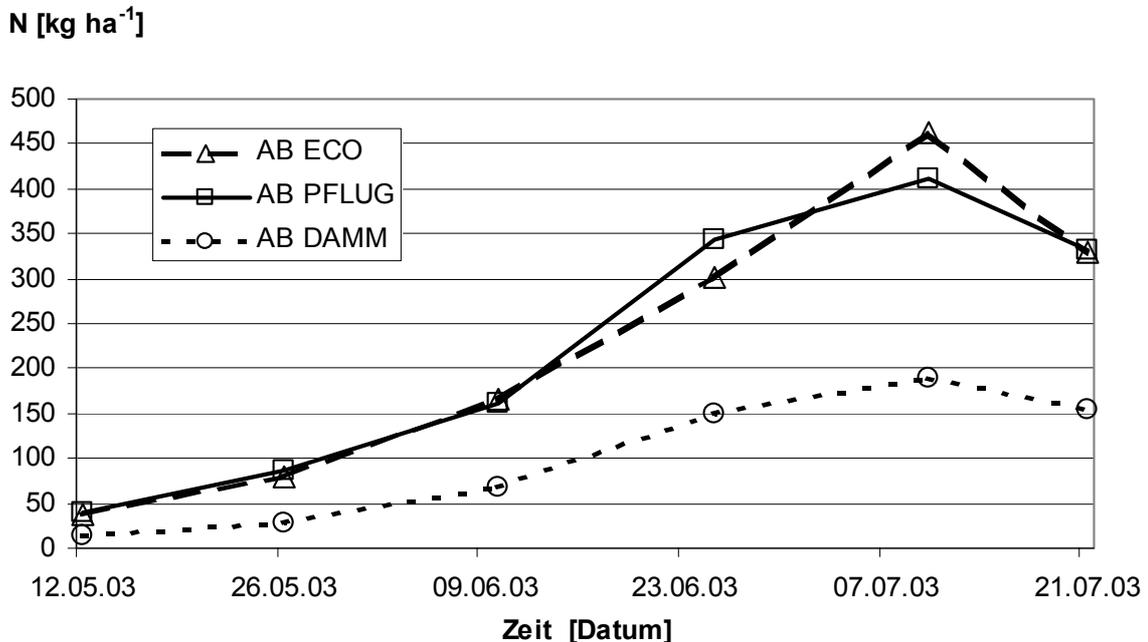
Die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme zeigten unter Ackerbohnen und Hafer keinen Einfluss auf die untersuchten bodenchemischen Kenngrößen. Die gemessenen Unterschiede in den Mittelwerten im K<sub>2</sub>O Gehalt im Boden zwischen dem Dammkultursystem und dem Pflugsystem nach der Ernte der Ackerbohnen ließen sich statistisch nicht absichern.

Unter Klee gras wurden in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen ebenfalls keine Unterschiede hinsichtlich der untersuchten bodenchemischen Kenngrößen gemessen.

### 3.2.2.3 Stickstoffzüge während der Vegetationsperiode

In Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen wurden, bezogen auf die Pflanzentrockenmasse, keine Unterschiede im N-Gehalt bei den verschiedenen Kulturen

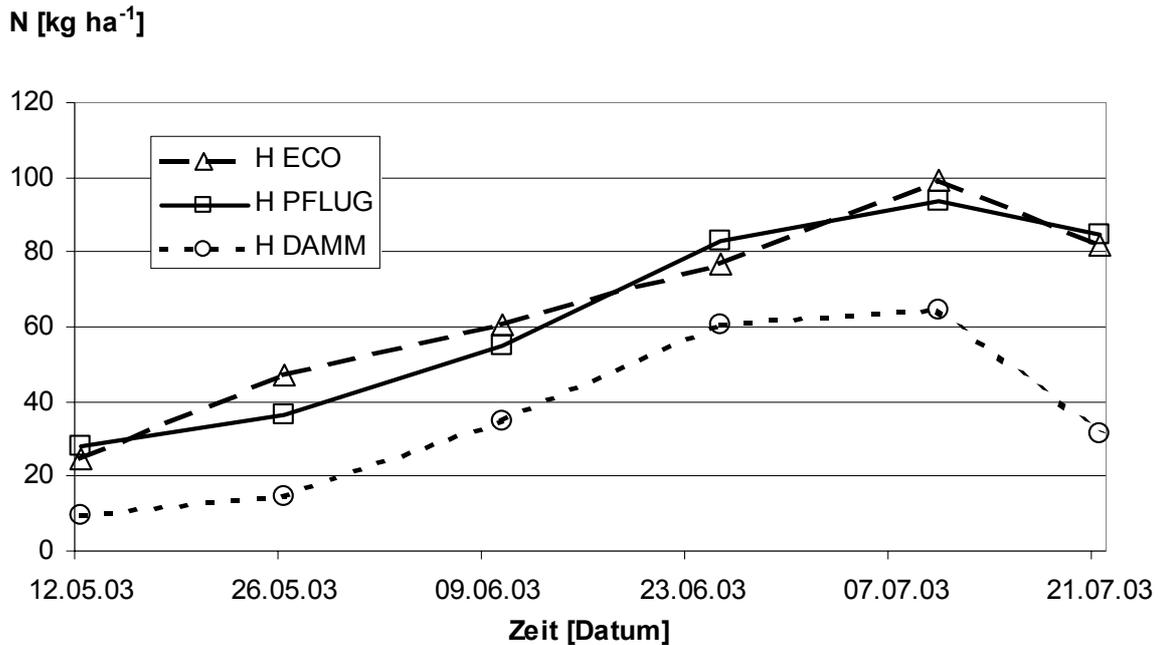
gemessen. Die während der Vegetationsperiode gemessenen Unterschiede im N-Entzug resultieren aus Unterschieden im Trockenmasseaufwuchs bei den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen. Die N-Entzüge während der Vegetationsperiode in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen sind für die Kulturen Ackerbohne und Hafer in Abb. 27 und Abb. 28 dargestellt.



**Abb. 27: Stickstoffgehalte im Spross von Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

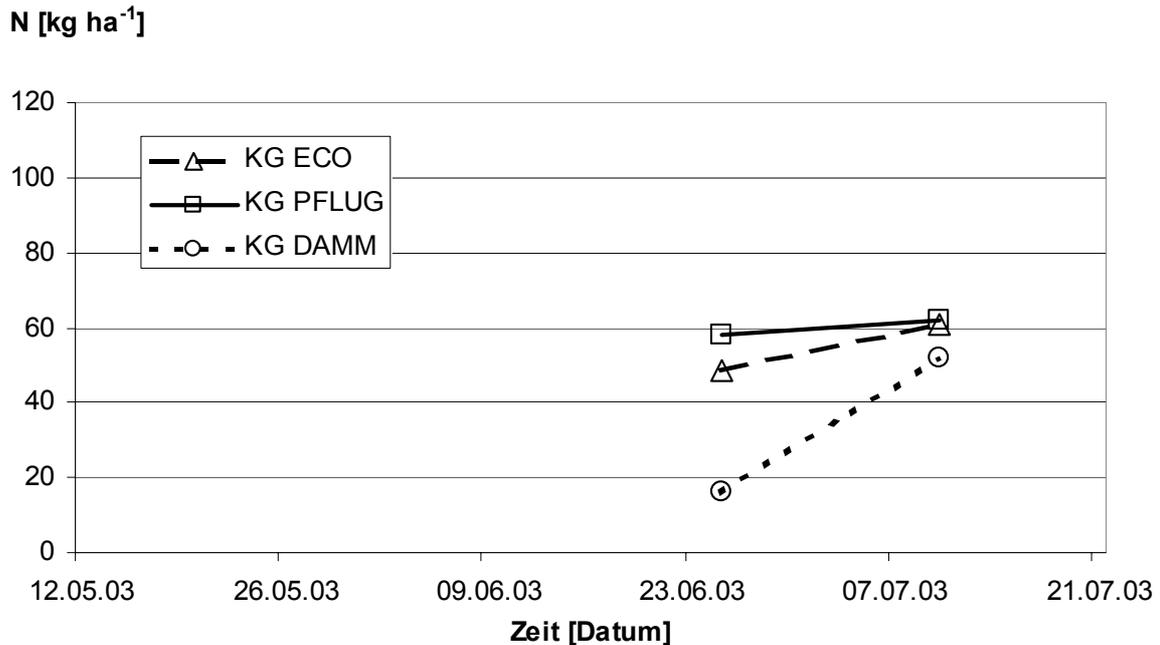
Im Dammkultursystem zeigte sich über die gesamte Vegetationsperiode ein signifikant geringerer N-Entzug durch die Ackerbohnen im Vergleich zu den anderen Bearbeitungssystemen. Die N-Entzüge durch die Ackerbohnen lagen im Dammkultursystem teilweise unter 50 % der N-Entzüge in den beiden anderen Varianten. Die Unterschiede sind auf den erheblich geringeren Trockenmasseaufwuchs ha<sup>-1</sup> der Ackerbohnen im Dammkultursystem zurückzuführen, welches als „Weite-Reihe-System“ einen deutlich geringeren Flächenbedeckungsgrad aufwies als die Drillsaatverfahren. Zwischen den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem wurden keine Unterschiede im N-Entzug gemessen.

Im Hafer lag der N-Entzug aufgrund des verfahrensbedingten geringeren Trockenmasseaufwuchses im Dammkultursystem ebenfalls bis zu 50 % unter den der Vergleichsvarianten. Zwischen dem Pflugsystem und dem Ecomat-System wurden keine Unterschiede im N-Entzug gemessen.



**Abb. 28: Stickstoffgehalte im Spross von Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

Die über Klee gras gemessenen N-Entzüge im Untersuchungszeitraum sind in Abb. 29 dargestellt. Am ersten Probetermin zeigte sich am Stickstoffentzug ein deutlicher Einfluss der schon angesprochenen verspäteten Bestandesetablierung des Klee grasses im Dammkultursystem. Wie in Abb. 29 dargestellt, fiel die anfänglich hohe Differenz zwischen dem Dammkultursystem und dem Pflugsystem bereits 14 Tage später deutlich geringer aus. Aufgrund der sich abzeichnenden Tendenz kann vermutet werden, dass sich zwischen den Systemen im weiteren Verlauf keine bedeutenden Unterschiede abzeichnen werden.



**Abb. 29: Stickstoffentzüge von Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)**

Zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten wurden deutliche Unterschiede im Nährstoffentzug durch das Erntegut gemessen. Die Unterschiede resultierten aus den erheblichen Unterschieden im TM-Ertrag zwischen dem Dammkultursystem und den beiden Vergleichsvarianten. Bei den Kulturen Ackerbohne und Hafer wurden im Dammkultursystem teilweise nur bis zu 60 - 70 % des TM-Ertrags (hier: Stroh und Korn) erreicht wie im Pflugsystem. Beim Hafer wurden im Dammkultursystem etwas höhere N-Gehalte im Korn gemessen als bei den anderen Varianten. Die Ertragsunterschiede und damit auch die Nährstoffentzüge konnten daher auf die unterschiedlichen Anbauverfahren der Pflugsysteme Ecomat-System und Pflug im Vergleich zum Dammkultursystem zurückgeführt werden. Die Gesamtnährstoffentzüge der angebauten Kulturen in Abhängigkeit von den verschiedenen Bearbeitungssystemen ist in Tab. 14 dargestellt.

**Tab. 14: Gesamtnährstoffentzüge verschiedener Kulturen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)**

Kultur	Bearbeitungssystem	N <sub>t</sub> [kg ha <sup>-1</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg ha <sup>-1</sup> ]	K <sub>2</sub> O [kg ha <sup>-1</sup> ]
Ackerbohne	Ecomat	207 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>	108 <sup>b</sup>
	Pflug	218 <sup>b</sup>	25 <sup>b</sup>	117 <sup>b</sup>
	Damm	144 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>
Hafer	Ecomat	84 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>	154 <sup>b</sup>
	Pflug	83 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>	161 <sup>b</sup>
	Damm	65 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>
Kleegrass	Ecomat	110 <sup>b</sup>		
	Pflug	120 <sup>b</sup>		
	Damm	68 <sup>a</sup>		

### 3.3 Bodenbiologische Untersuchungen (R. G. Jörgensen u. M. Lein)

#### 3.3.1 Mikrobielle Biomasse

Die Gehalte an extrahierbarem organischem C streuten um 71 µg g<sup>-1</sup> Boden (Tab. 15) und hatten eine leichte Tendenz mit der Tiefe zuzunehmen. Signifikant waren die Interaktionen Bearbeitung x Tiefe und Frucht x Tiefe (Tab. 16). Keine der untersuchten Messgrößen wurde signifikant durch die Bodenbearbeitung und die angebaute Feldfrucht beeinflusst (Tab. 16). Die Gehalte an C<sub>mik</sub>, N<sub>mik</sub> und dem Pilzbiomarker Ergosterol lagen in den oberen 10 cm bei für C<sub>mik</sub> bei fast 180, für N<sub>mik</sub> bei 35 und für Ergosterol bei 0,56 µg g<sup>-1</sup> Boden (Tab. 15) und nahmen mit der Tiefe hoch signifikant ab (Tab. 16). Sie waren in 20-30 cm Tiefe fast 30% niedriger als in der obersten Schicht (Tab. 15). Das (C/N)<sub>mik</sub>-Verhältnis und der Ergosterol /C<sub>mik</sub>-Quotient veränderten sich nicht mit der Tiefe und lagen bei 5 bzw. 0.34%.

Die gewählte Versuchsfläche Lindenbreite wies eine außerordentlich große Homogenität in ihren bodenmikrobiologischen Kenngrößen aus und ist damit als Versuchsfläche außerordentlich gut geeignet. Die Gehalte an C<sub>mik</sub>, N<sub>mik</sub> und Ergosterol lagen alle drei deutlich unter dem Durchschnitt von Löss-Parabraunerden (JOERGENSEN, 1995); (DJAJAKIRANA ET AL., 1996). Hier muss die Ökologische Bewirtschaftung der Fläche eine deutliche Steigerung dieser Kenngrößen bewirken.

**Tab. 15: Gehalte an 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> extrahierbarem Kohlenstoff, C<sub>mik</sub>, N<sub>mik</sub>, dem Pilzbiomarker Ergosterol sowie deren Quotienten, der Basalatmung und dem metabolischen Quotienten qCO<sub>2</sub>**

	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Extr. org. C (µg g <sup>-1</sup> Boden)	70	72	72
C <sub>mik</sub> (µg g <sup>-1</sup> Boden)	178	165	125
N <sub>mik</sub> (µg g <sup>-1</sup> Boden)	35	34	25
(C/N) <sub>mik</sub>	5,2	4,9	4,9
Ergosterol (µg g <sup>-1</sup> Boden)	0,56	0,56	0,40
Ergosterol/C <sub>mik</sub> (%)	0,33	0,35	0,33
Basalatmung (µg CO <sub>2</sub> -C g <sup>-1</sup> Boden d <sup>-1</sup> )	8,9	9,3	7,8
qCO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> -C g <sup>-1</sup> C <sub>mik</sub> d <sup>-1</sup> )	52	59	66

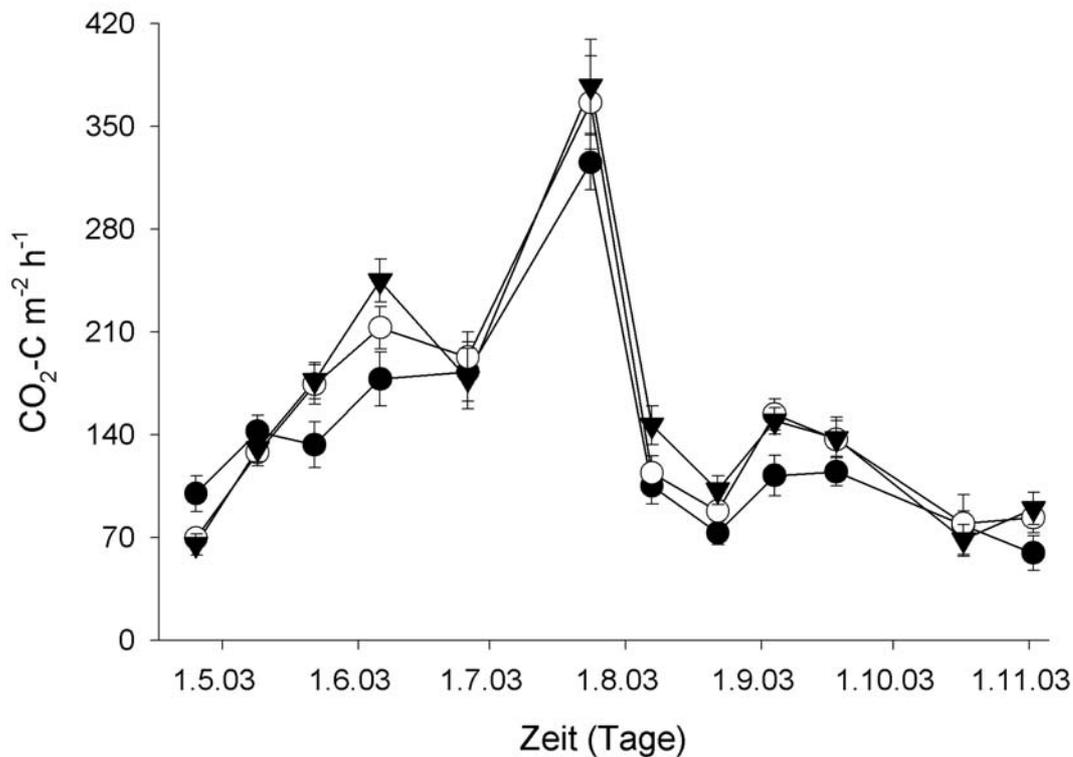
### 3.3.2 Basalatmung

**Tab. 16: F-Werte der 2-faktoriellen ANOVA (Faktoren: Bodenbearbeitung und Feldfrucht) für wiederholte Messungen (Bodentiefe)**

	Bearbeitung	Frucht	Tiefe	B x F	B x T	F x T
Extr. org. C	0,1	0,1	2,5 <sup>+</sup>	0,4	4,7**	2,6*
C <sub>mik</sub>	1,4	0,6	24,4****	3,0*	0,4	0,2
N <sub>mik</sub>	2,2	0,7	27,4****	2,7 <sup>+</sup>	0,8	0,6
(C/N) <sub>mik</sub>	1,0	0,1	2,3	0,7	1,0	0,3
Ergosterol	1,1	1,5	65,3****	0,9	2,1	1,3
Ergosterol/C <sub>mik</sub>	0,6	0,5	0,5	1,0	1,4	0,9
Basalatmung	0,6	0,4	7,7**	0,1	1,8	0,8
qCO <sub>2</sub>	0,3	0,1	5,9**	1,8	1,1	0,1

Freiheitsgrade: Bodenbearbeitung (2), Feldfrucht (2), Bodentiefe (2), Bearbeitung x Frucht (4), Bearbeitung x Tiefe (4), Frucht x Tiefe (4), <sup>+</sup>  $P < 0,1$ , \*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*\*  $P < 0,0001$

Die Basalatmungsrate war in der untersten Schicht der Ackerkrume nur 12% geringer als in der obersten (Tab. 15). Dadurch stieg der metabolische Quotient, d.h. der Quotient aus Basalatmungsrate und mikrobieller Biomasse mit zunehmender Tiefe signifikant an (Tab. 15 und Tab. 16).



Damm (●), Pflug (○), Ecomat (▼), Fehlerbalken zeigen Standardfehler des Mittelwerts (SE).

**Abb. 30: In situ gemessene CO<sub>2</sub>-Respirationsraten während des Untersuchungszeitraums in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem**

Die CO<sub>2</sub>-Produktionsrate im Freiland zeigte einen typischen Verlauf: Zunahme mit steigender Temperatur und fortschreitender Vegetationsentwicklung, Abnahme mit der Sommertrockenheit und dem Abreifen der Feldfrüchte (Abb. 30). Wenn die Raten über den gesamten Beobachtungszeitraum gemittelt werden, ergab sich beim Dammkultursystem eine signifikant geringere CO<sub>2</sub>-Produktion als in den beiden anderen Varianten (Tab. 17).

Während die Basalatmung auch eher im unteren Bereich anzusiedeln war (Joergensen, 1995), lag die CO<sub>2</sub>-Produktionsrate im Freiland eher im oberen Bereich (Jensen et al., 1996); (Wichern et al., 2004). Ob der signifikant niedrigere Durchschnittswert des Dammkultursystems auf einer Vergrößerung der Oberfläche durch die Dammbildung lag, kann zurzeit noch nicht definitiv gesagt werden.

**Tab. 17: Mittlere CO<sub>2</sub>-Produktionsrate, F-Werte der 3-faktoriellen ANOVA (Faktoren: Bodenbearbeitung, Feldfrucht, Messzeitpunkt)**

		CO <sub>2</sub> -Produktionsrate
mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	Damm	134 a
	Pflug	150 b
	Ecomat	155 b
F-Werte	<b>Bodenbearbeitung</b>	8.6***
	<b>Feldfrucht</b>	0.9
	<b>Messzeitpunkt</b>	104.9****
	<b>Be x Fr</b>	1.1
	<b>Be x Me</b>	1.6 <sup>+</sup>
	<b>Fr x Me</b>	5.4****

Freiheitsgrade: Bodenbearbeitung (2), Feldfrucht (2), Messzeitpunkt (11), Bearbeitung x Frucht (4), Bearbeitung x Messzeitpunkt (22), Frucht x Messzeitpunkt (22). <sup>+</sup>  $P < 0.10$ , \*\*\*  $P < 0.001$ , \*\*\*\*  $P < 0.0001$ .

### 3.3.3 Regenwürmer

**Tab. 18: Gesamt-Anzahl und Gesamt-Biomasse der adulten Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*, *Octolasion cyaneum*, *Allolobophora caliginosa*, *Octolasion lacteum*)**

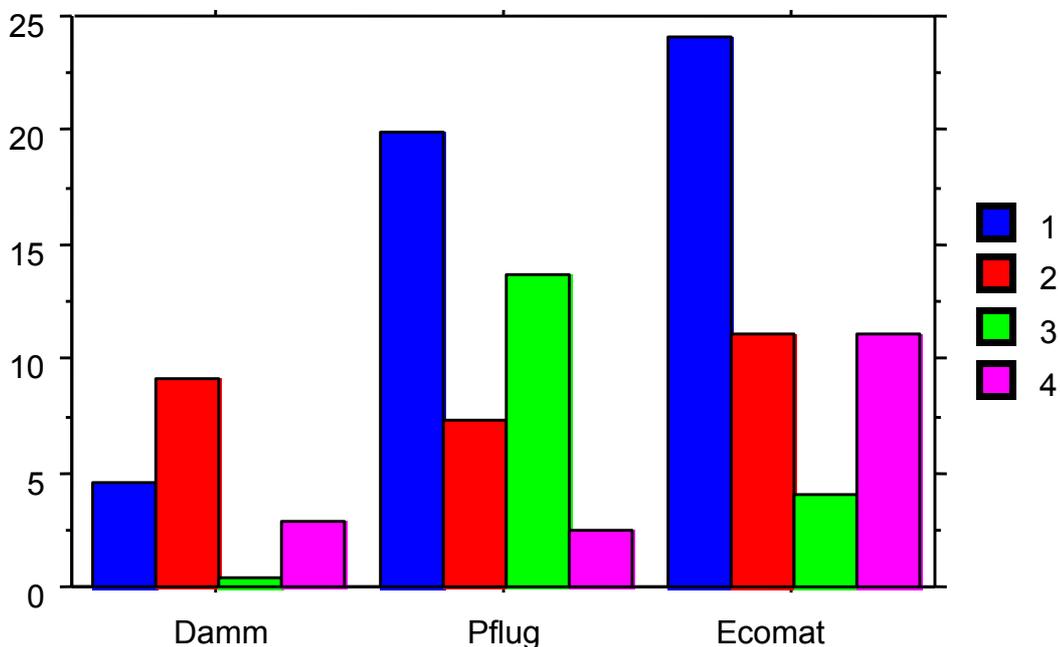
	Regenwürmer		
	Anzahl adulte	Anzahl total	Biomasse total
	(n m <sup>-2</sup> )	(n m <sup>-2</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )
Damm	2,4	5,5	4,2
Pflug	3,7	5,0	10,8
Ecomat	4,0	7,8	12,6
F-Werte			
<b>Bearbeitung</b>	1,5	1,8	4,5*
<b>Block</b>	0,8	10,2***	4,2*
<b>Be x Bl</b>	2,5	2,0	2,0

\*  $P < 0,05$ , \*\*\*  $P < 0,001$ , Freiheitsgrade: Bearbeitung 2, Block 3, Bearbeitung x Block 6

Die Bodenbearbeitung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl an adulten Regenwürmern, aber auch keinen auf die Gesamt-Anzahl (Tab. 18). Im Gegensatz dazu war die Biomasse der gesamten Regenwurmpopulation im Dammkultursystem signifikant niedriger als in den beiden anderen Varianten. Im Ecomat-System war die Anzahl der adulten, die Gesamt-

Anzahl, aber auch die Biomasse immer höher als in den Vergleichsvarianten. Die vier Blöcke unterschieden sich ausgeprägt in der Gesamt-Anzahl aber auch in der Gesamt-Biomasse der Regenwürmer (Abb. 31).

Die Erhebung des Regenwurmbesatzes zeigte eine deutliche Inhomogenität und ebenfalls eine erste Reaktion dieser Kenngrößen auf die Bodenbearbeitungsvarianten. Auch hier lag, wie bei der CO<sub>2</sub>-Produktionsrate, die Gesamtbiomasse der Regenwürmer deutlich unter denen der beiden anderen Varianten. Ob sich die positive Wirkung des Ecomat-Systems in den nächsten Jahren statistisch absichern lässt, bleibt abzuwarten. Die zurzeit sehr niedrige Abundanz an Regenwürmer mit einer ausgesprochen artenarmen Population (Dunger & Fiedler, 1997) lässt nach dem sehr trockenen und heißen Sommer auch hier einen großen Entwicklungsspielraum zu.



**Abb. 31: Gesamt-Biomasse an Regenwürmern in den 3 Bodenbearbeitungssystemen, unterschieden nach den vier Blöcken**

### 3.4 Pflanzenbauliche Untersuchungen

#### 3.4.1 Feldaufgang

Die Zählung des Feldaufgangs für den Hafer fand am 29.04.2003 statt. Hierfür wurde für das Pflugsystem und Ecomat-System ein Zählrahmen verwendet, der zwei Saatreihen mit 1 m Länge erfasste (100 x 22 cm). Bei der Variante Dammkultursystem kam ein Zählrahmen zur Verwendung, der dem Dammanstand entsprach (100 x 75 cm). Dieses war durch die Breite des Dammes von 75 cm vorgegeben. Erfasst wurden alle im Zählrahmen sichtbaren Pflanzen. Je Parzelle fanden 8 Zählungen statt, so dass je Variante 32 Werte zur Auswertung zur Verfü-

gung standen. Ausgehend von der jeweilig verwendeten Rahmengröße wurden die erfassten Werte auf Pflanzen  $\text{m}^{-2}$  umgerechnet.

Bei der Aufgangszählung bei Ackerbohnen (29.04.2003) wurden im Pflugsystem und beim Ecomat-System keine Zählrahmen eingesetzt, sondern lfd. Meter ausgezählt. Je Parzelle wurden bei diesen Varianten 12 Zählungen vorgenommen. Gezählt wurde zwischen den Fahrspuren und versetzt zueinander. Im Dammkultursystem wurde wiederum der Zählrahmen mit der Größe 100 x 75 cm verwendet. Die erhobenen Daten wurden auf Pflanzen  $\text{m}^{-2}$  umgerechnet.

### **3.4.2 Ertrag**

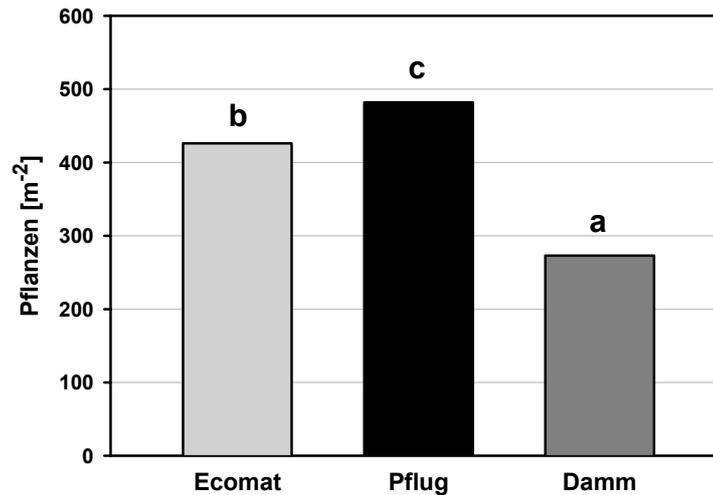
Die Probenschnitte fanden bei Hafer am 19./20.07.2003 statt. Zur Erhebung der Ernteerträge wurden Proben aus den Parzellen geschnitten. In den Parzellen des Dammkultursystems geschah dieses auf der gesamten Dammbreite und auf einer Länge von einem Meter. In den beiden anderen Varianten wurde eine variable Fläche von 1 x 0,5 m bis 1 x 0,75 m in Drillrichtung herausgeschnitten. Die Größe der Probenflächen wurde vermerkt und zur Errechnung der Ertragswerte [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] herangezogen. Im Pflugsystem und im Ecomat-System wurden 6 Proben gezogen, im Dammkultursystem 8 Proben. Die Haferhalme wurden gezählt, die Anzahl Halme  $\text{m}^{-2}$  berechnet und anschließend gedroschen und der Ertrag  $\text{m}^{-2}$  berechnet.

In allen Ackerbohnenparzellen wurden am 07.08.2003 je 8 Meterschnitte geerntet. Im Dammkultursystem auf der gesamten Dammbreite (d.h. auf einer Fläche von 0,75 x 1m), in den beiden anderen Varianten jeweils reihenweise (d.h. auf einer Fläche von 0,2 x 1m). Die Pflanzen und Hülsen pro Pflanze wurden gezählt und auf die Bezugsgröße  $\text{m}^{-2}$  hochgerechnet. Von den geschnittenen Ackerbohnen wurden die Hülsen von Hand abgeerntet, getrocknet, gedroschen und ausgewogen. Diese Werte wurden auf Ertrag  $\text{m}^{-2}$  hochgerechnet.

### **3.4.3 Hafer**

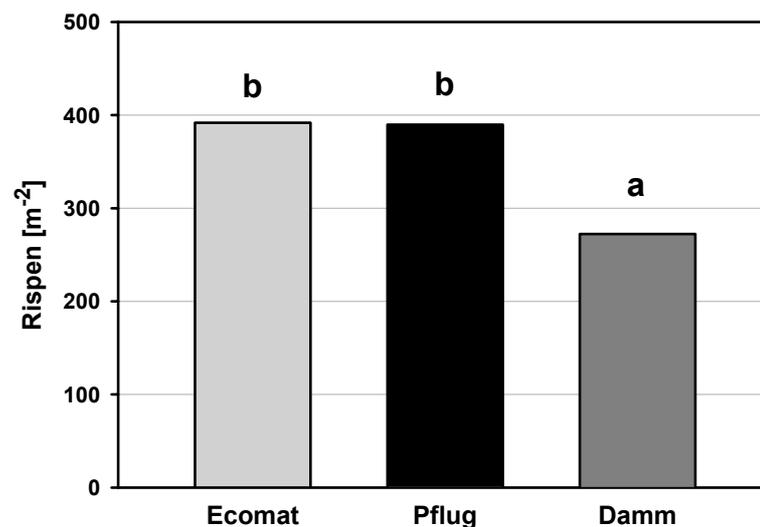
#### **Aufgang und Bestandsentwicklung**

Die Zählung der aufgelaufenen Haferpflanzen ergab die in Abb. 32 dargestellten Ergebnisse. Die deutlich unterschiedlichen Auflaufraten sind den jeweiligen Bodenbearbeitungssystemen und der damit verbundenen Drilltechnik zuzuschreiben. Hier konnte gerade im Dammkultursystem noch nicht die optimale Version eingesetzt werden. Des Weiteren übten die unterschiedlichen Einsatzzeitpunkte und Witterungsbedingungen einen Einfluss auf den Feldaufgang aus. In der Dammkultur wurde der Hafer mit einer Tiefe von 11-15 cm unterhalb der Dammkrone abgelegt, die einige Tage danach abgeschleppt wurde. Dies führte wegen vorhandener Kluten zu einem ungleichmäßigen und verminderten Auflaufen. Bei dem Ecomatsystem soll unmittelbar nach der flachen Grundbodenbearbeitung ohne weitere Überfahrt ausgesät werden. Dies war so im Versuchsjahr 2003 nicht möglich. Die Aussaat verzögerte sich, so dass nur ein grobkrümeliges Saatbett mit dementsprechend schwierigen Aussaatbedingungen zur Verfügung stand. Der herkömmlichen Bodenbearbeitung mit dem Pflug folgte ein weiterer Arbeitsgang mit Kreiselegge mit anschließender Aussaat.



**Abb. 32: Feldaufgang bei Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (29.04.2003)**

Die Zählung rispentragender Halme m<sup>-2</sup> zeigte nicht mehr so ausgeprägte Unterschiede wie die Aufgangszählung (Abb. 33).

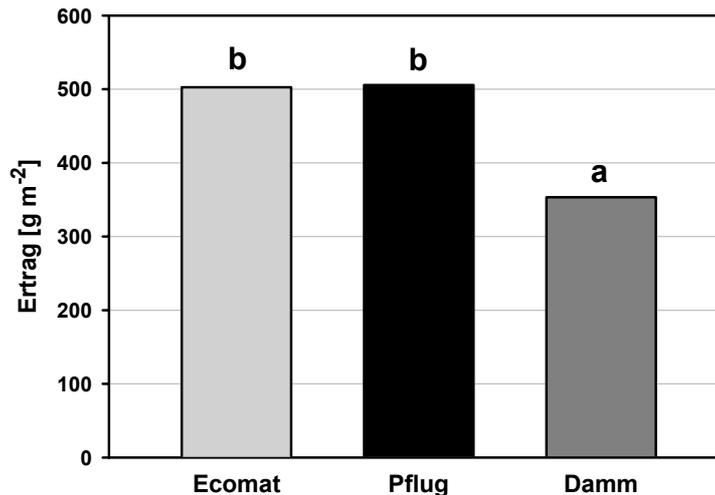


**Abb. 33: Bestandesdichte Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem**

Die im Vergleich zum Feldaufgang geringe Bestandesdichte lässt sich darauf zurückführen, dass in allen Varianten zur Beikrautregulierung gestriegelt wurde. Die außergewöhnlich trockenen Witterungsbedingungen können ein Übriges dazu beigetragen haben, dass die Bestände nach der Bestockung ausgedünnt wurden, bzw. sich nur sehr schwach bestockten. Wegen der tiefen Ablage hat der Hafer auf den Dämmen diese Maßnahme besser überstanden. Dies führte zu einer Verringerung des Unterschiedes in den Bestandesdichten zu Ecomat und Pflug im Vergleich zu den Auflaufraten.

### Erträge

Wie die Entwicklung der Bestandesdichten vermuten lässt, zeigen sich zwischen den Bearbeitungsvarianten Pflug und Ecomat keine Ertragsunterschiede (Abb. 34).



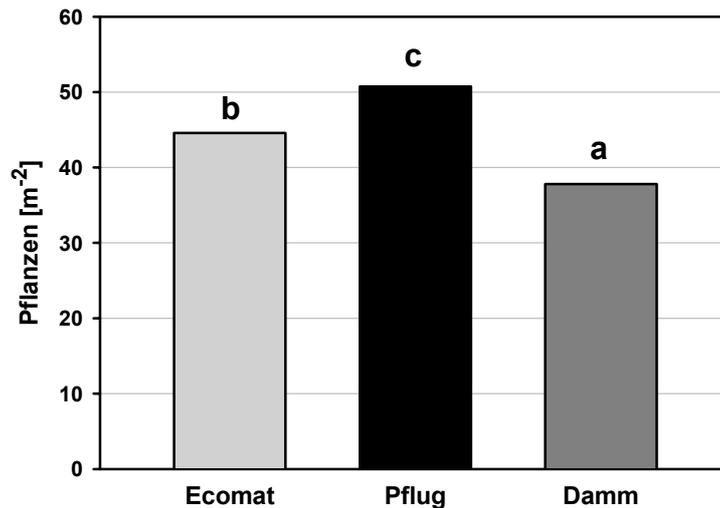
**Abb. 34: Ertrag (Meterschnitte) bei Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (19/20.07.2003)**

Lediglich das Dammkultursystem erbrachte wegen der geringeren Anzahl an Pflanzen je Quadratmeter erwartungsgemäß einen niedrigeren Kornenertrag. Dies konnte auch nicht durch den erweiterten Reihenabstand kompensiert werden, wie dies aus vergleichbaren Untersuchungen zu den Systemen „Weite Reihe“ bekannt ist. Mit einem Ertragsniveau von ca. 50 dt ha<sup>-1</sup> bei den Pflugvarianten und 35 dt ha<sup>-1</sup> für das Dammkultursystem liegen die Erträge vor allem wegen der Beerntung als Meterschnitte deutlich über dem Niveau, der im Ökologischen Landbau erreicht wurde. Das BLE-Projekt „Praxis-Forschung-Netz“ (unveröffentlichtes Manuskript) berichtet von durchschnittlichen Hafererträgen um die 30 dt ha<sup>-1</sup> in den letzten drei Jahren. Die über den Ertrag hinaus erhobenen Parameter wie Strohertrag, Ertragsstruktur (Halmlänge, TKG, Körner je Rispe, Ertrag je Einzelpflanze) werden der Übersichtlichkeit halber nicht weiter behandelt. Hier werden erst mehrjährige Erhebungen zu einer interpretationsfähigen Datengrundlage führen.

#### 3.4.4 Ackerbohnen

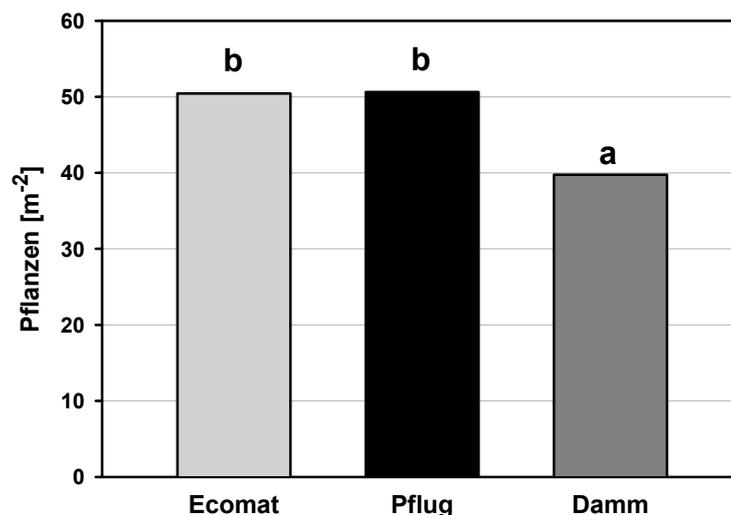
##### Aufgang und Bestandsentwicklung

Wie schon beim Hafer zeigen sich auch bei der Ackerbohne die system- und witterungsbedingten Unterschiede der Bodenbearbeitungsgeräte in den Auflaufzeiten. Sie fallen hier allerdings deutlich geringer aus als bei Hafer (Abb. 35).



**Abb. 35: Feldaufgang bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (29.04.2003)**

Die Auszählung der Ackerbohnenpflanzen je Quadratmeter am Ende der Vegetationsperiode entspricht den ermittelten Werten zum Aufgang (Abb. 36).



**Abb. 36: Bestandesdichte Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem**

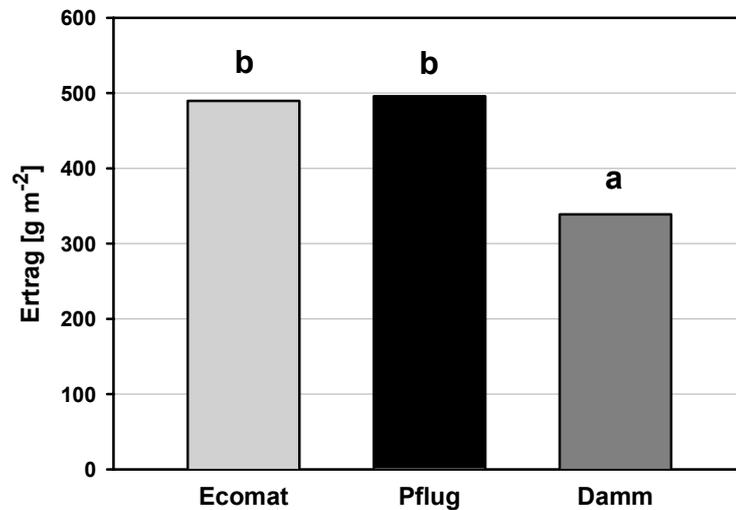
Die leicht höheren Werte der Bestandesdichte bei den Varianten Ecomat-System und Pflugsystem lassen sich methodisch erklären: Es konnten nicht exakt die gleichen Probestellen innerhalb einer Parzelle beprobt werden wie zu Beginn der Vegetationsperiode. Verzweigungen der Ackerbohnenpflanzen wurden nicht beobachtet.

### Erträge

Die in Abb. 37 dargestellten Erträge wurden ebenfalls durch Meterschnitte ermittelt.

Auch hier bleiben die Unterschiede zwischen den Varianten Pflugsystem und Dammkultursystem bestehen, wie dies die Bestandesdichten erwarten lassen. Die Verhältnisse zwischen den Erträgen der Bearbeitungsvarianten entsprechen damit den Ergebnissen beim Hafer. Sie liegen außer im Dammkultursystem erwartungsgemäß höher als Praxiserträge, die nach dem

bereits zitierten BLE-Projekt im Schnitt der letzten Jahre bei Ackerbohnen etwa 40 dt ha<sup>-1</sup> erreichen. Wie beim Hafer gilt auch für Ackerbohne, dass zusätzlich erhobene Parameter zu Ertragsstruktur etc. der Übersichtlichkeit halber hier nicht weiter behandelt werden.



**Abb. 37: Ertrag (Meterschnitte) bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (07.08.2003)**

Unter dem Vorbehalt der besonderen Bedingungen des Versuchsjahres scheint bei dem derzeitigen Stand der verfügbaren Technik (vor allem Aussaat) und den hier vorgestellten Kulturen das Dammkultursystem in Bezug auf die Ertragsleistung den Pflugvarianten unterlegen zu sein. Die flache Bodenwendung durch das Ecomat-System steht dem Pflugsystem beim Vergleich der Erträge nicht nach.

### 3.5 Phytosanitäre Untersuchungen (H. Saucke u. M. Finckh)

#### 3.5.1 Bonitur auf Kardinalschädlinge in Fababohnen und Hafer

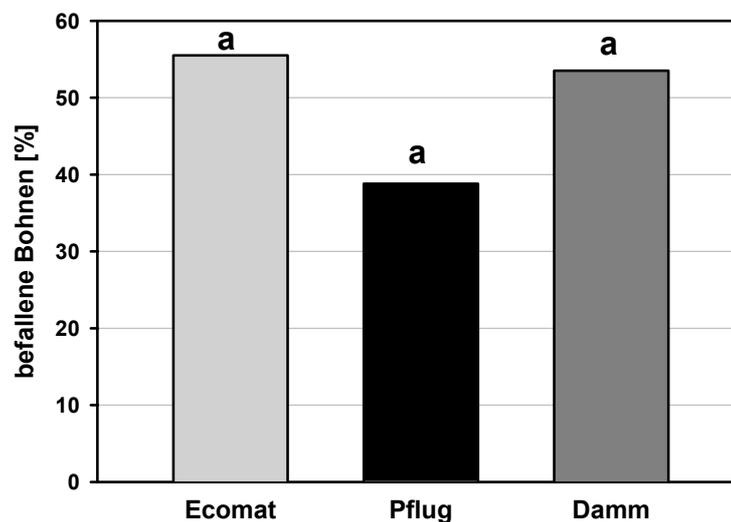
Für *Sitona lineatus*-*Imagines* (Col.: Curculionidae; Liniierter Blattrandkäfer) wurde die fünfstufige Boniturklassenskala von Doré & Meynard (1995) für Buchten-Blattfraß an Fababohnenblätter angepasst und als visuelle Endbonitur am 14.05.2003 durchgeführt.

Erntebohnen wurden auf Lochfraß durch *Bruchus rufimanus* (Col.: Bruchidae) untersucht. Aus ca. 0,5kg Ernte-Rückstellproben je Parzelle wurden jew. 4 Teilstichproben à 25 Samen (=100 Samen/Parzelle) entnommen und der durchschnittliche Prozentsatz befallener Bohnen je Bodenbearbeitungsvariante ermittelt.

Der Befall durch die Blattlausarten *Aphis fabae* Scopoli (Schwarze Bohnenlaus) und *Acyrtosiphon pisum* Harris (Erbsenblattlaus) (Hem.: Aphididae) wurde am 14.05.2003 anhand von diagonal über die Parzelle angeordneten Transekt-Stichproben (10 Pflanzen/Zählstelle, 4 Zählstellen/Parzelle) bei Fababohnen an der gesamten Pflanze, bei Hafer an dem jew. oberem Fahnenblatt und der Ähre für die Haferblattlaus (*Rhopalosiphum padi* L. (Hem.: Aphididae)) durchgeführt. Die durchschnittlichen Besatzdichten je Bohnenpflanze, bzw. Getreidehalm und Parzelle wurden berechnet.

**Blattrandkäfer:** Die für *S. lineatus* typischen Buchtenfraß-Symptome verteilten sich in allen Parzellen sehr gleichmäßig, sodass keine Unterschiede zwischen den jeweiligen Bearbeitungsvarianten festgestellt werden konnten. Dem gesamten Versuch konnte die Befallsstufe gering (2) bis moderat (3) (Doré & Meynard, 1995) zugeordnet werden, auf eine statistische Auswertung wurde deshalb verzichtet.

**Bohnensamenkäfer:** Die Erntebohnen erreichten im Ecomat-System einen Durchschnittsbefall von 56 % und im Dammkultursystem von 54 %. Das Pflugsystem wies einen signifikant geringeren Befallswert von ca. 39 % auf (Abb. 38). Da hier nur Ernteproben ausgewertet wurden, kann über die Ursachen, die zu diesem deutlichen Befallunterschied geführt haben, nur spekuliert werden. Da *B. rufimanus* aber als allgemein wärmeliebend gilt und lückige Ackerbohnenbestände stärker befällt als dicht stehende Bestände (Epperlein, 1992; Hoffmann & Schmutterer, 1999), könnten die höheren Schäden im Zusammenhang mit den größeren Reihenabständen im Dammkultursystem und Ecomat-System gestanden haben, da dort ein insgesamt günstigeres Mikroklima vorlag.



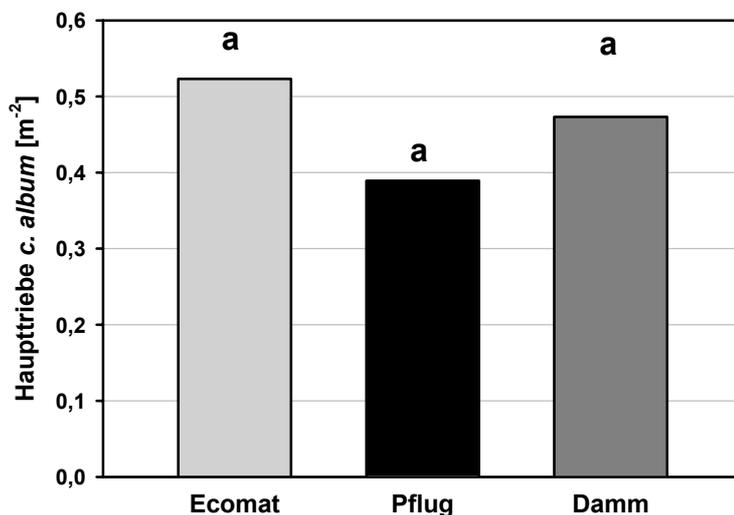
**Abb. 38: Anteil befallener Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem**

Die Blattlausbesatzdichten bewegten sich aufgrund des vorhergegangenen sehr strengen Winters, welcher der Primärbesiedelung entgegenwirkte, in allen Parzellen auf extrem niedrigem Niveau. Zusätzlich wirkte sich die extreme Sommertrockenheit bezüglich der weiteren Populationsentwicklung befallsmindernd aus, so dass Blattläusen in diesem Jahr keinerlei wirtschaftliche Relevanz zukam. Deshalb wurde hier von einer differenzierenden Bonitur zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten abgesehen, da der dafür erforderliche Stichprobenumfang zur Darstellung möglicher Unterschiede auf diesem Befallsniveau die Kapazitäten überschritten hätte. Rechnerisch betragen die Durchschnittsbesatzdichten in der gesamten Versuchsanlage für Fababohnen als Mischbefall Schwarze Bohnenlaus und Erbsenblattlaus  $<0,01$  Individuen/Pflanze, für Hafer  $<0,001$  *Rhopalosiphum padi* / Halm.

### 3.5.2 Bonitur auf Beikrautbesatz in Fababohnen

Der Beikrautbesatz wurde als Spätverunkrautung in allen Fababohnenparzellen am 06.08.03 bezüglich der prominentesten Art *Chenopodium album* erhoben.

Dazu wurden die Anzahl der *C. album*-Haupttriebe, welche die Fababohnen-Bestandeshöhe überragten, in einem Transekt von 1m Breite, quer zu den jew. Parzellen in vier Teilstichproben, 7m, 14m, 21m und 28m vom Kopfende der Parzelle festgehalten. Aus den Mittelwerten dieser vier Teilstichproben ( $48 \text{ m}^2/\text{Parzelle}$ ) wurde der Durchschnittsbesatz je Bodenbearbeitungsvariante errechnet. In Abb. 39 sind die Mittelwerte der Anzahl Haupttriebe  $\text{m}^{-2}$  und Behandlung angegeben.



**Abb. 39: Besatzdichten von *Chenopodium album* bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)**

### 3.5.3 Bonitur auf Krankheiten in Fababohnen

Die Parzellen wurden auf den Befall durch Bohnenrost, Schokoladen- und Brennflecken am 06.08.2003 jeweils diagonal begangen und das Befallsniveau qualitativ erfasst.

Das Befallsniveau für die drei festzustellenden Krankheiten, *Botrytis fabae* & *B. cinerea* (Schokoladenflecken), *Uromyces vicia fabae* (Bohnenroste) und *Ascochyta faba* & *A. pisi* (Brennflecken) war für die Saison 2003 als insgesamt geringfügig, auf kleine, im Bestand unregelmäßig verteilte Befallsherde begrenzt, einzustufen. Aufgrund der in allen Parzellen nicht wirtschaftlich relevanten Befallslage wurde auf eine Erfassung nach Befallsklassen zur statistischen Auswertung verzichtet.

## 3.6 Diskussion Exaktversuch Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL

Der Beginn des Projektes fiel bedingt durch Verzögerungen in den sehr nassen Herbst und kalten Winter 2002/03. Um Schädigungen der Bodenstruktur, die einen Untersuchungsschwerpunkt darstellen, zu vermeiden, mussten die Grundbodenbearbeitungen auf das Frühjahr 2003 verschoben werden. Die Folge waren Veränderungen in Bearbeitungsterminen, Fruchtfolge und Aussaatzeitpunkten. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden im Folgenden für die einzelnen Kulturen diskutiert.

## **Kleegras**

Die Kleegrassaussaat war für den Herbst geplant und konnte durch die o. g. Gründe erst nach der Grundbodenbearbeitung im Frühjahr erfolgen. Da Klee im Keimstadium frostempfindlich ist, wurde das Kleegras erst spät (14.04.2003) gesät. Das Saatbett war bei allen Bearbeitungssystemen durch die Kreiseleggenkombination sehr fein. Beim Dammkultursystem wurde der Boden vor der Saatbettbereitung mit Meißeln tief gelockert. Nach der Aussaat wurde auf Anraten des Entwicklers Herrn Turiel-Major der Boden beim Dammkultursystem nicht gewalzt, um zusätzliche Bodenverdichtungen durch das Überfahren zu vermeiden. In den folgenden Wochen (Monaten) herrschte eine extrem trockene Witterung, die bei dem feinen Saatgut zu verzögerter Keimung und Bestandesentwicklung führte. Beim Dammkultursystem war das Saatbett bis in die Unterkrume extrem locker, wie die Messungen der Eindringwiderstände zeigten. Dieses führte dazu, dass ein Teil des Saatguts zu tief in den Boden gelangte, nicht auflaufen konnte und sich der Kleegrasbestand trotz Nachsaat zögernder als in den anderen Varianten entwickelte. Erst im Herbst holte der Kleegrasbestand der Dammkulturvariante auf. Im Dezember 2003 wies der Kleegrasbestand des Dammkultursystems jedoch das intensivste Wurzelsystem auf. Das Bodengefüge war bei dieser Variante am lockersten (siehe Eindringwiderstände im Dezember).

Zwischen den Systemen Pflug und Ecomat konnten im ersten Jahr keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Ein Verzicht auf das herkömmliche tiefe Pflügen scheint durch den Einsatz des Ecomats möglich. Beim Dammkultursystem wird der Entwickler Modifizierungen am System vornehmen und in Zukunft nach der Saat walzen. Hieraus wird der hohe Anspruch an das Management bei der Umstellung auf das Dammkultursystem erkennbar.

## **Hafer**

Hafer ist in der Fruchtfolge im Exaktversuch nicht vorgesehen. Durch die im Frühjahr erfolgte Grundbodenbearbeitung konnte an Stelle des Winterweizens nur ein Sommergetreide angebaut werden. Da die Vorfrucht Sommerweizen war, schied aus Gründen der Bestandesgesundheit ein erneuter Anbau von Sommerweizen aus.

Durch den in den Ecomat integrierten Packomat wurde bereits ein Saatbett geschaffen, das im Vergleich zur Saatbettkombination mit der Kreiselegge jedoch gröber war. Die Aussaat erfolgte beim Ecomat-System direkt nach der Grundbodenbearbeitung, beim Pflugsystem nach der Saatbettbereitung mit Kreiselegge. Die geringere Bestandesentwicklung beim Ecomat-System war gegenüber dem Pflugsystem nicht ertragswirksam.

Im Dammkultursystem wird Sommergetreide nicht auf Dämmen angebaut, da hier keine Ertragsvorteile erwartet werden. Um im Versuchswesen jedoch Erfahrungen im Getreideanbau auf Dämmen zu bekommen und die strukturbildenden Prozesse untersuchen zu können, wurde der Hafer in diesem System einmalig für Versuchszwecke auf Dämmen angebaut. Hierbei zeigte sich, dass es noch Entwicklungsbedarf bei der Technik zum Abschleppen der Dämme gab. Durch die Verwendung von schweren Ketten konnten die Dämme nach dem Keimen des Hafers erfolgreich abgeschleppt werden. Die Ketten wurden an die Grindeln bei der Tiefenlockerung angehängt. Der Haferanbau auf Dämmen entsprach einem Anbau im

Weite-Reihe-Verfahren. Dieses dürfte eine der Ursachen in den Ertragsunterschieden zwischen den Systemen sein. Vor allem aber ist eine Umstellung des Systems innerhalb dieses Gliedes einer Fruchtfolge nicht ratsam.

Auffällig war die rasche Mineralisation beim Dammkultursystem nach der Stoppelbearbeitung, wie der rasche Anstieg der  $N_{\min}$ -Gehalte zeigte. Die Folgejahre werden zeigen, ob es sich hierbei um einen systembedingten Prozess handelt. Der mineralisierte N konnte aber von der Zwischenfrucht aufgenommen werden.  $N_{\min}$ -Untersuchungen im Frühjahr werden zeigen, ob es hier zu Auswaschungsverlusten kommen wird.

### **Ackerbohnen**

Die Entwicklungen und Erträge bei Ackerbohnen ergaben beim Vergleich Pflugsystem versus Ecomat-System keine Unterschiede. Ein Pflugverzicht scheint hier möglich.

Beim Dammkultursystem kam es wie schon beim Hafer zu geringerem Feldaufgang und geringerer Bestandesentwicklung. Dieser konnte bis zur Ernte hin nicht wieder ausgeglichen werden. Das Dammkultursystem ist hier im Jahr der Umstellung den anderen Systemen in Ertragsmerkmalen unterlegen. Hinsichtlich der Bodenstruktur kam es nach der anschließenden Wintergerstenaussaat zu deutlich lockereren Bodenverhältnissen. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Bodenstruktur in den nächsten Jahren entwickelt und ob sich die Erträge des Dammkultursystems denen der anderen Varianten durch evtl. verbesserte Bodenstruktur annähern können.

## **3.7 Maßnahmen zum Erfahrungs- und Wissenstransfer zwischen Forschung, Entwicklung, Praxis und Beratung**

Die enge Kooperation mit Beratern und Landwirten des ÖL gewährleistet den Technologie- und Wissenstransfer in die Praxis. Realisiert wurde dieses Konzept durch projektbegleitende Workshops mit Feld- und Informationstagen, Fachvorträgen und durch geplante Veröffentlichungen (Absprachen mit der Zeitschrift *Bioland* für April 2004).

### **3.7.1 Workshops / Feld- und Informationstag „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL“**

Ein zentrales Element der Studie waren zwei begleitende Workshops mit Experten des ÖL zu denen Wissenschaftler, Landwirte, Berater und Geräteentwickler zählten. Die Workshops fanden auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen zum o. g. Thema am 24.06.2003 und 08.12.2003 statt. Die Programme der Workshops sind im Anhang (Tab. 20 und Tab. 21) enthalten.

## 1. Workshop

Eine Übersicht über die Teilnehmer des 1. Workshops und ihre Berufe fasst die Tab. 19 zusammen.

**Tab. 19: Teilnehmer am 1. und 2. Workshop / Feld- und Informationstag „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ am 24.06.2003 bzw. 08.12.2003 auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen**

	$\Sigma$	Landwirt	Wissenschaftler	Berater	Entwickler	Azubi	Student
<hr/>							
24.06.2002							
Eingeladen	48						
Teilgenommen	30	12	7	3	2	2	4
<hr/>							
08.12.2003							
Eingeladen	79						
Teilgenommen	32	11	7	6	2		6

Der Schwerpunkt des 1. Workshops lag in der Vorstellung des Exaktversuches „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL“ und die Diskussion der Ziele und Vorgehensweise mit den Experten. Es wurden die Erfahrungen der Landwirte und Berater mit den Systemen der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL mit den Zielen des Projektes weitestgehend in Übereinstimmung gebracht und besondere Fragen der Praxis an Wissenschaft und umgekehrt benannt und in die Forschung integriert. Sofern die Projektmittel es zuließen, wurden die Anregungen der Berater und Landwirte in den Exaktversuch mit aufgenommen. So die einmalige Unterbodenlockerung bei den Bodenbearbeitungssystemen Pflug und Ecomat um ausschließen zu können, dass die vor Versuchsbeginn vorhandenen Pflugsohlenverdichtungen nicht die Unterschiede in den Bearbeitungssystemen überlagern. Verdichtungen, die im Laufe des Versuches von den Bearbeitungssystemen induziert werden, sollen in Zukunft jedoch in den Ecomat- und Pflugsystemen nicht mehr aufgebrochen werden.

Einige Teilnehmer regten eine Fruchtfolge mit geringerem Kleeanteil an, um die Unkrautproblematik zu verschärfen, da allgemein davon ausgegangen wird, dass das 2-jährige Fruchtfolgeglied die Verunkrautung in Grenzen halten wird. Eine Erweiterung des Versuches um ein weiteres Fruchtfolgeglied ist jedoch aus Kostengründen nicht möglich. Es gab aber den Konsens, dass der im Versuch realisierten Fruchtfolge die breite Praxis der ökologisch wirtschaftenden Betriebe am besten entspricht.

Generell nahm die Diskussion über die Regulierung der Verunkrautung einen hohen Stellenwert ein. Besondere Anerkennung fand die Versuchsanlage und die ausgewählten Bodenbearbeitungssysteme, die zwei extreme Systeme der Bodenbearbeitung im ÖL im direkten Vergleich mit dem praxisüblichen Pflugsystem darstellen.

## 2. Workshop

Die Zusammensetzung der Teilnehmer des 2. Workshops ist in Tab. 19 wiedergegeben.

Der 2. Workshop fand drei Wochen nach der Agritechnica statt, auf der zum einen die Ergebnisse des laufenden Projektes und der im Projekt eingesetzte Ecomat dem Publikum vorgestellt wurden. Hieraus ergaben sich zahlreiche Kontakte zu ökologisch wirtschaftenden Landwirten, die bei Interesse eine Einladung zum Workshop erhielten. Die Teilnehmer des 1. Workshops wurden erneut eingeladen, hatten aber die Information, dass im Juni 2004 ein weiterer Workshop zum Exaktversuch stattfinden wird. Bei fast gleicher Zahl an Teilnehmern haben 80 % der Teilnehmer nicht am 1. Workshop teilgenommen.

Der Schwerpunkt des 2. Workshops lag neben der Präsentation und Diskussion der Forschungsergebnisse in der Diskussion der Notwendigkeit der Lockerung der Unterkrume bei langjähriger, nicht wendender Bodenbearbeitung und der Erfassung von ökonomischen Kenngrößen bei Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL.

Es wurden mit mehreren Landwirten die zukünftige Zusammenarbeit festgelegt, um im Rahmen der „on farm research“ Praxisdaten hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Kenngrößen und der Bodenstruktur zu erheben.

Die Teilnehmer beider Workshops forderten mit Nachdruck die Weiterführung des Exaktversuches und wollen an den kommenden Feld- und Informationstagen zur Reduzierten Bodenbearbeitung im ÖL teilnehmen. Sie regten die Erstellung eines Rundbriefs mit Informationen zu der o. g. Thematik an.

### 3.7.2 Fachvorträge

In Ystad Schweden trafen sich vom 20. bis 22. Oktober 2003 ca. 30 europäische Experten, Entwickler und Verkaufsberater der Kverneland Group zur „Shallow Cultivation Conferenc“. Hier wurden vom Projektleiter die Ergebnisse des Exaktversuches „Reduzierte Bodenbearbeitungssysteme im ÖL“ vorgestellt und mit den Teilnehmern der Konferenz intensiv diskutiert. Die Titel der Vorträge lauteten: „**Reduced tillage systems in organic farming**“ (Brandt) und „**Results of the Kverneland Ecomat<sup>TM</sup> testing at Kassel University, Frankenhausen**“ (Brandt).

Auf der Agritechnica wurde am 11.11.2003 im Forum *Perspektive Ökolandbau* vor ca. 120 Messebesuchern ein Fachvortrag über die Ergebnisse des Forschungsprojektes mit dem Thema: „**Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau**“ (Brandt und Heß) gehalten. Einige der Zuhörer baten um eine Einladung zum 2., das Projekt begleitende, Workshop und nahmen an diesem Teil.

Wissenschaftlicher Gastvortrag an der Universität Göttingen im Seminar der Institute für Bodenwissenschaften und Pflanzenernährung mit dem Thema „**Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung im ÖL auf bodenchemische und –physikalische Kenngrößen**“.

### 3.7.3 Begleitende Forschungsarbeiten

#### 3.7.3.1 Diplomarbeit: Praxiserhebung Konservierende Bodenbearbeitung im ÖL

Begleitend zur Studie (nicht Bestandteil des Projekts) hatte Herr Lukas Fabian Schneider (2003) eine Studie (Diplomarbeit) mit dem Thema

#### **„Konservierende Bodenbearbeitung als Perspektive für den Ökologischen Landbau? – Analyse einer Praxiserhebung“**

angefertigt. Zielsetzung dieser Arbeit war die Erörterung der Frage, ob konservierende Bodenbearbeitung eine Perspektive für den Ökologischen Landbau ist.

In einer Praxiserhebung wurden 12 von 13 landwirtschaftlichen Betrieben, die dieses in Deutschland bereits mehrjährig (im Mittel ca. 14 Jahre) praktizieren, aufgesucht. Anhand eines Leitfadens, der sich um sieben Arbeitshypothesen gliederte, erfolgte eine Befragung der Betriebsleiter. Der Leitfaden gliederte sich analog der Arbeitshypothesen in die Bereiche Standort, Bodenbearbeitung, Technik, Fruchtfolge und Pflanzenbau, Betriebsstruktur und Motivation des Betriebsleiters. Mittels der durch die Befragung erhobenen Daten, ergänzt durch die subjektiven Eindrücke des Autors, wurden zunächst die Betriebe in Fallstudien dargestellt. Wesentliche Ergebnisse der Arbeit waren:

- Die konservierende Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau wird vorwiegend auf lehmigen Böden betrieben. Auch sandige und tonige Böden werden bewirtschaftet. Die Bodenwertzahl liegt im Mittel bei 50,3 Punkten.
- Primäre und sekundäre Bodenbearbeitung sowie direkte Unkrautregulierung auf den untersuchten Betrieben können bei Getreide sowohl von der Eingriffsintensität der Geräte als auch vom Gesichtspunkt der Anzahl der Überfahrten, insgesamt nicht als intensiver als auf pflügenden Betrieben bewertet werden. Bei Klee grasumbruch kann allerdings von einer höheren Anzahl an Überfahrten gesprochen werden (im Mittel 3,8 Überfahrten).
- Auch auf konservierenden Betrieben werden die gängigen Kulturen, darunter Sommergetreide, Körnerleguminosen, Hackfrüchte und Feldgemüse kultiviert. Im Bereich der Fruchtfolge zeigt sich allerdings, dass die pfluglosen Ökologischen Betriebe den Anteil an Feldfutter/Stilllegung relativ hoch halten und auf eine intensive Einbeziehung von Untersaaten, Zwischen- und Deckfrüchten zum Zwecke einer weitestgehenden Bodenbedeckung achten.
- Nur die Hälfte der befragten Ökologischen Betriebe mit konservierender Bodenbearbeitung lockert tiefer als 15 cm. Dieses sind überwiegend Betriebe mit Hackfruchtanbau.
- Die Investitionskosten und der Mechanisierungsgrad der befragten Betriebe für die Bodenbearbeitungs- und Saattechnik sind nicht höher als auf vergleichbaren pflügenden Betrieben. Die eingesetzte Schlepperleistung/m Arbeitsbreite ist deutlich geringer als der spezifische Leistungsbedarf für den Pflug. Eine deutliche Mehrheit der Betriebe setzt eine den konservierenden Bodenbearbeitungssystemen angepasste Saattechnik ein.

- Konservierende Bodenbearbeitung kann auch von stark diversifizierten Betrieben durchgeführt werden. Bis auf zwei Betriebe verfügen alle Landwirte über mindestens zwei bedeutende Betriebszweige zusätzlich zum Pflanzenbau. Auch Betriebe, bei denen der Ackerbau eine untergeordnete Rolle spielt (Milchviehbetriebe) wirtschaften mehrjährig pfluglos. Einem Vergleich mit Daten des BMVEL zufolge scheinen die Betriebe jedoch über einen relativ hohen AK-Besatz zu verfügen.
- Die Betriebsleiter sind fast alle aus bodenökologischen Erwägungen zur konservierenden Bodenbearbeitung übergegangen. Sie verfügen nach der Einschätzung des Autors über ein überdurchschnittlich hohes Maß an ackerbaulicher und agrartechnischer Innovationsfähigkeit, die es erlaubt, neue Wege einzuschlagen und fortzuführen.

Bei staatlicher Förderung, einer Intensivierung der Forschung und Austausch von Fachwissen könnte die Perspektive der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung verbessert werden. Insbesondere durch eine Klärung der ökonomischen Auswirkungen mit eventuellen positiven Ergebnissen könnte der Anreiz für eine Umstellung steigen.

### **3.7.3.2 Diplomarbeit: Bodenstruktur**

Im Exaktversuch „Reduzierte Bodenbearbeitungssysteme im ÖL“ wurde von Herrn Jörn Jakob eine Diplomarbeit mit dem Thema

#### **„Einfluss von reduzierten Bodenbearbeitungssystemen auf die Bodenstruktur. Ergebnisse eines Exaktversuches auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen“**

erarbeitet, dessen Abgabe für Januar 2004 vorgesehen ist. Herr Jakob untersuchte Einflüsse der Bodenbearbeitungssysteme auf Aggregatstabilität, Oberflächenverschlammung und Eindringwiderstand. Ergebnisse dieser Arbeit sind auszugsweise im Abschlussbericht aufgeführt.

## 4 Zusammenfassung

Ziel des interdisziplinären Forschungsprojektes war es, einen Exaktversuch für Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau einzurichten. Dieser ist auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, dem Lehr- und Transferzentrum des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel angelegt worden. In dem Exaktversuch werden das Dammkultursystem nach Turiel-Major und das Ecomat-System der Firma Kverneland mit dem herkömmlichen Pflugsystem verglichen. Dabei werden die drei verschiedenen Bearbeitungssysteme im Kontext entsprechend angepasster dynamischer Anbauverfahren geprüft. Die genannten Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung wurden bisher noch nicht im Ökologischen Landbau wissenschaftlich untersucht. Mit den Ergebnissen aus dem Langzeitversuch soll der Wissenstransfer zwischen Landwirtschaft, Beratern, Entwicklern und Wissenschaftlern intensiviert und vorangetrieben werden. Durch den regelmäßigen Kontakt (Workshops, Fachtagungen und Betriebsbesichtigungen) mit Praktikern wird Praxiswissen in die wissenschaftliche Fragestellungen einfließen und die Ergebnisse der Beratung zugänglich werden.

Es handelt sich um einen Bodenbearbeitungssystemversuch im ersten Versuchsjahr. Insofern sind die Ergebnisse nicht geeignet, die Systeme zur Bodenbearbeitung in ihrer Gesamtheit zu bewerten. Im ersten Versuchsjahr wurden die wichtigsten bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Ausgangskenngrößen untersucht und erfasst. Erste pflanzenbauliche und phytosanitäre Untersuchungen wurden durchgeführt. Folgende Aussagen lassen sich aus dem Jahr der Systemumstellung zusammenfassen:

- Der Einstieg in das Ecomat-System ist einfach zu bewerkstelligen, da sich die weiteren Maßnahmen wie Pflege und Ernte nicht wesentlich vom herkömmlichen Pflugsystem unterscheiden. Die Vorzüge des Ecomat-Systems liegen in seiner hohen Schlagkraft. Durch die geringe Bearbeitungstiefe ist der Zugkraftbedarf gering. Bei 3 m Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeiten von 9-12 km/h werden Flächenleistungen bis zu 2,5 ha/h erreicht. Es ist darauf zu achten, dass bei mehreren Arbeitsgängen jeder folgende Arbeitsgang tiefer sein muss als der vorangegangene. Der Ecomat braucht stets auch festen Boden bei der Bearbeitung, damit der Boden mit den Ernteresten sauber umgedreht wird und sich kein Boden aufschiebt. Die Stoppeln müssen kurz sein.
- Das Ecomat-System hat im Jahr der Umstellung keine nachteiligen Auswirkungen auf Ertrag und Beikrautentwicklung. Die N-Mineralisation verlief vergleichbar dem Pflugsystem.
- Beim Dammkultursystem ist bei der Umstellung zu beachten, dass die Arbeitsbreite den Kulturen und der Pflanz- und Erntetechnik angepasst wird. Dammbreiten von 75 oder 90 cm sind realisierbar. Das Dammkultursystem nach Turiel-Major zeichnet sich gegenüber anderen Dammkultursystemen durch seine hohe Flexibilität und Arbeitsbreiten bis zu 7,2 m aus. Fahrten mit dem Mähdrescher quer zu den Dämmen sollten vermieden werden. Die Schlag- (Damm-)länge sollte dementsprechend angepasst werden. Eine Systemumstellung nach der Ernte zur Herbstbestellung erscheint sinnvoll, da die Zeitfenster zur Bearbeitung hier in der Regel größer sind.

- Die Erträge bei Umstellung auf das Dammkultursystem waren bei der extrem trockenen Witterung im Frühjahr geringer als beim Pflugsystem. Sie erlauben aber keine allgemeingültige Bewertung des Dammkultursystems, da sich die Veränderungen der Bodenparameter erst nach mehreren Jahren stabilisieren werden.
- Durch die Stoppelbearbeitung nach Hafer kam es beim Dammkultursystem im Oberboden zu einer erhöhten N-Mineralisation. Der mineralische N im Boden wurde allerdings von der Zwischenfrucht gänzlich aufgenommen, sodass N-Verluste durch Auswaschung nicht zu erwarten sind. Die Folgefrucht könnte von einer höheren N-Mineralisation aus der Zwischenfrucht profitieren.

Seitens der Wissenschaft müssen bestehende Methoden wie zur Bonitierung von Pflanzenbeständen und zur Bodenprobenahme den besonderen Versuchsbedingungen, Dammkultur im Vergleich zur Flachkultur, angepasst bzw. weiterentwickelt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Workshops auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen durchgeführt. Die Workshops waren mit 30 bzw. 32 Teilnehmern gut besucht. Hier wurde der Exaktversuch den Landwirten, Beratern, Entwicklern und Wissenschaftlern vorgestellt und erste Erfahrungen und Ergebnisse vorgestellt und intensiv diskutiert. Der Austausch zwischen den Beteiligten war für alle außerordentlich fruchtbar.

Weiterer Transfer der Erfahrungen und des Wissens erfolgte über Fachvorträge an der Universität Göttingen, auf der Agritechnica und auf der Shallow Cultivation Conference in Ystad, Schweden. Beiträge in Fachzeitschriften sind angemeldet und in Vorbereitung.

## **5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen erreichten Zielen**

Wegen des verzögerten Projektbeginns konnten bei der Anlage des Exaktversuchs einzelne Bodenbearbeitungsmaßnahmen, besonders die des Dammkultursystems, und Aussaaten von Kulturen nicht zum optimalen Zeitpunkt durchgeführt werden. Dieses hatte zur Folge, dass die Ertragsergebnisse des Bodenbearbeitungsversuches nicht repräsentativ waren und für eine absolute Bewertung der Systeme auf keinen Fall herangezogen werden dürfen.

Bereits mit Projektbeginn wurde über den engen Kontakt zu Landwirten und Beratern die Firma Kverneland auf das Projekt aufmerksam. Nach detaillierter Vorstellung des Projektkonzeptes konnte das Ecomat-System der Firma Kverneland in den Exaktversuch eingegliedert werden. Damit gelang es, die Palette um ein weiteres, hoch interessantes System zur reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau zu erweitern.

Der Exaktversuch wurde daraufhin erweitert und mit großem Erfolg auf zwei Workshops, die auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, dem Lehr- und Transferzentrum des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel, mit 30 bzw. 32 Teilnehmern stattfanden, vorgestellt. Durch den Einstieg der Kverneland-Group in das Projekt wurden erste Ergebnisse des vom Bundesprogramm Ökolandbau geförderten Projekts auf einem internationalen Kongress vorgestellt und mit Experten diskutiert.

Die Landwirtschaftskammer Münster hatte während der Bewilligungsphase die Bodenbearbeitung auf dem on farm research „Hof-Wickede“ ohne Mitteilung an den Antragsteller verändert. Der ursprüngliche Ansatz, die Ergebnisse des Exaktversuches mit denen von Hof „Wickede“ zu ergänzen, konnte nicht realisiert werden, da das Dammkultursystem dort nicht mehr praktiziert wurde. Mit den freigewordenen Mitteln wurden nach Rücksprache mit der BLE die Untersuchungen am Exaktversuch intensiviert.

Zusätzlich zum Exaktversuch wurden auf dem Versuchsbetrieb des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften 80 ha mit dem Ecomat-System bearbeitet und auf weiteren Praxisflächen alle drei Systeme der Bodenbearbeitung im Vergleich eingesetzt. Erste Ergebnisse auf diesen Praxisflächen werden in der kommenden Vegetationsperiode erwartet.

## 6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage des Exaktversuchs zur reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen	9
Abb. 2: Bodenprofil des Exaktversuches „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ (Mai 2003)	10
Abb. 3: Niederschlagsverteilung, durchschnittliche Temperaturen im Versuchszeitraum in Kassel-Calden und im 30-jährigen Mittel (Kassel-West)	11
Abb. 4: ECOMAT™-System des Herstellers Kverneland: flach wendende Grundbodenbearbeitung (6-18 cm) mit integriertem Packer zur Saatbettbereitung (Foto: KVERNELAND)	12
Abb. 5: Dammkulturgerät (Häufelpflug) mit aufgesattelter pneumatischer Sämaschine	13
Abb. 6: Säaggregate des Dammkulturgeräts (Häufelpflugs)	14
Abb. 7: Detailplan des Exaktversuches „Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen	16
Abb. 8: Bodenbearbeitungsmaßnahmen der im Exaktversuch eingesetzten Bearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur während des 1. bis 3. Fruchtfolgejahrs	17
Abb. 9: Bodenbearbeitungsmaßnahmen der im Exaktversuch eingesetzten Bearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur während des 4. bis 6. Fruchtfolgejahrs	18
Abb. 10: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Klee-gras, Ackerbohnen und Hafer (29.04.2003)	26
Abb. 11: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Wintergerste nach Ackerbohnen (18.12.2003)	28
Abb. 12: Eindringwiderstände in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Grün-düngung nach Hafer (18.12.2003)	29
Abb. 13: Wassergehalts-Wasserspannungs-Charakteristik in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett (3-8 cm), Unterkrume (15-20 cm) und Pflugsohle (09.04.2003)	31
Abb. 14: Wassergehalts-Wasserspannungs-Charakteristik in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett (3-8 cm), Unterkrume (15-20 cm) und Pflugsohle (01.06.2003)	33
Abb. 15: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben (250 cm <sup>3</sup> ) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Ackerbohnen und Hafer (10.06.2003)	35
Abb. 16: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben (250 cm <sup>3</sup> ) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Ackerbohnen und Hafer (03.07.2003)	36
Abb. 17: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) von vertikal an der Bodenoberfläche entnommenen Stechzylinderproben (250 cm <sup>3</sup> ) in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bei Wintergerste nach Ackerbohnen (27.11.2003)	36

---

Abb. 18: Flächendarstellung der $N_{\min}$ -Gehalte (0-90 cm Tiefe) aus 216 Einzelmessungen der Versuchsfläche (Dez. 2002)	38
Abb. 19: $NO_3$ -N-Gehalte über die Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm in den Versuchsparzellen des Bodenbearbeitungsversuches vor Versuchsbeginn (14.11.2002)	39
Abb. 20: $NO_3$ -N-Gehalte über die Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm in den Versuchsparzellen des Bodenbearbeitungsversuches unmittelbar vor Vegetationsbeginn (04.03.2003)	39
Abb. 21: $NO_3$ -N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	41
Abb. 22: $NO_3$ -N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	41
Abb. 23: $NO_3$ -N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	42
Abb. 24: $NO_3$ -N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	43
Abb. 25: $NO_3$ -N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) unter Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	44
Abb. 26: $NO_3$ -N-Gehalte im Unterboden (30-60 cm) unter Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	44
Abb. 27: Stickstoffgehalte im Spross von Ackerbohnen (AB) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	46
Abb. 28: Stickstoffgehalte im Spross von Hafer (H) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003)	47
Abb. 29: Stickstoffentzüge von Klee gras (KG) in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen Ecomat (ECO), Pflug und Dammkultur zu den verschiedenen Terminen der Probenahme (2003). Gesamtnährstoffentzüge (N, P, K)	48
Abb. 30: In situ gemessene $CO_2$ -Respirationsraten während des Untersuchungszeitraums in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem	51
Abb. 31: Gesamt-Biomasse an Regenwürmern in den 3 Bodenbearbeitungssystemen, unterschieden nach den vier Blöcken	53
Abb. 32: Felddaufgang bei Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (29.04.2003)	55

Abb. 33: Bestandesdichte Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem	55
Abb. 34: Ertrag (Meterschnitte) bei Hafer in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (19/20.07.2003)	56
Abb. 35: Feldaufgang bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (29.04.2003)	57
Abb. 36: Bestandesdichte Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem	57
Abb. 37: Ertrag (Meterschnitte) bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (07.08.2003)	58
Abb. 38: Anteil befallener Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem	59
Abb. 39: Besatzdichten von <i>Chenopodium album</i> bei Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)	60

## 7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Bodenkenndaten der Versuchsfläche „Lindenbreite“ (0-30 cm Tiefe)	10
Tab. 2:	Fruchtfolge im Exaktversuch „Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen	15
Tab. 3:	Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgeglieds Klee gras im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur	19
Tab. 4:	Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgegliedes Hafer im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur	20
Tab. 5:	Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgegliedes Ackerbohnen im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur	21
Tab. 6:	Bearbeitungsmaßnahmen und –termine des Fruchtfolgegliedes Wintergerste im Versuchsjahr 2003 für die Bodenbearbeitungssysteme Ecomat, Pflug und Dammkultur	22
Tab. 7:	Übersicht über Untersuchungsparameter, Probenahme und Methode im Projekt „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ - Teil 1	23
Tab. 8:	Übersicht über Untersuchungsparameter, Probenahme und Methode im Projekt „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ - Teil 2	24
Tab. 9:	Termine und Randbedingungen zur Messung der Eindringwiderstände	25
Tab. 10:	Porenklassen, Äquivalentdurchmesser der Poren und pF-Stufen	31
Tab. 11:	Gesamtporenvolumen (GPV) und Porengrößenverteilung in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett, Unterkrume und Pflugsohle (09.04.2003)	32
Tab. 12:	Gesamtporenvolumen (GPV) und Porengrößenverteilung in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem differenziert nach Saatbett, Unterkrume und Pflugsohle (01.06.2003)	34
Tab. 13:	Bodenchemische Kenngrößen zu Beginn der Vegetationsperiode und zum Zeitpunkt nach der Ernte von Ackerbohnen, Hafer und Klee gras in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)	45
Tab. 14:	Gesamtnährstoffentzüge verschiedener Kulturen in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem (2003)	49
Tab. 15:	Gehalte an 0,5 M $K_2SO_4$ extrahierbarem Kohlenstoff, $C_{mik}$ , $N_{mik}$ , dem Pilzbiomarker Ergosterol sowie deren Quotienten, der Basalatmung und dem metabolischen Quotienten $qCO_2$	50
Tab. 16:	F-Werte der 2-faktoriellen ANOVA (Faktoren: Bodenbearbeitung und Feldfrucht) für wiederholte Messungen (Bodentiefe)	50
Tab. 17:	Mittlere $CO_2$ -Produktionsrate, F-Werte der 3-faktoriellen ANOVA (Faktoren: Bodenbearbeitung, Feldfrucht, Messzeitpunkt)	52

Tab. 18: Gesamt-Anzahl und Gesamt-Biomasse der adulten Regenwürmer ( <i>Lumbricus terrestris</i> , <i>Octolasion cyaneum</i> , <i>Allolobophora caliginosa</i> , <i>Octolasion lacteum</i> )	52
Tab. 19: Teilnehmer am 1. und 2. Workshop / Feld- und Informationstag „Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau“ am 24.06.2003 bzw. 08.12.2003 auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen	63
Tab. 20: Programm Workshop / Feld- und Informationstag am 24.06.2003	78
Tab. 21: Programm Workshop / Feld- und Informationstag am 08.12.2003	78
Tab. 22: Analysenergebnisse Referenzprofil: pH-Werte, pflanzenverfügbare Nährstoffe und Bodenfarbe	79
Tab. 23: Analysenergebnisse Referenzprofil: Gehalte an Gesamtkohlenstoff ( $C_t$ ), organischem ( $C_{org}$ ) und anorganischem Kohlenstoff ( $C_{min}$ ), Gesamtstickstoff ( $N_t$ )	79
Tab. 24: Analysenergebnisse Referenzprofil: Textur	79
Tab. 25: Analysenergebnisse Referenzprofil: Potentielle Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{pot}$ ), austauschbare Kationen, Basensättigung (BS)	80
Tab. 26: Analysenergebnisse Referenzprofil: Lagerungsdichte ( $d_B$ ), Gesamtporenvolumen (GPV), nutzbare Feldkapazität (nFK), Feldkapazität (FK) und Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung (pF)	80

## 8 Literaturverzeichnis

AG Boden (1994). Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. verb. u. erw. Aufl., Hrsg: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland. Hannover.

Anderson, T.-H. und K. H. Domsch (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry* **22**: 251-255.

Anonym (2004). Wetterdaten Kassel-Calden. [www-wetter-online.de](http://www-wetter-online.de).

Beisecker, R. (1994). Einfluß langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge, die Wasserinfiltration und die Stoffverlagerung eines Löß- und eines Sandbodens. Dissertation. Universität Gießen.

Blanken, M. M. (1996). Soil respiration in an apple orchard. *Environmental and Experimental Botany* **36**: 339-348.

Brandt, M. (1997). Grünguthäcksel-Verwertung zur Vermeidung von Bodenerosion und Nährstoffaustrag. Boden und Landschaft. Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie. Band 18. Gießen. Landwirtschaft, Internationale Agrarentwicklung und Ökologische Umweltsicherung. Kassel, University of Kassel: 144.

Brandt, M. (2001). Bodenprofile der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. Arbeitsberichte Nr. 4. Universität Gesamthochschule Kassel. Fachbereich 11. Fachgebiet Bodenkunde. Kassel.

Brandt, M., J. Heß und H. Wildhagen (2001). Flächendeckendes Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. Kartier- und Analysenergebnisse. Arbeitsberichte Nr. 5. Universität Gesamthochschule Kassel. Fachbereich 11. Fachgebiet Bodenkunde. Kassel.

DIN19684 (1977). Chemische Laboruntersuchungen. Bestimmung der Austauschkapazität des Bodens und der austauschbaren Kationen. Fachnormenausschuß Wasserwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.. Teil 8.

DIN (1973). Physikalische Laboruntersuchungen. Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Wasser. Fachnormenausschuß Wasserwesen im Deutschen Normenausschuß (DNA). Blatt 3.

Djajakirana, G., R. G. Joergensen und B. Meyer (1996). Ergosterol and microbial biomass relationship in soil. *Biology & Fertility of Soils* **22**: 299-304.

Doré, T. und J. M. Meynard (1995). On-farm analysis of attacks by the pea weevil (*Sitona lineatus* L.; Col., Curculionidae) and the resulting damage to pea (*Pisum sativum* L.) crops. 49-54.

Dunger, W. und H. J. Fiedler (1997). Methoden der Bodenbiologie, 2. Auflage. Stuttgart, Spektrum Akademischer Verlag.

Epperlein, K. (1992). Untersuchungen zur Schadwirkung des Bohnensamenkäfers *Bruchus rufimanus* Boh. (Col., Bruchidae) an Ackerbohrensaatgut (*Vicia faba* L.). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* **65**: 147-150.

Hartge, K. H. (1966). Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinderproben. *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* **7**: 155-163.

Hartge, K. H. und R. Horn (1989). Die physikalische Untersuchung von Böden. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Aufl.

Hartge, K. H. und R. Horn (1991). Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Hoffmann, G. (1991). Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch, Band 1, 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Hoffmann, G. M. und H. Schmutterer (1999). Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart, Ulmer-Verlag.

Jenkinson, D. S. (1966). Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and soil biomass. *Journal of Soil Science* **17**: 280-302.

Jensen, L. S., T. Mueller, K. R. Tate, D. J. Ross, J. Magid und N. E. Nielsen (1996). Soil surface CO<sub>2</sub> flux as an index of soil respiration in situ: a comparison of two chamber methods. *Soil Biology & Biochemistry* **28**: 1297-1306.

Joergensen, R. G. (1995). Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* **104**: 1-229.

Joergensen, R. G. (1996). The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the kEC value. *Soil Biology & Biochemistry* **28**: 25-31.

Klink, H.-J. (1969). Geographische Landesaufnahme. Naturräumliche Gliederung. Blatt 112 Kassel. Bad Godesberg, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.

Klute, A. (1986). Water Retention: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. A. Klute, Editor. Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., 635-662.

Linstow, O. v. und H. Breddin (1996). Behelfsausgabe der Geologischen Karte von Hessen. Faksimilierter Nachdruck der Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern (1928). Blatt 4522 Hofgeismar. Wiesbaden, Hessisches Landesamt für Bodenforschung.

Roth, C. H. (1992). Die Bedeutung der Oberflächenverschlammung für die Auslösung von Abfluß und Abtrag. *Bodenökologie und Bodengene*, TU Berlin. Heft 6.

Schlichting, E., H.-P. Blume und K. Stahr (1995). *Bodenkundliches Praktikum*. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin Wien, 2. Aufl.

Schüller, H. (1969). Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Böden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 123, 48-63.

Sekera, F. und A. Brunner (1943). Beiträge zur Methodik der Gareforschung. *Z. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk.*, 29, 181-212.

SÖL (2002). Bodenbearbeitung und Bodengesundheit. Mainz, Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Stiftung Ökologie & Landbau. 13.

Wichern, F., E. Luedeling, T. Mueller, R. G. Joergensen und A. Buerkert (2004). Field measurements of the CO<sub>2</sub> evolution rate under different crops during an irrigation cycle in a mountain oasis of Oman. *Applied Soil Ecology* **25**: 85-91.

## 9 Anhang

**Tab. 20: Programm Workshop / Feld- und Informationstag am 24.06.2003**

---

<b>bis 10.30 Uhr</b>	<b>Eintreffen</b> (Bustransfer Bahnhof-Domäne)
<b>10.45 Uhr</b>	<b>Begrüßung der Teilnehmer</b> <i>Dr. Michael Brandt</i> <b>Das „Lehr-, Versuchs- und Transferzentrum für Ökologische Landwirtschaft und Nachhaltige Entwicklung“ der Universität Kassel</b> <i>Prof. Dr. Jürgen Heß</i>
<b>11.15 Uhr</b>	<b>Vorstellung des Bodenbearbeitungsversuchs im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau</b> <i>Dr. Michael Brandt</i> <b>Versuchskonzeption, Fragestellungen (Bearbeitungsvarianten, Feldversuchsplan, beteiligte Fachgebiete)</b> <i>Dipl.-Ing. agr. Mario Schenck zu Schweinsberg - Mickan</i>
<b>12.00 Uhr</b>	<b>Mittagessen</b>
<b>12.30 Uhr</b>	<b>Feldversuchsbegehung, Erläuterung des Feldversuchs (Bodenprofil, Anlage, Parzellen usw.)</b> <i>Dr. Michael Brandt</i> <b>Bodenbearbeitungsmaßnahmen mit den verschiedenen Bodenbearbeitungsgeräten im Versuch (Gerätevorstellung)</b> <i>Dipl.-Ing. agr. Marius Otto</i> <b>Erste Ergebnisse des Bodenbearbeitungssystemversuches</b> <i>Dr. Michael Brandt</i>
<b>ca. 15.00 Uhr</b>	<b>Diskussion</b> (Leitung: <i>Dr. Christian Schüler</i> ): Bodenbearbeitungssysteme im Ökologischen Landbau, Erweiterte Fragestellungen, Erfahrungen der Landwirte. Abschließend Kaffee und offene Abreise

---

**Tab. 21: Programm Workshop / Feld- und Informationstag am 08.12.2003**

---

<b>bis 10.30 Uhr</b>	<b>Eintreffen</b> (Bustransfer Bahnhof-Domäne)
<b>10.35 Uhr</b>	<b>Begrüßung der Teilnehmer</b> <i>Dr. Michael Brandt</i> <b>Das „Lehr-, Versuchs- und Transferzentrum für Ökologische Landwirtschaft und Nachhaltige Entwicklung“ der Universität Kassel</b> <i>Prof. Dr. Jürgen Heß</i>
<b>11.30 Uhr</b>	<b>Feldversuchsbegehung, Erläuterung des Feldversuchs (Bodenprofil, Anlage, Parzellen usw.)</b> <i>Dr. Michael Brandt</i> <b>Gerätevorführung: Ecomat (Kverneland); Dammkultursystem (Turiel-Major)</b> <i>Dipl.-Ing. agr. Marius Otto</i>
<b>13.00 Uhr</b>	<b>Mittagessen</b>
<b>13.45 Uhr</b>	<b>Ergebnisse des Bodenbearbeitungssystemversuches</b> <i>Dr. Michael Brandt</i>
<b>ca. 15.00 Uhr</b>	<b>Diskussion</b> (Leitung: <i>Dr. Christian Schüler</i> ): Notwendigkeit der Lockung bis auf Krumbasis, Ökonomische Aspekte der reduzierten Bodenbearbeitung Abschließend Kaffee / Kuchen und offene Abreise

---

**Tab. 22: Analysenergebnisse Referenzprofil: pH-Werte, pflanzenverfügbare Nährstoffe und Bodenfarbe**

Horizont	pH	pH	P	K	Mg	Farbe
	<i>CaCl<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>CAL</i>	<i>CAL</i>	<i>CaCl<sub>2</sub></i>	
	————— [ppm] —————					<i>feucht</i>
Ap	6,69	7,55	113	205	71	10YR3/3
Al	6,83	7,74	82	196	89	10YR3/3
Bt	7,12	7,74	2	33	90	10YR3/2
Bv	6,93	7,55	n. n.	36	69	10YR4/4
C	7,28	8,17	n. n.	22	61	10YR5/4

**Tab. 23: Analysenergebnisse Referenzprofil: Gehalte an Gesamtkohlenstoff (C<sub>t</sub>), organischem (C<sub>org</sub>) und anorganischem Kohlenstoff (C<sub>min</sub>), Gesamtstickstoff (N<sub>t</sub>)**

Horizont	C <sub>t</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>min</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> / N <sub>t</sub>
	————— [Gew.-%] —————					
Ap	1,34	0	0	1,34	0,14	9,28
Al	0,85	0	0	0,85	0,10	8,83
Bt	0,48	0,15	0,02	0,46	0,06	7,39
Bv	0,26	0,74	0,09	0,17	n. n.	n. a.
C	1,90	14,6	1,75	0,15	n. n.	n. a.

**Tab. 24: Analysenergebnisse Referenzprofil: Textur**

Horizont	Bodenart	T	U	S	fU	mU	gU	fS	mS	gS
		————— [Gew.-%] —————								
Ap	Ut3	15,95	81,9	2,15	6,89	21,34	53,66	1,75	0,26	0,14
Al	Ut3	15,90	83,00	1,10	7,36	22,73	52,91	0,95	0,12	0,03
Bt	Tu4	28,71	69,86	1,43	6,26	17,59	46,01	1,15	0,14	0,14
Bv	Ut4	22,26	76,30	1,44	5,73	18,19	52,38	1,07	0,17	0,21
C	Uu	3,97	94,83	1,20	7,01	18,07	69,75	0,91	0,16	0,13

**Tab. 25: Analysenergebnisse Referenzprofil: Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>pot</sub>), austauschbare Kationen, Basensättigung (BS)**

Horizont	KAK <sub>pot</sub>	Ca	Mg	K	Na	H	BS
Ap	11,46	8,61	0,70	0,94	0,03	1,18	89,69
Al	11,33	8,06	0,91	0,89	0,04	1,43	87,39
Bt	15,68	12,43	1,12	0,39	0,11	1,63	89,58
Bv	11,16	9,48	0,78	0,35	0,07	0,48	95,71
C	6,74	12,2	0,73	0,35	0,08	0,00	100,00

**Tab. 26: Analysenergebnisse Referenzprofil: Lagerungsdichte (d<sub>B</sub>), Gesamtporenvolumen (GPV), nutzbare Feldkapazität (nFK), Feldkapazität (FK) und Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung (pF)**

Horizont	dB	GPV	nFK	FK	pF					
					0-1	1-1,8	1,8-2,5	2,5-3	3-4,2	4,2-7
					[g cm <sup>-3</sup> ]		[Vol.-%]			
Ap	1,43	45,86	25,66	38,30	3,78	3,90	9,52	6,88	9,44	12,46
Al	1,50	43,27	23,83	36,49	2,84	4,42	7,31	9,90	7,23	12,05
Bt	1,57	40,71	13,34	33,85	2,81	3,52	2,84	3,20	7,48	20,33
Bv	1,49	43,61	20,03	37,29	1,68	4,01	8,82	5,94	4,91	17,63
C	1,53	42,28	25,93	38,97	0,70	3,99	11,64	9,57	4,56	13,20