

## Projektbericht (Stand 30.8.2007)

### **Bodengefüge, Regenwurmabundanz und Nährstoffverteilung im Boden nach acht Jahren unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung auf einem rheinhessischen Zuckerrübenstandort**

**Projektleiter:** Prof. Dr. Thomas Appel, Fachhochschule Bingen, Tel: 06721 409 174, Email: [appel@fh-bingen.de](mailto:appel@fh-bingen.de)

#### **Kooperationspartner/Beteiligte:**

Volker Berg, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

Ottmar Laufer, Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

Studierende aus dem Studiengang Umweltschutz der FH Bingen: Kai Dertmann, Andreas Eidt, Felix Hilgers, Andreas Merz, Martin Nogalski

Frau Anerose Walk, Bodenkundelabor der FH Bingen

#### **1. Einleitung**

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung wird auf das Pflügen verzichtet. Das spart zwar Kosten (Treibstoff, Maschinenkosten, Arbeit), führt aber dazu, dass nur noch die Oberkrume mechanisch im Zuge der Bodenbearbeitung gelockert und durchmischt wird. Im Extremfall, nämlich bei der Direktsaat, wird nicht nur in der Unterkrume, sondern auch in der Oberkrume auf die Lockerung und die Durchmischung verzichtet. Dieser Verzicht muss sich nicht unbedingt nachteilig auswirken, wenn die (vom Pflug) verlassenen Horizonte weiterhin die Ansprüche erfüllt, die Pflanzen an einen fruchtbaren Boden haben. Das sind:

- Große kontinuierliche Poren, die den Boden vertikal perforieren, um eine schnelle Durchwurzelung zu ermöglichen sowie den ungehinderten Gasaustausch der Bodenluft mit der Atmosphäre
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe
- Mittelporen, in denen pflanzenverfügbares Bodenwasser gespeichert und die Nährstoffe aus der Bodenlösung aufgenommen werden können.

Wenn jahrelang auf das Durchmischen und das mechanische Lockern der Unterkrume verzichtet wird, so könnte das dazu führen, dass die (vom Pflug) verlassenen Bodenhorizonte nach und nach an Humus und an Pflanzennährstoffen verarmen, weil die Ernterückstände und der Dünger nicht mehr in die Unterkrume eingemischt werden. Der Verzicht auf das mechanische Lockern könnte auch dazu führen, dass in dem verlassenen Bodenhorizont nach und nach die Perforierung durch große kontinuierliche Poren abnimmt, weil durch die natürliche Sackung des Bodens und durch das Befahren mit schwerem Gerät bei ungünstiger Witterung mehr kontinuierliche, vertikal verlaufende Grobporen verloren gehen als neue entstehen.

Auf der anderen Seite ist bekannt, dass die Bodentiere, insbesondere die Regenwürmer, durch eine pfluglose Bodenbearbeitung geschont werden. Die Regenwürmer könnten auf den pfluglos bewirtschafteten Flächen für eine ausreichende Durchmischung und Perforation des Bodens sorgen. Damit die Regenwürmer aktiv sind und sich reichlich vermehren, sind neben einer reduzierten Bodenbearbeitung noch weitere Faktoren, wie zum Beispiel ausreichende Ernährung durch Ernterückstände, ausreichende Bodenfeuchtigkeit in den Sommermonaten und ein hinreichend hoher pH-Wert im Boden wichtig. Fehlende Gründung und Trockenheit im Frühsommer können eine Regenwurmpopulation stark beeinträchtigen.

Um zu überprüfen, ob die Regenwürmer unter den sommertrockenen rheinhessischen Standortbedingungen den Verzicht auf den Pflug kompensieren können, wurde ein seit acht Jahren laufender Bodenbearbeitungsversuch der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz untersucht.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Versuchsstandort

In der Gemarkung Wintersheim in Rheinhessen wurde im Jahr 1998 von der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz ein Bodenbearbeitungsversuch auf der Fläche eines Praxisbetriebs angelegt. Der Boden des Standortes ist eine aus kalkhaltigem Löss entstandene Pararendzina auf ebenem Gelände. Die Ackerzahl beträgt auf der Versuchsfläche durchschnittlich 79. Im Mittel fallen im Jahr 510 l/m<sup>2</sup> Niederschlag. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,3 °C. Die Fruchtfolge auf dem Standort lautet Zuckerrüben-Sommergerste-Winterweizen-Sommergerste. Im Jahr 2007 war das Feld mit Winterweizen bestellt. Fünf unterschiedliche Varianten der Grundbodenbearbeitung wurden geprüft. Die Versuchsanordnung zeigt Abbildung 1. Die Versuchspartellen sind 290 Meter lang und 18 Meter breit.

Parzellenbreite	9m	18m	18m	18m	18m	18m	18m	18m	18m	18m	18m	Rand
Stoppelbearbeitung	flacher Grubberstrich				keine				flacher Grubberstrich			
Bodenbearbeitung	Pflug	Grubber	Scheibenegge	keine				Scheibenegge	Grubber	Pflug		
Aussaatverfahren	Kreiselegge mit Scheibendril				Direktsaattechnik				Kreiselegge mit Scheibendril			
	Rand	1a	2a	3a	4a	5a	5b	4b	3b	2b	1b	
geteilter Weg												

**Abbildung 1.** Versuchsanordnung

Nach der Ernte erfolgt in den Varianten 1 - 4 ein erster flacher Arbeitsgang zur Stoppelbearbeitung mit dem Grubber. Die Arbeitstiefe beträgt 4 bis 5 cm, um günstige Keimbedingungen für Unkrautsamen und Ausfallgetreide zu schaffen sowie um das Austrocknen der Böden (Senkung der unproduktiven Wasserverdunstung) zu unterbinden. Die Grundbodenbearbeitung wird je nach Variante unterschiedlich durchgeführt:

Variante 1: Pflug (ca. 30 cm tief)

Variante 2: Grubber (ca. 15 cm tiefe Einarbeitung der Ernterückstände)

Variante 3: Scheibenegge (ca. 15 cm tiefe Einarbeitung der Ernterückstände)

Variante 4: Mulchsaat (flacher Grubberstrich, Ernterückstände bleiben an der Oberfläche)

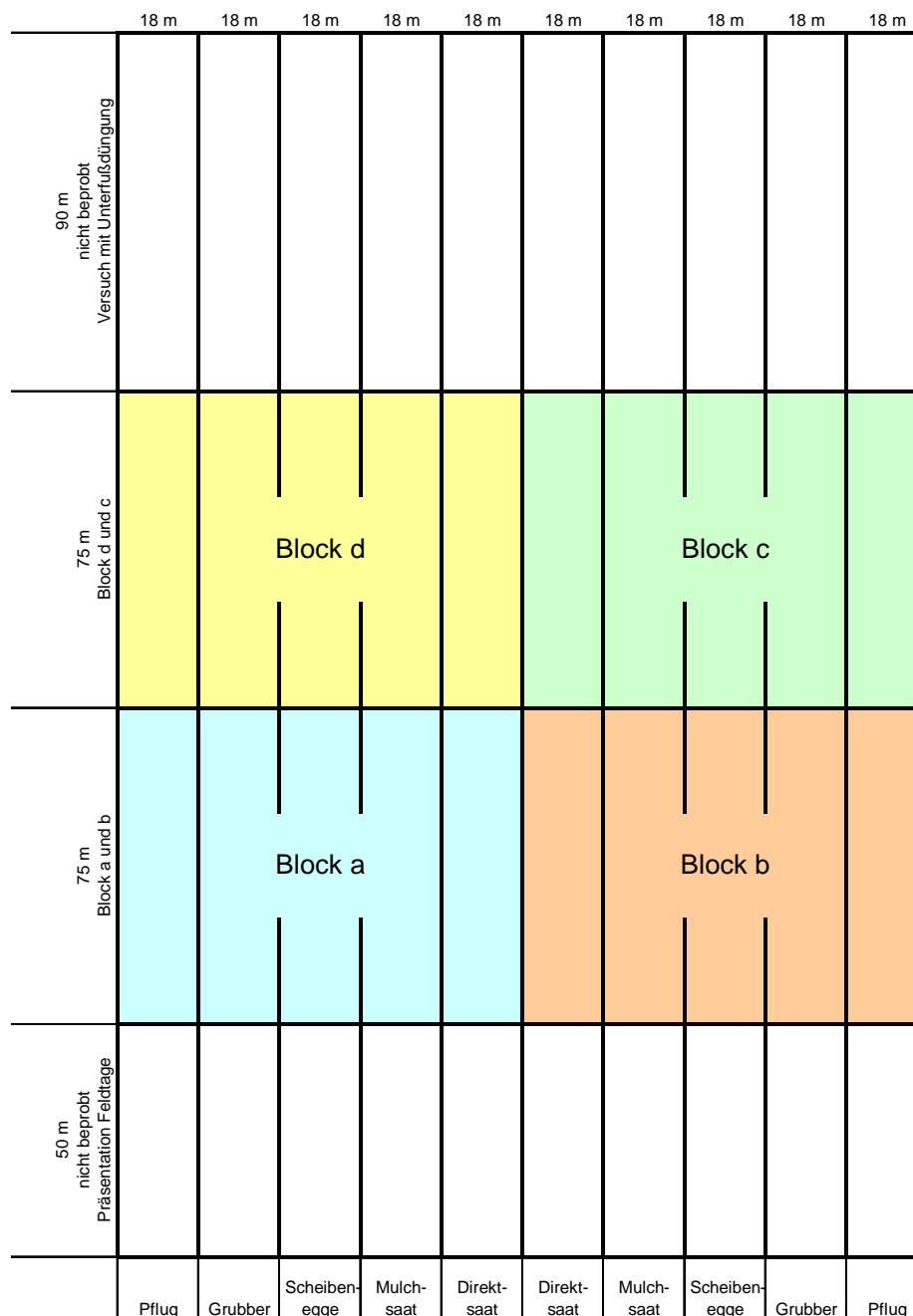
Variante 5: Direktsaat (reine Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung)

Die Feldbestellung erfolgt in den Var. 1 – 3 mit der am Standort vorhandenen hofeigenen Kreiselegge plus Drillmaschine, in Var. 4 und 5 wird Direktsaattechnik über einen Lohnunternehmer eingesetzt. Die Bestandsführung erfolgt über alle Versuchspartellen betriebsüblich und wird nicht nach Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren differenziert.

### 2.2. Bodenchemische, bodenphysikalische und bodenökologische Untersuchungen

Im Rahmen eines im Studiengang Umweltschutz der FH Bingen durchgeführten studentischen Praktikums wurden die Parzellen des Bodenbearbeitungsversuchs in der letzten März-

woche des Jahres 2007 untersucht. Der Fokus der Untersuchung lag auf der Fragestellung, ob die Regenwürmer unter den Standortbedingungen in der Lage waren, durch ihre Aktivität die unterlassene Durchmischung von Ober- und Unterkrume sowie den Verzicht auf die Lockerung der Unterkrume zu kompensieren. Für die Beprobung des Versuchs wurden die Langparzellen noch einmal in der Mitte geteilt, so dass insgesamt vier Parallelen je Variante, aufgeteilt in vier Blöcke a) bis d) untersucht werden konnten (Abb. 2).



**Abbildung 2.** Einteilung der Untersuchungsfläche in vier Blöcke

Die einzelnen Parzellen wurden für die bodenchemischen Untersuchungen (Kalium und Phosphor mit der CAL-Methode, Humusgehalt (noch nicht analysiert)) flächenrepräsentativ mit Rillenbohrern beprobt. Je Bodenbearbeitungsvariante wurden also 4 Parzellen beprobt, je eine in jedem der 4 Blöcke. Mit dem Rillenbohrer wurden dazu 10 Bohrkern verteilt über die jeweilige Parzelle aus den Tiefen 0 - 10 cm (Oberkrume), 20 - 30 cm (Unterkrume) und 40 - 60 cm (Unterboden) entnommen. Die Bohrkern einer Parzelle wurden durch Siebe mit ca. 1 cm

Maschenweite passiert und anschließend vermischt und so getrennt nach Tiefenzugehörigkeit flächenrepräsentative Mischproben hergestellt. Aliquote von ca. 1 kg wurden in PVC-Beutel gefüllt, über Nacht im Labor bei ca. 50 °C getrocknet und anschließend mit einer Schlagkreuzmühle zu Aggregaten < 2 mm zerkleinert. Jede der insgesamt 60 Bodenproben wurde im Labor zunächst mit zwei Laborparallelen mittels CAL-Methode auf Phosphor und Kalium untersucht. Dabei wurde darauf geachtet, dass die beiden Laborparallelen in jeweils unterschiedlichen Analysenserien extrahiert und analysiert wurden.

Für die bodenphysikalischen Untersuchungen wurden auf jeder Parzelle in ca. 40 m Entfernung voneinander zwei etwa 1,5 m breite und 30 cm Tiefe Gruben gegraben, aus denen mit Hilfe von Stahlzylindern (100 cm<sup>3</sup>) ungestörte Bodenproben entnommen wurden. Hierzu wurden die Stahlzylinder in vertikaler Richtung mit Hilfe einer Schlaghaube in einer Tiefe von 20 cm in den Boden eingetrieben. Die auf diese Weise gewonnenen so genannten Stechringproben stammen also aus der Unterkrume in 20 bis 25 cm Tiefe. Aus jeder Grube wurden 10 Stechringproben entnommen. Jeweils 3 davon wurden im Labor zur Bestimmung der Lagerungsdichte und des Porenvolumens verwendet, die verbleibenden 6 Proben jeder Grube wurden zur Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) verwendet.

Die Fähigkeit der Böden, Wasser von der Oberfläche aufzunehmen (ki-Wert), wurde mit Hilfe von Doppelringinfiltrometern gemessen. Die Messungen erfolgten an jeweils vier unterschiedlichen, zufällig ausgewählten Stellen jeder Parzelle. Auf einer Parzelle der Pflug-Variante wurde wegen eines Missverständnisses nur eine Messung vorgenommen.

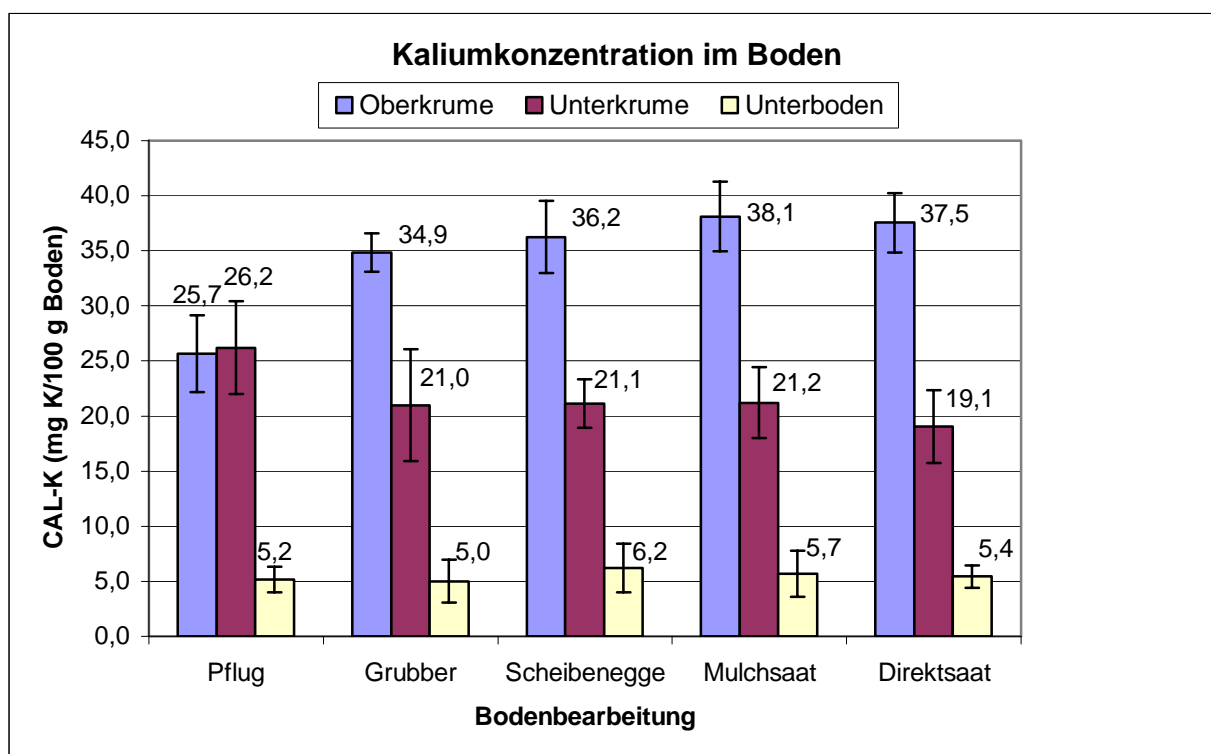
Die Masse und die Abundanz der Regenwürmer im Boden wurde mit der so genannten Regenwurm-Fluchtmethode (Fründ und Jordan, 2004) untersucht, und zwar im a- und b-Block an jeweils drei Messstellen je Parzelle, sowie im c-Block an vier und im d-Block an zwei Messstellen je Parzelle. Insgesamt wurden also je Bodenbearbeitungsvariante 12 Messstellen untersucht. Die Methode basiert darauf, dass die Regenwürmer mit Hilfe einer Senfsuspension, die in den Boden infiltriert wird, aus dem Boden getrieben werden. In der Krume noch verbleibende Tiere wurden durch Nachgraben bis in 30 cm Tiefe erfasst. Die Tiere wurden gezählt und ihre Masse volumetrisch ermittelt.

### 3. Ergebnisse (Stand 28.8.2007)

#### 3.1. Kalium

In der Ober- und der Unterkrume war der Kaliumgehalt in allen Varianten ausreichend hoch (mindestens Gehaltsklasse D). Die Pflugvariante hatte im Oberboden einen signifikant ( $p < 0,01$  %) geringeren und im Unterboden einen signifikant höheren ( $p < 5\%$ ) Gehalt an CAL-extrahierbarem Kalium als die anderen Varianten (Abb. 3). Das CAL-extrahierbare Kalium war in der Oberkrume der Pflugvariante allerdings stärker vermindert als in der Unterkrume erhöht. In der Oberkrume war die Konzentration in der Pflugvariante um ca. 10 mg K/100 g Boden geringer als in der Grubber-Variante, in der Unterkrume dagegen nur um 5 mg K/100 g Boden erhöht.

Im Unterboden unterschieden sich die Varianten nicht signifikant ( $p = 0,55$ ) im CAL-extrahierbaren Kalium. Die Gehalte waren im Unterboden in allen Varianten gering.

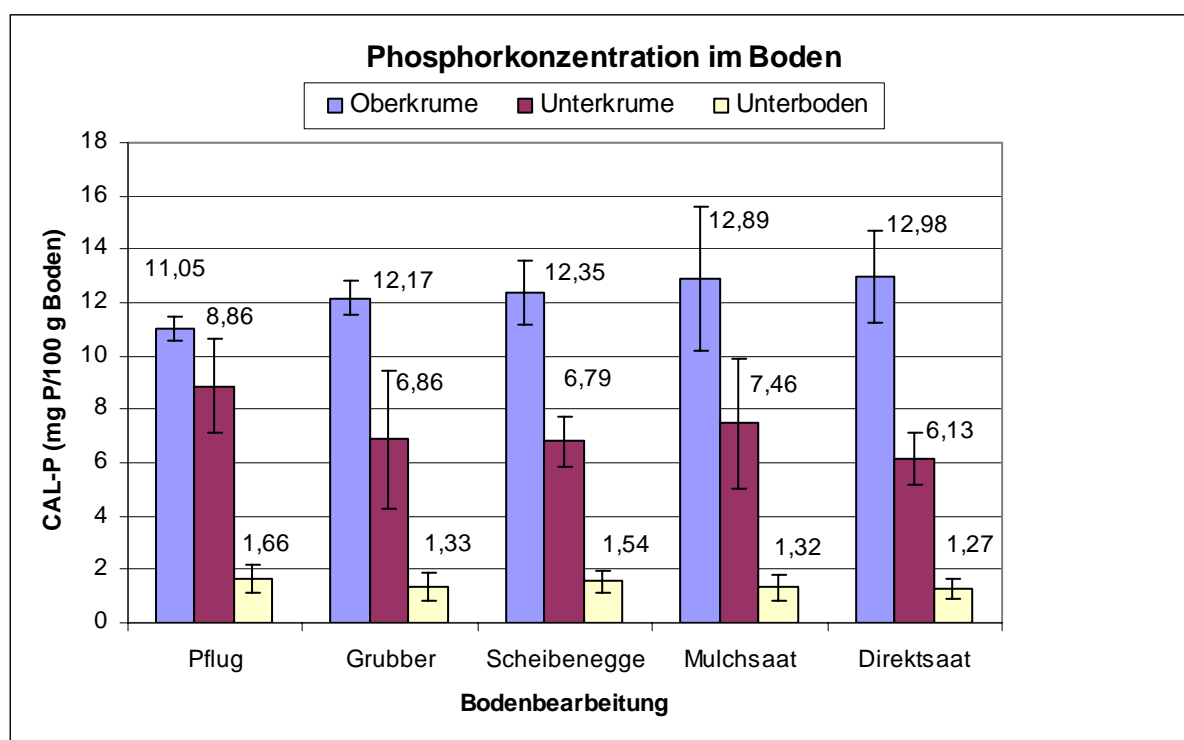


**Abbildung 3.** CAL-extrahierbares Kalium im Boden in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Bodenbearbeitung

### 3.2. Phosphor

In den pfluglos bewirtschafteten Varianten war die Konzentration an CAL-extrahierbarem P in der Oberkrume signifikant ( $p < 5\%$ ) höher als in der Pflug-Variante. Der Unterschied betrug knapp 1 bis maximal 2 mg P/100 g Boden (Abb. 4). In der Unterkrume waren die P-Gehalte in der Pflug-Variante dagegen tendenziell ( $p = 0,07$ ) höher als in den pfluglos bewirtschafteten Parzellen. Der Unterschied betrug in der Unterkrume 2 bis maximal 2,7 mg P/100 g Boden, er war also größer als der Oberkrume.

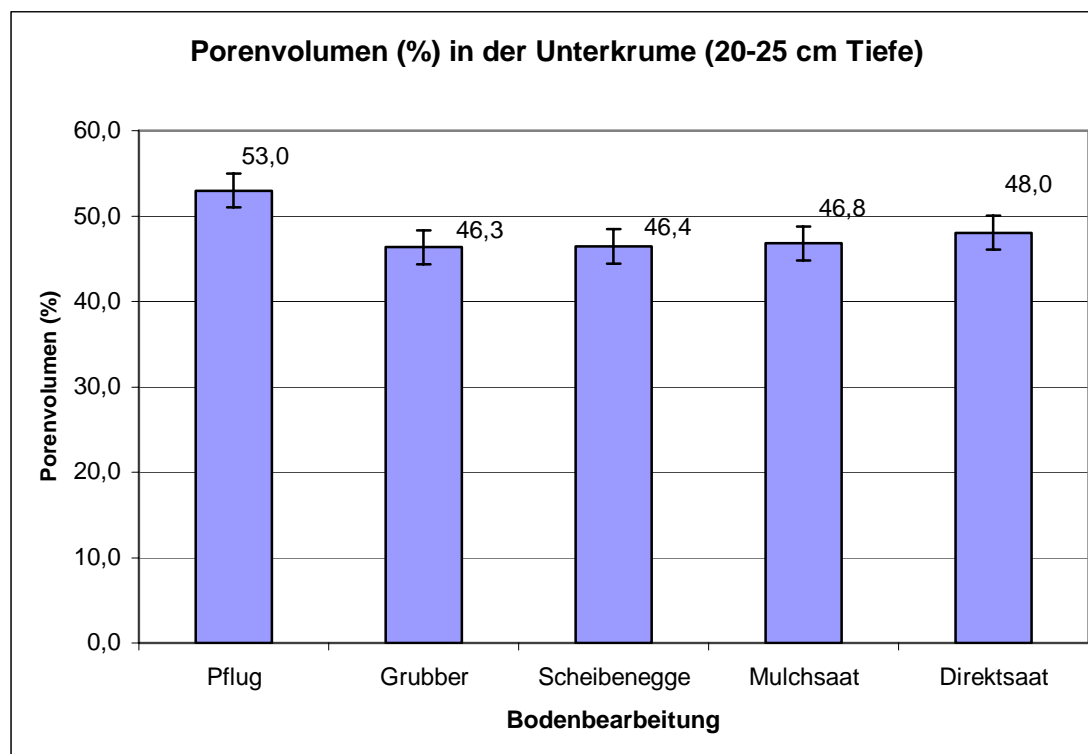
Insgesamt waren die Phosphorgehalte in allen Varianten für optimales Pflanzenwachstum ausreichend hoch (Gehaltsklasse C in der Unterkrume und D in der Oberkrume). Im Unterboden war die Konzentration an CAL-extrahierbarem Phosphor dagegen sehr gering und zwischen den Varianten nicht signifikant unterschiedlich ( $p = 0,11$ ).



**Abbildung 4.** CAL-extrahierbarer Phosphor im Boden in Abhängigkeit von der Bodentiefe und der Bodenbearbeitung

### 3.3. Porenvolumen in der Unterkrume

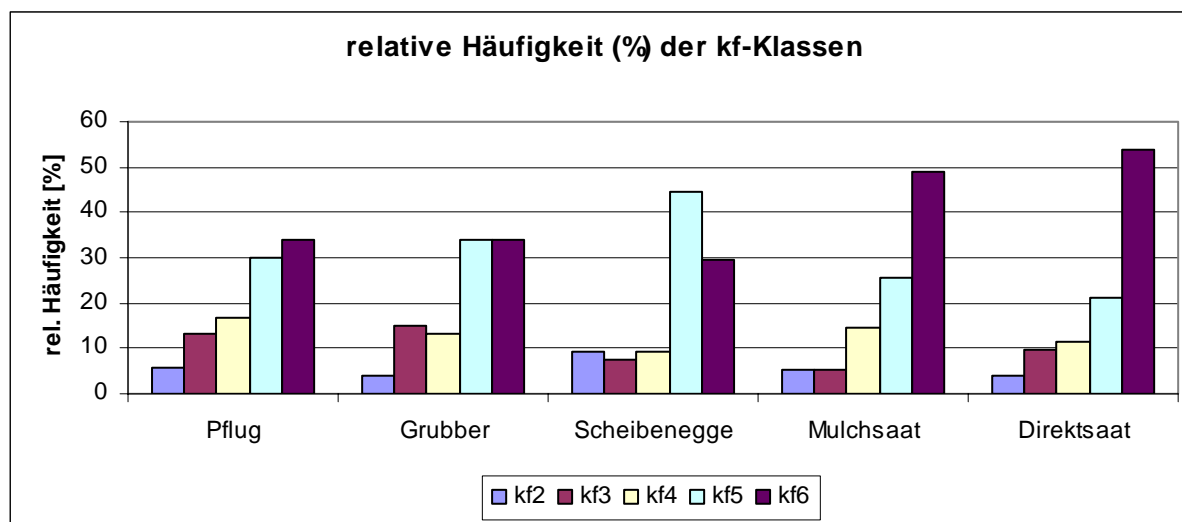
In der Unterkrume der Pflugvariante war das Porenvolumen signifikant höher als in den anderen Bodenbearbeitungsvarianten ( $p < 0,1\%$ , für die statistische Auswertung wurden die drei aus einer Grube stammenden Stechzylinderproben als Messwiederholungen und die  $n = 8$  Gruben je Variante als Parallelen behandelt).



**Abbildung 5.** Porenvolumen in der Unterkrume ein Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Fehlerbalken kennzeichnet die Standardabweichung zwischen den  $n = 8$  Profilgruben, die je Variante untersucht wurden

### 3.4. Gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ -Wert) in der Unterkrume

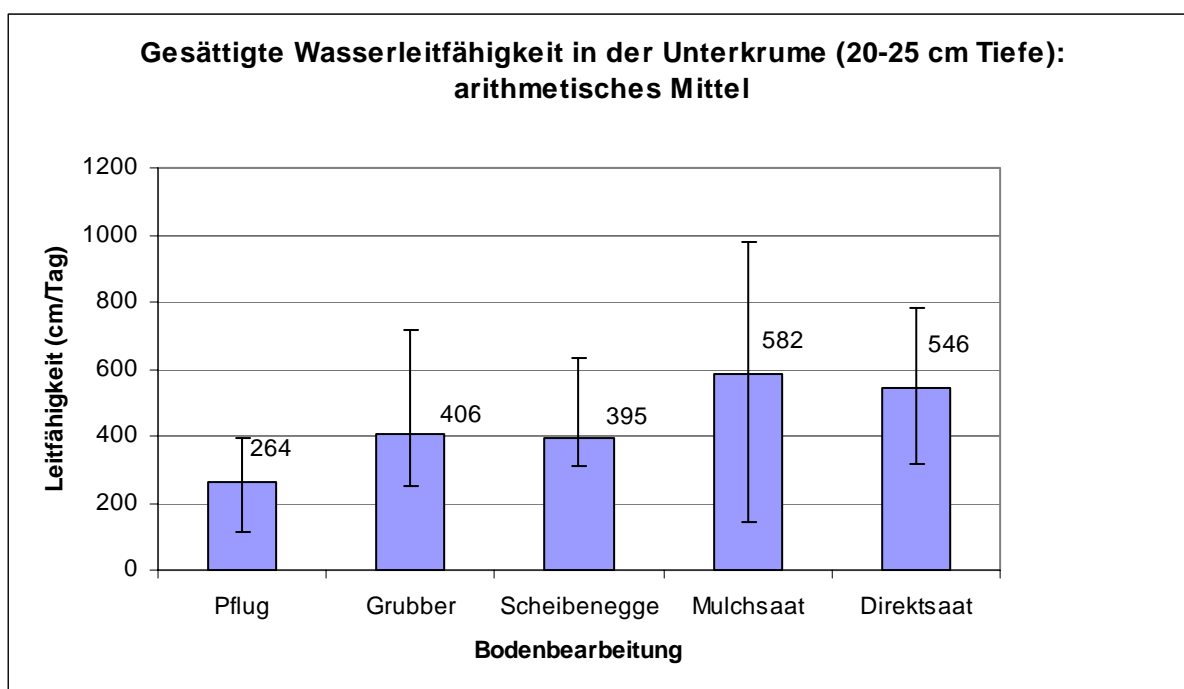
Die Wasserleitfähigkeit in der Unterkrume war in allen Varianten sehr hoch ( $k_f$ -Klasse 5) oder extrem hoch ( $k_f$ -Klasse 6). Die beiden Varianten mit der geringsten Bodenbearbeitungsintensität, Mulchsaat und Direktsaat, wiesen die höchste gesättigte Wasserleitfähigkeit auf (Abb. 6). Die Varianten Grubber und Pflug bzw. Mulch- und Direktsaat unterschieden sich jeweils nicht nennenswert voneinander, die Variante Scheibenegge nahm eine Mittelstellung ein.



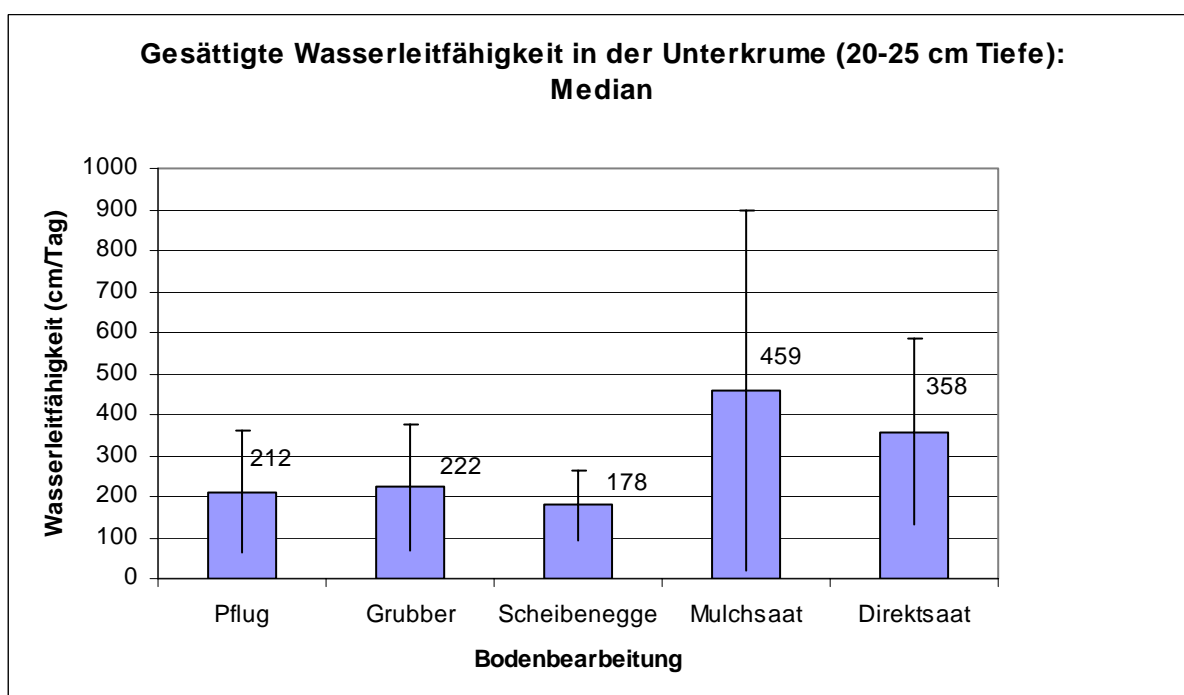
**Abbildung 6.** Relative Häufigkeit der Klassen der gesättigten Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ -Wert) in der Unterkrume (20 bis 25 cm Tief). Die Einteilung erfolgte entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Staatlichen Geologischen Dienste. Der Häufigkeitsverteilung liegen  $n = 48$  Stechringproben je Variante zugrunde.

Die  $k_f$ -Werte variierten beträchtlich, und zwar sowohl zwischen den Proben der gleichen Profilgrube als auch von Grube zu Grube. Die statistische Auswertung wurden deshalb mit mehreren Lageparameter durchgeführt, die aus den jeweils 6 aus einer Grube stammenden Stechringproben errechnet wurden: Der Modalwert der klassifizierten  $k_f$ -Werte, der Median und das arithmetische Mittel.

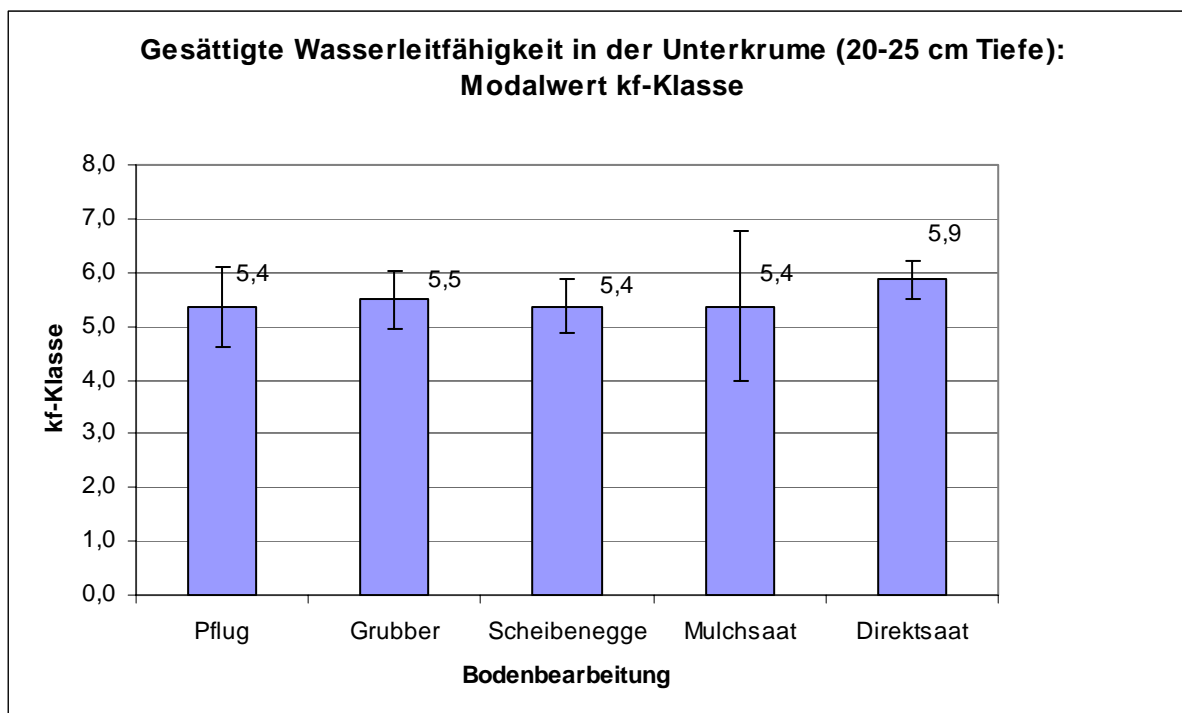
Die gesättigte Wasserleitfähigkeit war in der Unterkrume der Varianten Mulchsaat und Direktsaat, gleichgültig welcher Lageparameter verwendet wurde höher als in den anderen Varianten (Abb. 7, 8 und 9). Die varianzanalytische Auswertung ergab für alle drei statistischen Lageparameter signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.



**Abbildung 7.** Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) in der Unterkrume in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, ausgewertet auf der Basis der arithmetischen Mittel von je 7 Stechringproben je Grube und n = 8 Gruben je Variante



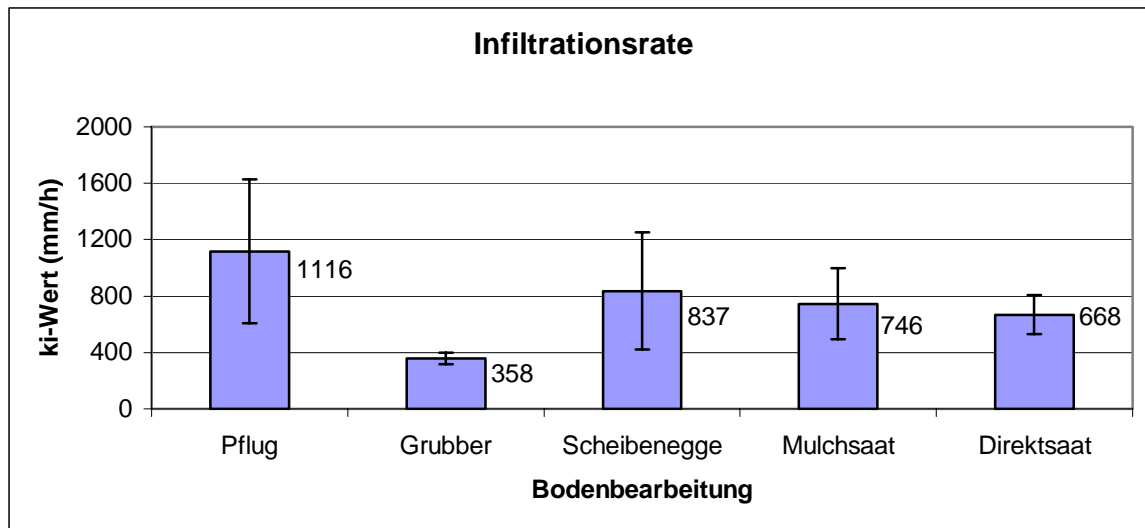
**Abbildung 8.** Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) in der Unterkrume in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, ausgewertet auf der Basis der Mediane von je 7 Stechringproben je Profilgrube und n = 8 Gruben je Variante



**Abbildung 9.** Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) in der Unterkrume in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, ausgewertet auf der Basis des Modalwerte von je 7 Stechringproben je Profilgrube und n = 8 Gruben je Variante

### 3.5. Infiltrationsfähigkeit ( $k_i$ -Wert)

Alle Varianten hatten eine sehr hohe Infiltrationsfähigkeit. Am höchsten waren die Werte in der Pflug-Variante, am geringsten in der Grubber-Variante (Abb. 10). Die Varianten unterschieden sich signifikant ( $p < 1 \%$ ).

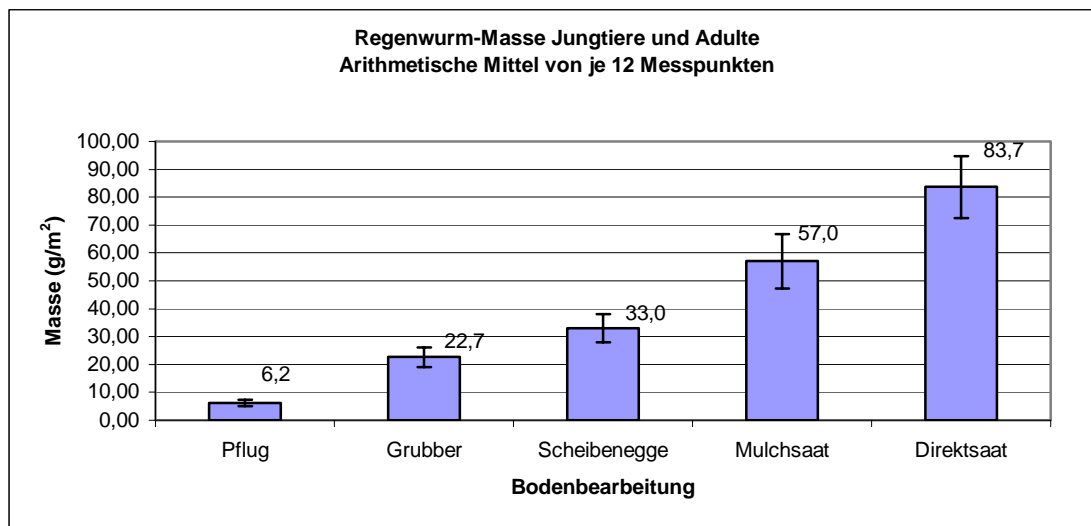


**Abbildung 10.** Infiltrationsfähigkeit ( $k_i$ -Wert) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, ausgewertet auf der Basis des arithmetischen Mittels der Messwerte von je 4 Messstellen je Parzelle und  $n = 4$  Parzellen je Variante, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung zwischen den Parzellen-Mittelwerten

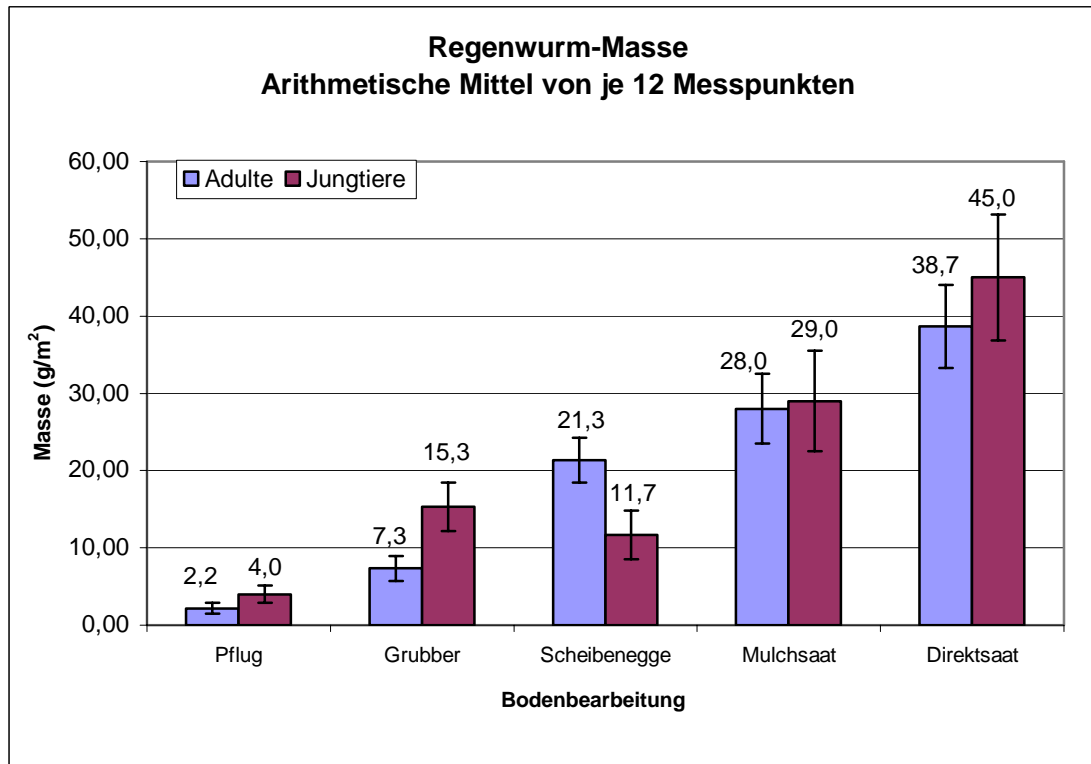
### 3.6. Regenwürmer

#### 3.6.1. Masse der Regenwürmer

Je geringer die Intensität der Bodenbearbeitung desto größer war die Masse an Regenwürmern im Boden (Abb. 11). Im Boden der Direktsaat-Variante war die Regenwurm-Masse mehr als 10fach höher als in der Pflug-Variante. Mit Ausnahme der Variante 3 (Scheibenegge) übertraf die Masse der Jungtiere die der Adulten (Abb. 12).



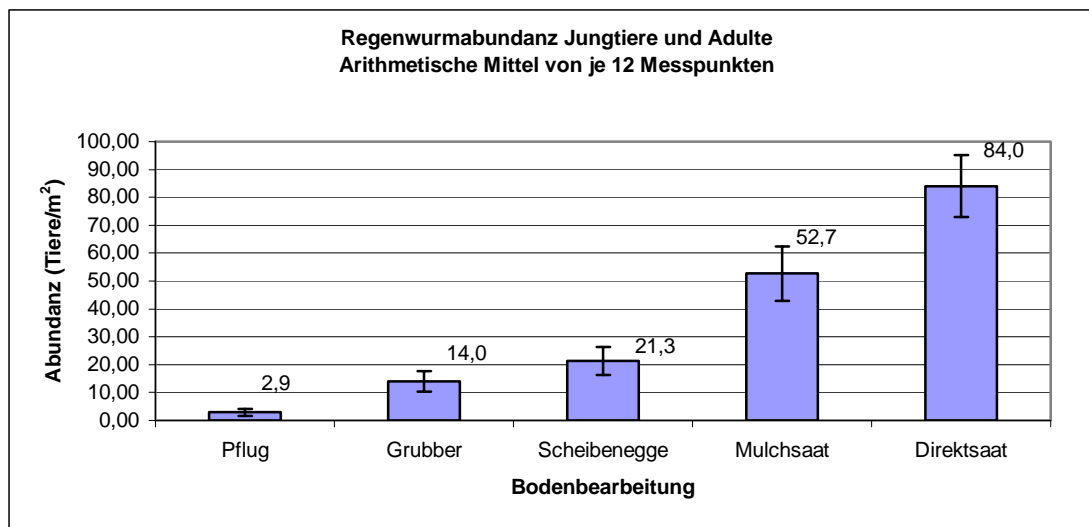
**Abbildung 10.** Regenwurmmasse im Boden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardfehler der Mittelwerte von  $n = 12$  Messpunkten



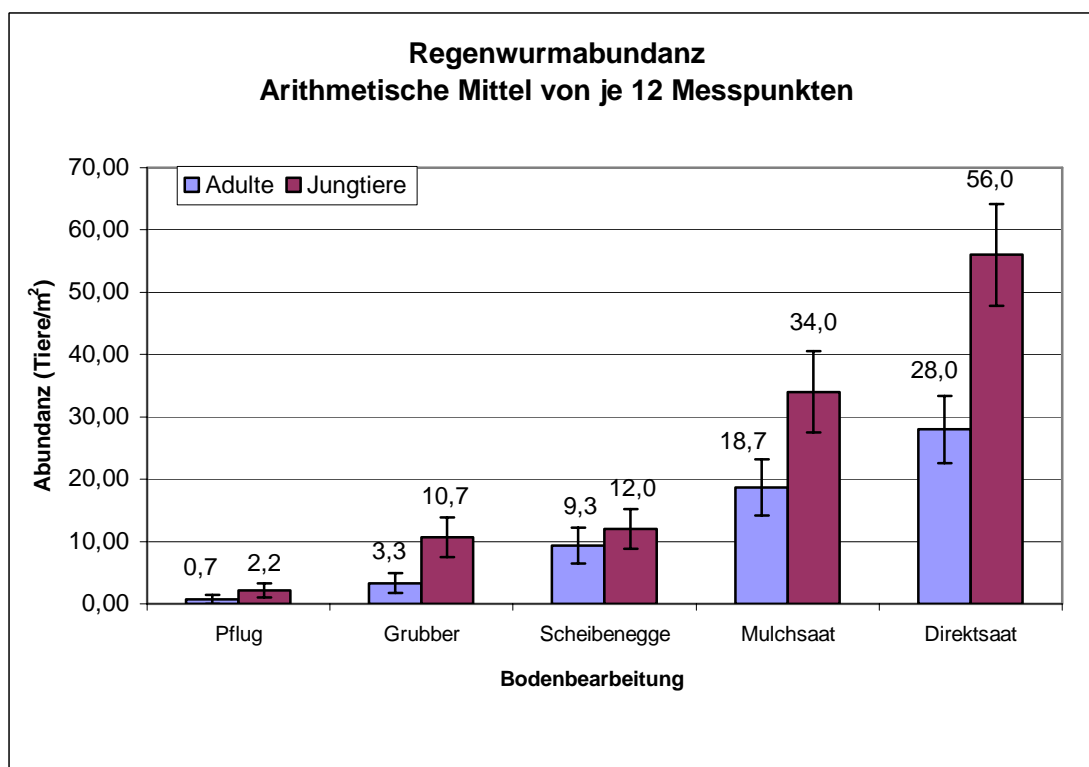
**Abbildung 11.** Regenwurmmasse im Boden, differenziert nach Jungtieren und Adulten, in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardfehler der Mittelwerte von  $n = 12$  Messpunkten

### 3.6.2. Abundanz der Regenwürmer

Je geringer die Intensität der Bodenbearbeitung war, umso förderlicher wirkte sich das auf die Anzahl der Regenwürmer, insbesondere der Jungtiere aus (Abb. 13 und Abb. 14). In der Direktsaat-Variante war die Abundanz der Jungtiere mit 56 Tieren je  $m^2$  etwa 25mal höher als in der Pflugvariante.



**Abbildung 12.** Regenwurmabundanz im Boden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardfehler der Mittelwerte von  $n = 12$  Messpunkten



**Abbildung 13.** Regenwurmabundanz im Boden, differenziert nach Jungtieren und Adulten, in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardfehler der Mittelwerte von  $n = 12$  Messpunkten

### 3.7. Kalkgehalt im Boden

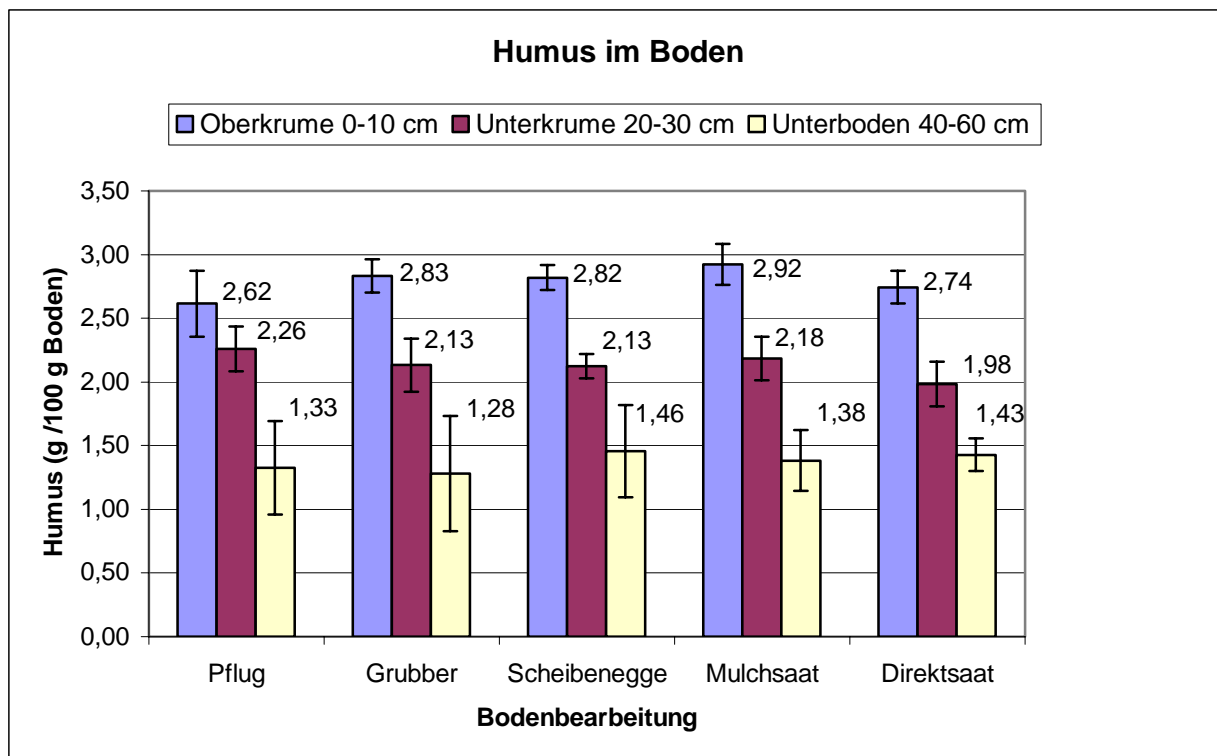
Abbildung 14 zeigt, dass der Kalkgehalt im Boden der Versuchfläche ungleichmäßig verteilt ist. Zwischen beiden in den Versuchsplan eingezeichneten roten Linien gibt es offenbar ein Areal, das bis tief in den Unterboden entkalkt ist.

	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	
75 m Block d und c	Block d					Block c					
	13,91	16,05	11,91	7,04	5,97	4,35	3,20	1,49	1,75	3,39	Oberkrume
	17,85	17,88	14,22	8,08	7,02	5,81	3,84	1,56	1,58	6,57	Unterkrume
	36,56	36,40	33,74	32,08	21,48	24,76	19,78	6,14	3,53	30,27	Unterboden
75 m Block a und b	Block a					Block b					
	8,41	7,74	5,90	3,58	2,70	1,13	1,20	2,75	6,34	6,90	Oberkrume
	9,29	8,54	7,23	5,16	2,72	1,02	1,30	2,56	12,10	8,84	Unterkrume
	29,98	34,85	25,92	21,41	15,69	1,71	1,27	3,18	26,47	30,08	Unterboden
	Pflug	Grubber	Scheiben- egge	Mulch- saat	Direkt- saat	Direkt- saat	Mulch- saat	Scheiben- egge	Grubber	Pflug	

**Abbildung 14.** Spatiale Verteilung des Kalkgehalts im Boden (mg CaCO<sub>3</sub>/100 g) der Versuchfläche

### 3.8. Humusgehalt

Der Humusgehalt ist bei pflugloser Bodenbearbeitung in der Oberkrume geringfügig höher und in der Unterkrume niedriger als in der Pflugvariante (Abb. 15). Diese Unterschiede sind allerdings statistisch nicht gesichert ( $p = 0,1379$  bzw.  $p = 0,1611$ ). Im Unterboden gibt es zwischen den Varianten keine Unterschiede im Humusgehalt ( $p = 0,8044$ ).



**Abbildung 15.** Humusgehalt im Boden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung zwischen den  $n = 4$  Parzellen

## 4. Diskussion

### 4.1. Verteilung der Pflanzennährstoffe im Bodenprofil

Die pfluglose Bodenbearbeitung führte auf dem hier untersuchten Standort in Rheinhessen bereits nach 8 Jahren zu einer Differenzierung der CAL-extrahierbaren P- und K-Gehalte zwischen Ober- und Unterkrume (Abb. 3 und Abb. 4). Dieses Resultat bestätigt ähnliche Ergebnisse auf einem vergleichbaren Standort in der Nähe von Bingen (Appel, 2006). Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass durch den Pflug Dünger und nährstoffhaltige Ernterückstände in der gesamten Krume (Ober- und Unterkrume) besser verteilt werden als in den pfluglos bewirtschafteten Varianten. Für die Gesamtmenge an pflanzenverfügbaren Nährstoffen hat sich die durch den Pflug bewirkte Vermischung von Ober- und Unterkrume nicht unbedingt vorteilhaft ausgewirkt, denn das CAL-extrahierbare Kalium war in der Oberkrume der Pflugvariante stärker vermindert als in der Unterkrume erhöht. Beim Phosphor war der Effekt dagegen umgekehrt. Die Konzentration an CAL-extrahierbarem P war in der Oberkrume der Pflugvariante weniger stark vermindert als in der Unterkrume erhöht. Hier wirkte sich die durch den Pflug verursachte Vermischung von Ober- und Unterkrume positiv auf die Gesamtmenge an CAL-extrahierbarem P in der Krume aus.

Da die P- und K-Gehalte in der Ober- und in der Unterkrume in allen Varianten ausreichend sind (Gehaltsklasse C oder D), kann in dem Versuch nicht festgestellt werden, ob sich die Vermischung von Ober- und Unterkrume in der Pflugvariante positiv oder negativ auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen ausgewirkt. Für die jungen Keimpflanzen könnte sich die in den pfluglos bewirtschafteten Varianten aufgetretene Differenzierung der Nährstoffgehalte zwischen Ober- und Unterkrume durchaus positiv auswirken, vorausgesetzt, Phosphor und Kalium wirken limitierend. Vor allem die sehr jungen Pflanzen haben nämlich noch kein so ausgeprägtes Wurzelsystem in der Unterkrume oder gar im Unterboden. Sie sind deshalb besonders auf hohe Konzentrationen an löslichem P- und K in der Oberkrume angewiesen. Auf der anderen Seite dürfte die Mobilität der Nährstoffe bei Frühsommertrockenheit, was für den untersuchten Standort typisch ist, in der Unterkrume wesentlich höher sein, als in der frühzeitig austrocknenden Oberkrume. Unter solchen Bedingungen, vorausgesetzt P und K limitieren das Pflanzenwachstum, könnten sich die höheren Nährstoffgehalte in der Unterkrume der Pflugvariante positiv auswirken. Es wäre deshalb interessant zu erfahren, wie sich die Differenzierung der Nährstoffgehalte im Bodenprofil bei pflugloser Bewirtschaftung auf das Pflanzenwachstum auswirkt, wenn die Nährstoffgehalte im Boden insgesamt deutlich niedrigerem Niveau liegen.

### 4.2. Verteilung des Humus im Bodenprofil

Die pfluglose Bodenbearbeitung hat zu einer Differenzierung im Humusgehalt zwischen Ober- und Unterkrume geführt: Tendenziell höhere Gehalte in der Oberkrume und entsprechend niedrigere in der Unterkrume (Abb. 15). Diese Differenzierung ist allerdings nur wenig ausgeprägt und statistisch lediglich auf dem Niveau von ca. 10 bis 20 % zu sichern. Diese im Vergleich zu den Pflanzennährstoffen P und K eher schwache Differenzierung im Humusgehalt deutet darauf hin, dass die Regenwürmer und andere Bodentiere offenbar ausreichend aktiv sind, um das organische Material von der Oberfläche und der Oberkrume mit dem Boden der Unterkrume zu vermischen.

### 4.3. Bodengefüge

Die lockernde Wirkung des Pflügens erhöhte die Infiltrationsfähigkeit auf im Mittel über 1000 mm pro Stunde (Abb. 10). Das dürfte allerdings pflanzenbaulich bedeutungslos sein, denn auch die pfluglos bewirtschafteten Varianten des Standortes wiesen sehr hohe Infiltrationsraten von über 300 mm je Stunde auf. So hohe Raten reichen auf jeden Fall aus, um die Niederschläge sofort aufzunehmen. Auch während extremer Niederschlagsereignisse (Platz-

regen) mit sehr hoher Niederschlagsintensität wird deshalb bei keiner der Bodenbearbeitungsvarianten überstauende Nässe auftreten.

Das Pflügen lockerte auch die Unterkrume, was sich durch ein höheres Porenvolumen in der Unterkrume der Pflugvariante im Vergleich zu den pfluglos bewirtschafteten Parzellen ausdrückte (Abb. 5). Für das Pflanzenwachstum wichtig, ist allerdings weniger das absolute Volumen an Poren im Boden als vielmehr die Funktion des Porenraumes, den Gasaustausch mit der Atmosphäre und die Durchwurzelbarkeit bis in den Unterboden sicherzustellen. Vor allem die sehr großen kontinuierlichen Poren, die zum Beispiel durch Regenwürmer und Pflanzenwurzeln geschaffen werden, sind für diese Bodenfunktionen wichtig. Wenn Böden über eine hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) verfügen, dann ist das ein sicherer Hinweis für das Vorhandensein von reichlich großen, kontinuierlichen Grobporen. Die kf-Werte dienen deshalb als Indikator für die pflanzenbaulich bedeutsame Perforierung der Unterkrume an. Die geringsten kf-Werte wurden in der Pflugvariante, die höchsten in der Mulch- und der Direktsaat-Variante festgestellt (Abb. 6). Das Pflügen erhöhte also das Porenvolumen, zerstörte aber offenbar teilweise die pflanzenbaulich wichtige Kontinuität der Poren in der Unterkrume. In den Varianten mit der geringsten Intensität der Grundbodenbearbeitung, Mulch- und Direktsaat, kann sich die gute Perforierung der Unterkrume vor allem dann positiv auswirken, wenn es Frühsommer wenig regnet. In dem Fall sind die Pflanzen auf eine gute Perforierung der Unterkrume angewiesen, um mit den Wurzeln schnell in tiefere, noch feuchte Bodenhorizonte vorzudringen. Je besser die Unterkrume mit großen, kontinuierlichen Poren perforiert ist, umso leichter können die Wurzeln in die Tiefe gelangen und umso schneller kann der für die Wurzelatmung erforderliche Sauerstoff in den Unterboden diffundieren.

Für die besonders gute Perforierung der Unterkrume in der Mulch- und Direktsaat-Variante dürfte zweierlei verantwortlich sein: Zum einen, dass die bereits einmal vorhandenen kontinuierlichen Poren durch die Bodenbearbeitung weniger zerstört werden als mit Grubber, Scheibenegge oder Pflug. Zum zweiten entstehen im Boden der Mulch- und der Direktsaat-Variante wesentlich mehr kontinuierliche Poren durch die in viel größerer Zahl vorhandenen Regenwürmer in diesen beiden Varianten (Abb. 13). Das Pflügen beeinträchtigte die Regenwürmer beträchtlich. Ihre Abundanz und Masse im Boden waren umso größer je geringer die Intensität der Bodenbearbeitung. Dieser Zusammenhang war für die Jungtiere besonders stark ausgeprägt, was zeigt, dass in den beiden Varianten mit der geringsten Bodenbearbeitungsintensität ein gewaltiges Potential an Regenwurmaktivität vorhanden ist. Die Lebensbedingungen für die Regenwürmer sind, vorausgesetzt auf eine tiefe Bodenbearbeitung wird verzichtet, auf dem untersuchten Standort günstig. Der Boden besteht aus einem kalkhaltigen Lockerse-diment, was für die Tiere günstig ist. Außerdem erhält er offenbar ausreichend Ernterückstände, um die Tiere zu ernähren. Das sind ideale Bedingungen für die Regenwürmer, die als unbezahlte Helfer des Landwirts auf diesem Standort das Durchmischen und Perforieren des Bodens übernehmen.

In den acht Jahren, die der Versuch mittlerweile läuft, hat sich vor allem in der Mulch- und der Direktsaat-Variante durch die Regenwürmer mit der Zeit ein stabiles Gefüge mit reichlich kontinuierlichen Grobporen aufbauen können. Das wirkte sich auf das Pflanzenwachstum auf diesem sommertrockenen Standort wiederum so günstig aus, dass die Getreideerträge auf den pfluglos bewirtschafteten Parzellen, auch bei Mulch- oder Direktsaat, mindestens genauso hoch waren wie auf den gepflügten (Berg und Laufer, 2006).

## 5. Fazit

Auf dem untersuchten Standort in Rheinhessen ist es möglich, die Intensität der Grundbodenbearbeitung sogar bis auf Mulch- oder Direktsaat zu reduzieren, wenn dafür Sorge getragen wird, dass die Aktivität der Regenwürmer ausreichend hoch bleibt und die von den Regenwürmern geschaffenen großen kontinuierlichen Poren erhalten bleiben. Aus diesem Grund sollte es auf jeden Fall vermieden werden, den Standort sporadisch, z.B. einmal alle 4 Jahre,

zu Pflügen oder tief zu Grubbern. Das würde nicht nur die Regenwurmpopulation reduzieren (die würde sich schnell wieder erholen), sondern auch das mittlerweile günstige Bodengefüge wieder zerstören.

## **6. Literatur**

- Appel, Thomas (2006): *Gefüge und Nährstoffverteilung im Boden unter dem Einfluss langjährig reduzierter Bodenbearbeitung in einer südwestdeutschen Trockenregion* – Vortrag auf der Jahrestagung des VDLUFA in Freiburg
- Berg, Volker. und Laufer, Ottmar (2006): *Bodenbearbeitungsversuche der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz*, Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 2/2006, S. 24-29
- Fründ, H.C.; Jordan, B. (2004): *Eignung verschiedener Senfzubereitungen als Alternative zu Formalin für die Austreibung von Regenwürmern* - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 103: 25-26