4 Bodenuntersuchungen

4.1 Bodenphysikalische Kennwerte

Die Durchführung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die Art bzw. Tiefe der jeweiligen Bodenbearbeitung haben das Ziel, die Bodeneigenschaften in einen für die Entwicklung von Kulturpflanzen möglichst günstigen Zustand zu verändern. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind z.B. das Wasserspeichervermögen, die Erwärmung des Saathorizontes, die Luftführung, die gute Durchwurzelbarkeit des Bodens, der Bodenschluss des Saatgutes, die Ermöglichung einer hohen Ablagegenauigkeit für das Saatgut uvm. von Bedeutung (BAEUMER 1992). Darüber hinaus sind bei der Anwendung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren aber auch deren Auswirkungen auf verschiedene ökologische Funktionen des Bodens zu berücksichtigen, wie z.B. den Schutz vor Bodenerosion, den Wasserrückhalt bei Auftreten von starken (hochwasserrelevanten) Niederschlagsereignissen, den Rückhalt von Nähr- und Schadstoffen uvm.
Für die Bewertung der jeweiligen Zustände werden Parameter benötigt, die durch möglichst standardisierte Methoden erfasst werden können. Im Folgenden werden die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen dargestellt, um den jeweiligen Bodenzustand nach langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu charakterisieren.
Die bodenphysikalischen Untersuchungen beschränken sich im wesentlichen auf die Lößstandorte (Lüttewitz, Littdorf, Niederstriegis und Zschortau), da die verwendeten Methoden (Stechzylinderentnahme) für stark skeletthaltige Böden, wie sie auf den Versuchsflächen im Erzgebirge vorzufinden waren, nicht geeignet sind.

4.1.1 Trockenrohdichte

Die Trockenrohdichte gibt die Dichte, bzw. den Verdichtungszustand des Bodens wieder und ist ein Kennwert eines veränderlichen Gefügezustands (HARTGE & HORN 1992). Sie erlaubt darüber hinaus bei bekannter Dichte der Festsubstanz eine Bestimmung des Porenvolumens.

Am Standort Zschortau zeigten sich im Jahr 1999 in der Krume nur geringe Unterschiede in der Lagerungsdichte (Tabelle 6). In der Krumenbasis und im Unterboden waren die Unterschiede deutlicher ausgeprägt. Da die Lößmächtigkeit an diesem Standort sehr inhomogen ist, und teilweise schon ab 30 cm unter GOF sehr heterogenes Geschiebematerial ansteht, sind die Unterschiede in der Lagerungsdichte in diesen Bodentiefen vermutlich auf den Substratwechsel zurückzuführen.
Im Jahr 2001 ergaben sich dagegen sehr deutliche Unterschiede bezüglich der Rohdichte in der Krume (Tabelle 6). Die Bodenbearbeitungstiefe in den verschiedenen Varianten zeigt einen deutlichen Einfluss. Im Lockerungsbereich der jeweils eingesetzten Geräte lagen die

Werte zwischen 1,23 und 1,42 g*cm^{-3}, im nicht gelockerten Bereich ergeben sich Werte nahe 1,5 g*cm^{-3}. Für die Krumenbasis und den Unterboden gilt dieselbe Aussage wie für das Jahr 1999.

Die Werte in der Krume liegen nach KA4 (1994) alle in den Bereichen gering bis mittel. In der Krumenbasis wird in beiden Untersuchungsjahren nur in der Variante Konservierend - Locker der Bereich hoher Rohdichte erreicht.

Tabelle 6: Trockenrohdichte am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

	06.05.1999				10./11.04.2001			
Bodentiefe*	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
OK	1,49 a**	1,48 a	1,42 a	1,41 a	1,37 b	1,29 ab	1,23 a	1,49 c
MK	1,49 ab	1,41 a	1,56 b	1,51 b	1,42 ab	1,39 a	1,47 b	1,48 b
UK	1,59 b	1,51 ab	1,52 ab	1,44 a	1,33 a	1,46 b	1,48 b	1,47 b
KB	1,52 a	1,67 c	1,58 b	1,57 ab	1,51 a	1,66 b	1,54 a	1,55 a
UB	1,68 ab	1,66 a	1,79 b	1,63 a	1,58 b	1,56 b	1,50 a	1,61 b

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4

**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Auch am Standort Lüttewitz zeigte sich erwartungsgemäß der lockernde Einfluss der Bodenbearbeitung (Tabelle 7). Bis in die Bearbeitungstiefe lag an beiden Beprobungsterminen die Rohdichte niedriger als im nicht gelockerten Bereich. Unterhalb der Lockerungstiefe ergaben sich nach KA4 (1994) mittlere Werte. Auffallend ist jedoch die Dichte der Mittelkrume in der Variante Konservierend im Jahr 2000 (Tabelle 7). Hier wurde mit dem Wert 1,67 g*cm^{-3} eine hohe Rohdichte erreicht. Es ist zu vermuten, dass aufgrund der langjährig gleichen Bearbeitungstiefe von 10 cm eine Bearbeitungssohle auftritt. Bei einer Kontrollbeprobung etwa vier Wochen später, die nur wenige Meter von der ursprünglichen Beprobungstiefe entfernt durchgeführt wurde, konnten diese hohen Dichtewerte jedoch nicht bestätigt werden. Die Kontrollbeprobung ergab in allen Bearbeitungsvarianten für die Mittelkrume Werte zwischen 1,20 und 1,53 g*cm^{-3} (Daten nicht dargestellt). Dies legt die Vermutung nahe, dass auch an diesem relativ homogenen Standort mit einer starken Streuung einzelner Parameter in der Fläche gerechnet werden muss.

Tabelle 7: Trockenrohdichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

	22.07.1999				13.11.2000			
Bodentiefe*	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
OK	1,25 a**	n.b.	1,24 a	1,39 b	1,21 a	1,13 a	1,24 a	1,35 b
MK	1,35 a	n.b.	1,44 ab	1,52 b	1,33 b	1,20 a	1,67 d	1,51 c
UK	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,33 a	1,45 b	1,61 c	1,47 b
KB	1,42 a	n.b.	1,46 ab	1,55 b	1,38 a	1,49 b	1,57 c	1,49 b
UB	1,51 a	n.b.	1,54 ab	1,59 b	1,43 a	1,59 c	1,62 c	1,49 b

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4

**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Nach Umstellung der Bodenbearbeitung am Standort Littdorf von langjährig konservierender Bearbeitung auf konventionelle Bearbeitung ergaben sich hinsichtlich der Rohdichte im ersten Jahr noch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten (Tabelle 8). Im dritten Jahr der Wiederaufnahme des Pflügens waren allerdings unterhalb von 10 cm Bodentiefe in der gepflügten Variante durchgehend niedrigere Rohdichten vorzufinden (Tabelle 8). Jedoch wurde auch in der Variante Konservierend der Bereich mittlerer Dichte (KA4, 1994) nicht überschritten.

Tabelle 8: Trockenrohdichte am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

	15.03.1999		15.05.2001	
Bodentiefe*	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.
OK	1,28 a**	1,20 a	1,28 a	1,28 a
MK	1,26 a	1,36 a	1,45 a	1,56 b
UK	n.b.	n.b.	1,46 a	1,55 b
KB	1,46 a	1,49 a	1,59 a	1,64 b
UB	1,57 a	1,57 a	1,52 a	1,56 b

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Am Standort Niederstriegis traten im ersten Jahr nach Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung keine Unterschiede in der Rohdichte auf (Tabelle 9). Dies ist u.a. auf eine sehr intensive Bearbeitung mit dem Grubber (3 Arbeitsgänge) in der Variante Konservierend zurückzuführen. Im Jahr 2001 zeigte sich in der Mittel- und Unterkrume eine höhere Rohdichte (mittlere Dichte nach KA4 (1994)) in der Variante Konservierend. Im Unterboden schwankten die Werte 1999 und 2001 in einem engen Bereich zwischen 1,52 und 1,57 $g*cm^{-3}$ (Tabelle 9). Es ist zu vermuten, dass diese Unterschiede aus der natürlichen Variabilität am Standort resultieren.

Tabelle 9: Trockenrohdichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

	15.06.1999		16.05.2001	
Bodentiefe*	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.
OK	1,13 a**	1,12 a	1,36 a	1,36 a
MK	1,42 a	1,42 a	1,43 a	1,51 b
UK	n.b.	n.b.	1,33 a	1,50 b
KB	1,54 a	1,54 a	1,52 a	1,53 a
UB	1,54 a	1,55 a	1,57 b	1,52 a

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

An allen Versuchsstandorten wurde deutlich, dass die Trockenrohdichte in der Krume erwartungsgemäß in hohem Maße die Bearbeitungstiefe und -intensität widerspiegelt.
Alleine die Trockenrohdichte gibt jedoch noch keine ausreichenden Informationen über die Eigenschaften des Bodens. Hohe und sehr hohe Trockenrohdichten deuten lediglich darauf hin, dass ein gestörtes Porensystem bzw. ein gestörter Wasser- und Lufthaushalt vorliegen kann.

4.1.2 Porenvolumen

Die Wasserspannungskurve ist bis zu einem gewissen Grad die Komplementärkurve zur Körnungssummenkurve (HARTGE & HORN 1992), ist aber kein statischer Wert und kann auch durch Vorgänge wie Bodenbearbeitung, Bodenverbauung etc. beeinflusst werden. Sie dient u.a. als Hilfsmittel zur Beurteilung von Problemen des Wasserhaushaltes, der Wasserbewegung, der Wasserspeicherung, der Verfügbarkeit für die Pflanze, der Bearbeitbarkeit, von Verdichtungsfolgen etc. Im Rahmen der Untersuchungen wurden zur Bestimmung der Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung für jede Variante und Tiefenstufe mindestens sechs Stützpunkte zur Erstellung der pF-Charakteristik der Böden erstellt. Im Folgenden werden jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Parameter Gesamtporenvolumen (GPV), Feldkapazität (FK) (Porendurchmesser < 50 µm) und Luftkapazität (LK) (Porendurchmesser > 50 µm) dargestellt. Darüber hinaus werden nur die Werte aus der Abschlussbeprobung dargestellt, da insbesondere der Zustand, der sich nach mehreren Jahren einheitlicher Bodenbearbeitung einstellt, für Handlungsableitungen von Interesse ist. Die Ergebnisse der Trockenrohdichte (Tabelle 6 bis Tabelle 9) verdeutlichen, dass im Jahr 1999 keine auffallenden Besonderheiten auftraten (dies gilt auch für die Porenverteilung), sich jedoch im Laufe der drei Untersuchungsjahre durchaus Änderungen einstellten.

Am Standort Zschortau zeigte sich bei keinem der drei in Tabelle 10 dargestellten Parameter eine durchgehende Reaktion auf die Bodenbearbeitung. Grundsätzlich ist die Porenverteilung an diesem Standort in allen Bodenbearbeitungsvarianten als gut und für das Substrat normal anzusprechen.

Tabelle 10: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Zschortau in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 10/11.04.2001

Zschortau	GPV**				Feldkapazität				Luftkapazität			
Bodentiefe*	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
MK	46,3ab	47,7b	44,5a	44,2a	31,8b	30,0a	31,8b	32,3b	14,6ab	17,7b	12,7a	11,9a
UK	49,7b	44,9a	44,2a	44,6a	29,6ab	28,7a	30,8b	29,8a	20,0b	16,1a	13,4a	14,9a
KB	43,1b	37,2a	41,8b	41,6b	29,7b	26,8a	30,0b	30,1b	13,4b	10,4a	11,8ab	11,5ab
UB	40,5ab	41,3b	43,4c	39,2a	30,8a	28,5a	31,2a	30,4a	9,7ab	12,8b	12,2c	8,8a

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Deutlich anders stellt sich die Situation am Standort Lüttewitz dar (Tabelle 11). In der Variante Konservierend trat ein starker Rückgang des Gesamtporenvolumens und der Luftkapazität im Vergleich zu allen anderen Varianten auf. Die Werte lagen in der Krume der Variante Konservierend nach KA4 (1994) im Bereich sehr gering bis gering. In den übrigen Varianten lag die Luftkapazität in den Bereichen mittel bis hoch (KA4, 1994). Der sehr hohe Wert in der Mittelkrume der Variante Konservierend-Locker (25,0 %) ist auf die Einmischung von Stroh in die Entnahmetiefe zurückzuführen.
Die Feldkapazität war in der Variante Konservierend dagegen wenig beeinflusst (Tabelle 11). Das bedeutet, dass die hohe Trockenrohdichte in dieser Variante fast ausschließlich zu Lasten des Grobporenvolumens (>50 µm Durchmesser) ging. Dagegen war die Feldkapazität der Variante Konservierend-Locker im Vergleich zu allen anderen Varianten deutlich reduziert. Dies betraf in besonders starkem Maße den Bereich der Mittelkrume.

Tabelle 11: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000

Lüttewitz	GPV**				Feldkapazität				Luftkapazität			
Bodentiefe*	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
MK	49,7c	54,6d	37,1a	43,1b	39,7d	29,6a	35,8c	34,7b	10,0b	25,0c	1,3a	8,6b
UK	50,0c	45,3b	39,0a	44,4b	37,1d	32,7a	35,7c	34,1b	12,9b	12,6b	3,4a	10,2b
KB	47,9c	44,0b	40,6a	43,7b	36,1b	31,6a	36,5b	35,3b	11,8c	12,3c	4,3a	8,3b
UB	46,1c	40,2a	39,2a	43,7b	39,4c	38,0b	37,9b	35,8a	6,8b	2,3a	1,2a	8,0b

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Am Standort Littdorf zeigte sich ein Rückgang des Gesamtporenvolumens bei konservierender Bodenbearbeitung in allen untersuchten Tiefenstufen (Tabelle 12). Dieser Rückgang ging fast ausschließlich zu Lasten der Luftkapazität. Die Feldkapazität war in beiden Varianten annähernd gleich.

Tabelle 12: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Littdorf in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 15.05.2001

Littdorf	GPV**		Feldkapazität		Luftkapazität	
Bodentiefe*	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.
MK	45,3 a	41,3 b	36,8 a	37,2 a	8,5 a	4,0 b
UK	44,8 a	41,5 b	36,6 a	36,5 a	8,1 a	5,0 a
KB	40,1 a	38,1 b	33,8 a	34,4 a	6,3 a	3,8 b
UB	42,5 a	40,9 b	38,1 a	35,1 b	4,4 a	5,9 a

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Auch am Standort Niederstriegis konnte in der Krume ein Rückgang von Gesamtporenvolumen und Luftkapazität festgestellt werden. In der Unterkrume war die Differenz zwischen den beiden Varianten besonders hoch. Die Feldkapazität reagierte auch an diesem Standort nur in geringem Maße und ungerichtet auf die Form der Bodenbearbeitung (Tabelle 13).

Tabelle 13: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 16.05.2001

Niederstriegis	GPV**		Feldkapazität		Luftkapazität	
Bodentiefe*	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.	Pflug	Kons.
MK	46,0 a	43,2 b	35,8 a	34,7 a	10,3 a	8,5 a
UK	50,0 a	43,5 b	33,9 a	35,1 a	16,1 a	8,5 b
KB	42,6 a	42,5 a	35,1 a	34,8 a	7,5 a	7,7 a
UB	40,8 a	42,7 b	34,6 a	34,4 a	6,2 a	8,3 b

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4
**: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Die Untersuchungen zur Porenverteilung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung geben wichtige Hinweise auf das Wasserspeichervermögen des jeweiligen Bodens und sind ein erstes Indiz, ob es sich z.B. bei einer erhöhten Rohdichte um eine Schadverdichtung handelt. Jedoch können aus diesen Ergebnissen noch keine Rückschlüsse auf die Funktionalität des Porensystems im Hinblick auf den Wasser- und Lufthaushalt getroffen werden. Eine geringe Luftkapazität eines Bodens kann bei hoher Kontinuität der verbliebenen Makroporen durchaus eine ausreichende Funktionalität gewährleisten. Um Hinweise auf die Funktionalität der Böden in den unterschiedlichen Varianten zu erhalten, wurde die gesättigte Wasserleitfähigkeit anhand von Stechzylinderproben gemessen.

4.1.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Im Jahr 1999 wurde an allen Standorten eine Stechzylinderentnahme zur Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit durchgeführt. Aus jeder untersuchten Tiefenstufe wurden

hierzu sechs Stechzylinder mit einem Volumen von 100 cm³ entnommen. Die gemessenen Leitfähigkeitswerte waren sehr unplausibel (Daten nicht dargestellt), so dass im Jahr 2001 (Standort Lüttewitz: Jahr 2000) eine erneute Beprobung durchgeführt wurde. Im Rahmen dieser Beprobung wurde die Wiederholungszahl und die Stechzylindergröße erhöht (zwölf 250 cm³-Stechzylinder je Entnahmetiefe und Variante). Grund war die bessere Erfassung des Makroporenflusses als einem wesentlichen Faktor der veränderten Wasserführung bei konservierender Bodenbearbeitung.

Am Standort Zschortau wurde in den nicht gepflügten Parzellen in der Krume und im Unterboden eine sehr hohe gesättigte Leitfähigkeit festgestellt (Tabelle 14). In der Variante Pflug fielen die Werte in der Krume im Vergleich dazu deutlich ab, erreichten aber im Unterboden wieder ein mit den anderen Varianten vergleichbares Niveau.

Tabelle 14: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 10/11.04.2001, geometrisches Mittel

	gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm*Tag^{-1}]			
Bodentiefe*	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
MK	210	2481	959	851
UK	677	1347	2175	1323
KB	1092	1551	2513	1674
UB	2293	1989	2924	2016

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4

Am Standort Lüttewitz waren die Werte der gesättigten Leitfähigkeit deutlich niedriger als am Standort Zschortau. Sehr deutlich waren in Lüttewitz die Unterschiede zwischen den nicht gepflügten Varianten und der Variante Pflug (Tabelle 15). In der Mittelkrume der Variante Pflug erreichte die Leitfähigkeit nur einen Wert von 106 cm*d^{-1} (entsprechend ~0,7 mm*min^{-1}). Das bedeutet, sollte bei Starkregenereignissen > 0,7 mm*min^{-1}, wie sie im Untersuchungsgebiet regelmäßig auftreten, das Niederschlagswasser ungehindert in den Boden eindringen, so ergäbe sich spätestens in der Mittelkrume ein Stauhorizont. Bei länger anhaltenden Starkniederschlägen wäre somit in dieser Bodenbearbeitungsvariante auch ohne Verschlämmung der Bodenoberfläche mit dem Auftreten von Oberflächenabfluss und Bodenerosion zu rechnen.

Im Gegensatz zum Standort Zschortau wurden in Lüttewitz sehr niedrige kF-Werte im Unterboden gemessen (Tabelle 15). Insbesondere die Varianten Pflug und Konservierend fielen diesbezüglich auf. Ob es sich bei diesen Differenzen im Unterboden um einen Einfluss der Bodenbearbeitung handelt, kann nicht sicher geschlussfolgert werden.

Bemerkenswert ist die gesättigte Wasserleitfähigkeit in der Variante Konservierend, die trotz der hohen Trockenrohdichte (Tabelle 7) und der geringen Luftkapazität sowie des niedrigen Gesamtporenvolumens (Tabelle 11) in der Krume sehr hoch lag. Dies spricht für eine hohe

Funktionalität des verbliebenen Porenraumes im Hinblick auf den Wasserhaushalt bzw. die Wasserableitung.

Tabelle 15: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000, geometrisches Mittel

	gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm*Tag^{-1}]			
Bodentiefe*	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
MK	106	1878	452	1062
UK	258	843	460	441
KB	285	842	476	713
UB	89	181	53	628

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4

Am Standort Littdorf lag die gesättigte Wasserleitfähigkeit in der Krume der Variante Pflug (Tabelle 16) noch niedriger als am Standort Lüttewitz. Die Variante Konservierend zeigte in der Mittelkrume deutlich und in der Unterkrume nur leicht erhöhte Werte. Unterhalb der Krume waren keine Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen.
Am Standort Niederstriegis zeigten sich in der Pflugvariante im Vergleich zu den anderen Standorten erhöhte gesättigte Wasserleitfähigkeiten. Zum Teil lagen diese sogar deutlich oberhalb der Werte in der Variante Konservierend (Tabelle 16). Eine Ursache für diesen Sachverhalt kann der an diesem Standort im Jahr 2001 angebaute Winterraps mit seiner strukturfördernden Wirkung und seiner intensiven Durchwurzelung sein. Im Gegensatz dazu standen am Standort Littdorf im Jahr 2001 Zuckerrüben, von denen diese positive Wirkung für die Bodenstruktur nicht zu erwarten ist.

Tabelle 16: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Littdorf und am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 15/16.05.2001, geometrisches Mittel

Littdorf	gesättigte Wasserleitfähigkeit	
Bodentiefe*	Pflug	Kons.
MK	92	655
UK	104	121
KB	512	430
UB	1154	1059

Niederstriegis	gesättigte Wasserleitfähigkeit	
Bodentiefe	Pflug	Kons.
MK	441	510
UK	884	379
KB	1384	824
UB	1156	1118

*: Bezeichnung der Bodentiefe: siehe Tabelle 4

An allen untersuchten Standorten fiel die sehr hohe Streuung der Einzelwerte der gesättigten Wasserleitfähigkeit insbesondere in den pfluglos bearbeiteten Parzellen auf. Beispielhaft ist dies in Form von Boxplots in Abbildung 9 für den Standort Lüttewitz dargestellt. Ursache für diese Streuung waren die in unterschiedlichem Maße in den Stechzylindern vorzufindenden Makroporen. Da die Stechzylinder innerhalb einer Profilgrube an zufällig ausgewählten Stellen entnommen wurden, charakterisieren die kF-Werte mit ihrer großen Streuung die

realen Verhältnisse in den Bearbeitungsvarianten. Das bedeutet, dass der Makroporenfluss einen erheblichen Anteil am Fließgeschehen der konservierend bearbeiteten Varianten einnehmen und somit entscheidend die Vermeidung von Oberflächenabfluss verhindern kann.

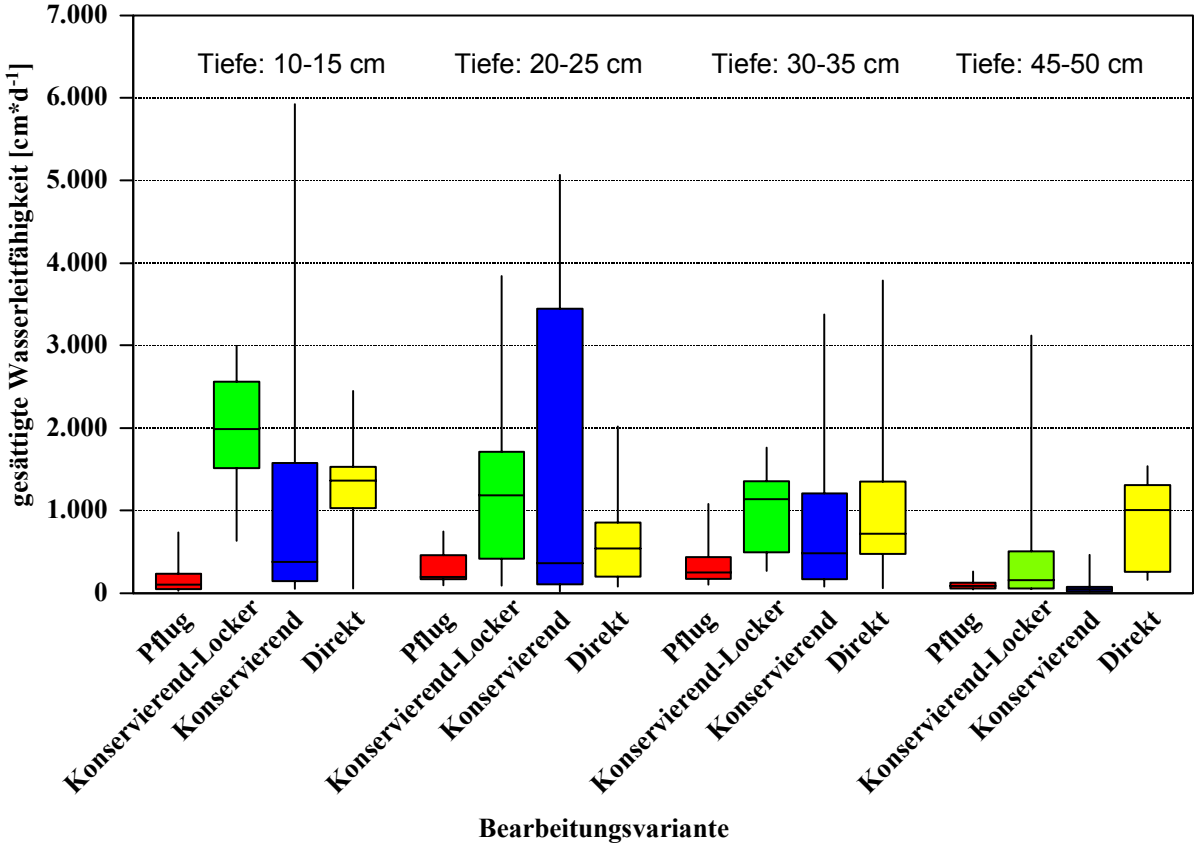

Abbildung 9: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000

4.1.4 Makroporendichte

Da der Makroporenfluss bei konservierender Bodenbearbeitung das Infiltrationsverhalten des Bodens maßgeblich beeinflusst, wurde die Dichte der vertikalen Makroporen (> 1 mm Durchmesser) im Rahmen einer Diplomarbeit (UHLIG, 2001) an den Standorten Zschortau und Lüttewitz erfasst.

Am Standort Zschortau fällt auf, dass in den nicht gepflügten Varianten in der Krume etwa zwei- bis fünfmal mehr vertikale Makroporen vorhanden waren als in der Variante Pflug. Im Bereich der Pflugsohle ist die Differenz sogar erheblich höher (Tabelle 17). Im Unterboden waren dagegen kaum Unterschiede in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung festzustellen.

Der Flächenanteil der vertikalen Makroporen spiegelt dieses Bild wider (Tabelle 17). Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den erfassten Poren um kontinuierliche Makroporen handelt. Das bedeutet, dass der Flächenanteil mit dem Volumenanteil gleich

gesetzt werden kann. Der Anteil lag in allen Varianten unter 2 %, in der Krume der Variante Pflug sogar nur bei 0,1 bis 0,2 % (Tabelle 17).

Tabelle 17: Anzahl vertikaler Makroporen > 1 mm Durchmesser und Flächenanteil der vertikalen Makroporen am Standort Zschortau in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe

Zschortau	Anzahl vertikaler Poren > 1mm * m^{-2}				Flächenanteil [%]			
Bodentiefe	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
0 cm	282a*	705bc	458ab	916c	0,11	0,45	0,26	0,61
10 cm	194a	493ab	775b	987b	0,21	0,54	0,67	0,89
20 cm	159a	811ab	1375b	1075b	0,10	0,57	0,90	1,57
30 cm	53a	1005b	1533b	1251b	0,02	0,81	1,06	1,02
40 cm	1427a	1745a	1692a	1674a	1,45	1,01	1,56	1,94
50 cm	1604a	1498a	1427a	1322a	1,37	1,39	1,30	1,79

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Am Standort Lüttewitz waren die Unterschiede zwischen der Variante Pflug und den anderen Varianten nicht so deutlich ausgeprägt, jedoch ergab sich auch an diesem Standort die gleiche Tendenz. Auffallend ist, dass in der Variante Konservierend in der Krume sehr hohe Makroporenzahlen erfasst wurden. Dies widerspricht scheinbar der hohen Trockenrohdichte (Tabelle 7) bzw. der geringen Luftkapazität in der Krume dieser Variante (Tabelle 11). Jedoch zeigen die Flächenanteile, dass die große Makroporenzahl weniger als 1 % der Fläche bzw. des Volumens einnimmt. In diesem Sachverhalt liegt eine plausible Erklärung für die trotz geringer Luftleitfähigkeit und hoher Trockenrohdichte sehr hohe Wasserleitfähigkeit (Tabelle 15). Offensichtlich ist der Rückgang der Luftkapazität in der Variante Konservierend an diesem Standort ausschließlich zu Lasten der Poren mit einem Durchmesser zwischen 50 µm und 1 mm gegangen. Deutlich negative Folgen für das Pflanzenwachstum, die Durchwurzelung des Bodens (Abbildung 42, Abbildung 43 und Abbildung 46) bzw. den Ertrag (Tabelle 46 bis Tabelle 48) konnten an diesem Standort bislang nicht festgestellt werden.

Tabelle 18: Anzahl vertikaler Makroporen > 1 mm Durchmesser und Flächenanteil der vertikalen Makroporen am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe

Lüttewitz	Anzahl vertikaler Poren > 1mm * m^{-2}				Flächenanteil [%]			
Bodentiefe	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
0 cm	617a*	899a	1022a	1022a	0,23	0,33	0,46	0,53
10 cm	264a	493ab	1022b	775ab	0,18	0,37	0,91	0,52
20 cm	300a	952b	811ab	1286b	0,23	0,49	0,43	0,96
30 cm	317a	864ab	1128b	1286b	0,22	0,50	0,62	0,85
40 cm	987a	881a	652a	1040a	0,85	0,58	0,47	0,83
50 cm	1427b	1040ab	617a	775a	1,01	0,83	0,63	0,63

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Die Ursachen für die erhöhte Makroporendichte in konservierend bearbeiteten Böden sind zum einen in der Schonung von vorhandenen Poren durch den Erhalt des Bodengefüges und zum anderen in der verstärkten Neuanlage von Poren durch eine stark erhöhte Regenwurmabundanz (vgl. Kapitel 4.3.2) zu sehen (BAEUMER 1992, VAN DEN BYGAART ET AL. 2000).
Der geringe Flächen- bzw. Volumenanteil der Makroporen >1 mm Durchmesser an beiden Standorten und die gleichzeitig hohe Wasserleitfähigkeit verdeutlichen, dass ein Porensystem von hoher Funktionalität schon bei relativ geringen Volumenanteilen vorliegen kann. In diesem Zusammenhang sind Bewertungen des Porensystems wie sie z.B. in der KA4 (1994) getroffen werden, für die Bedingungen langjährig konservierender Bodenbearbeitungsverfahren kritisch zu überprüfen.
Im Unterboden war die Makroporenanzahl in den vier Varianten an beiden Standorten annähernd gleich, in der Variante Pflug am Standort Lüttewitz sogar etwas erhöht. Bei den Poren in diesen Tiefenstufen könnte es sich zum großen Teil um alte Poren handeln, die nicht oder nur in geringem Maße von der Bodenbearbeitung beeinflusst werden. Anhand der Humusauskleidung in den Regenwurmgängen wäre eine relativ sichere Einordnung in bewohnte und unbewohnte Röhren möglich, jedoch wurde dies im Rahmen der Untersuchungen nicht durchgeführt.

4.1.5 Aggregatstabilität

Für eine ungehinderte, hohe und dauerhafte Wasserinfiltration in den Boden ist eine schnelle Ableitung des Wassers in den Unterboden Voraussetzung. Insbesondere auf Lößböden ist jedoch der Zustand der Bodenoberfläche von ebenso großer Bedeutung für die Wasserinfiltration, da diese schluffreichen Böden in starkem Maße zur Oberflächenverschlämmung neigen. Die Verminderung der Verschlämmungsanfälligkeit ist also wesentliche Voraussetzung für die Verminderung bzw. die Vermeidung von Oberflächenabfluss. Ein geeigneter Summenparameter, der die Verschlämmungsanfälligkeit des Bodens einschätzen hilft ist die Aggregatstabilität (BRADFORD & HUANG 1992, MURER ET AL. 1993).
In den folgenden Abbildungen sind die Werte für die Aggregatstabilität auf den einzelnen Standorten im Zeitverlauf relativ zur Pflugvariante dargestellt, die gleich 100 gesetzt wurde. Dieses Verfahren wurde gewählt, da der Wert der Aggregatstabilität von sehr vielen Parametern abhängig ist (Bodenart, Witterung, Kulturart, Bodenbearbeitung, Düngung, Bodenfeuchte etc.) (KAEMMERER 2000), so dass absolute Vergleiche wenig zielführend sind. Relative Vergleiche der Stabilität der Bodenaggregate erlauben an einem Standort jedoch eine sehr gute Einschätzung der jeweiligen Bedingungen.

Am Standort Zschortau fiel auf, dass die Stabilität der Bodenaggregate in den konservierend bearbeiteten Varianten im gesamten Messzeitraum über derjenigen in der Variante Pflug lag. Im Jahr 2000 war dieser Unterschied deutlicher als im Jahr 1999. Eine Ursache könnte in dem Anbau von Zuckerrüben im Jahr 1999 liegen, die aufgrund einer späten Bodenbedeckung wenig förderlich für den Aufbau stabiler Aggregatstrukturen sind. Durch die sehr intensive Zuckerrübenernte mit z.T. hohen Radlasten wird die Bodenstruktur und damit auch die Aggregatstruktur stark belastet. Zudem bleibt nach der Zuckerrübenernte nur sehr wenig und rasch abbaubare organische Substanz zurück. Dies trägt ebenfalls nicht zum Aufbau stabiler Aggregatstrukturen bei. Der Anstieg im Jahr 2000 in den konservierend bearbeiteten Varianten (Abbildung 10) ist wahrscheinlich in der Bodenruhe unter Winterweizen begründet. Nach der Ernte des Winterweizens im Herbst 2000 wurde die größte Differenz zur Pflugvariante gemessen. Die Ursache ist in der großen Menge relativ stabiler organischer Substanz in Form von Winterweizen-Stroh zu sehen, das in den konservierend bearbeiteten Varianten an der Bodenoberfläche verblieb.

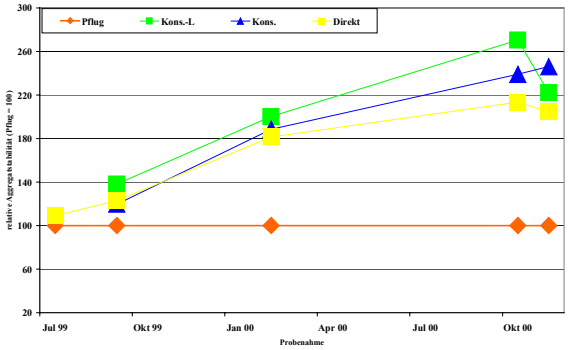

Abbildung 10: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Am Standort Lüttewitz zeigt sich ein anderer Verlauf der Aggregatstabilität (Abbildung 11). Insbesondere im Jahr 2000 fallen die Werte der konservierend bearbeiteten Varianten unter diejenigen der Pflugvariante. In der Direktsaatvariante liegt die Aggregatstabilität immer oberhalb der Pflugvariante.

Verschiedene Ursachen können zur Erklärung dieser Unterschiede herangezogen werden. Zunächst wurden wie am Standort Zschortau auch am Standort Lüttewitz im Jahr 1999 Zuckerrüben angebaut, so dass die oben getroffenen Aussagen auch hier zutreffen. Darüber hinaus war im Frühjahr 2000 ein unterschiedliches Feuchteregime in den Varianten Pflug und Direktsaat einerseits und Konservierend und Konservierend-Locker andererseits zu beobachten. Die Messplätze in den letztgenannten Varianten befanden sich in etwas tieferer Hangposition und waren in diesem Frühjahr offensichtlich deutlich feuchter. Dies kann

eventuell die niedrigeren Werte der Aggregatstabilität erklären. Zudem kam zur Saatbettbereitung in den konservierend bearbeiteten Varianten für die Winterweizenbestellung 1999/2000 eine Kreiselegge zum Einsatz. Diese bearbeitet den Boden sehr intensiv, so dass die bestehenden Aggregate möglicherweise zerschlagen werden. Auch auf anderen Flächen in der Region zeigte sich, dass der Einsatz einer Kreiselegge die Verschlämmungsanfälligkeit dieser schluffreichen Böden erhöhen kann. Viele Betriebe haben dies zum Anlass genommen, die Saatbettbereitung mit einem passiv arbeitenden Gerät (z.B. Flachgrubber) durchzuführen bzw. auf diesen Arbeitsgang ggf. ganz zu verzichten.

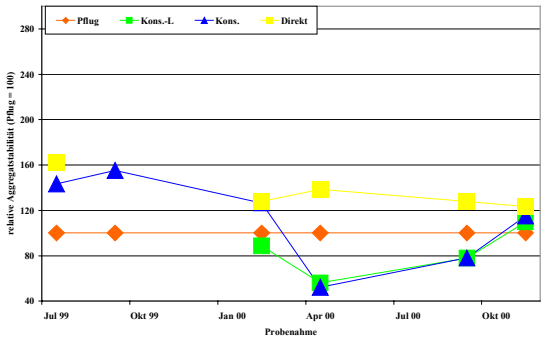

Abbildung 11: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

An den Standorten Littdorf (Abbildung 12) und Niederstriegis (Abbildung 13) lag die Aggregatstabilität in der Variante Konservierend an allen Terminen über derjenigen in der Variante Pflug. In Littdorf wurden im Jahr 1999 Zuckerrüben angebaut. Dies spiegelt sich auch an diesem Standort in den nur geringen Unterschieden zwischen den Varianten wider.

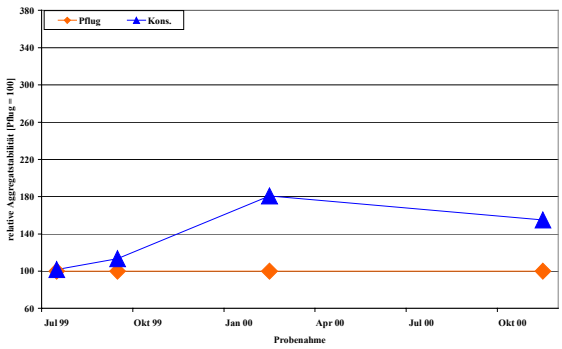

Abbildung 12: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

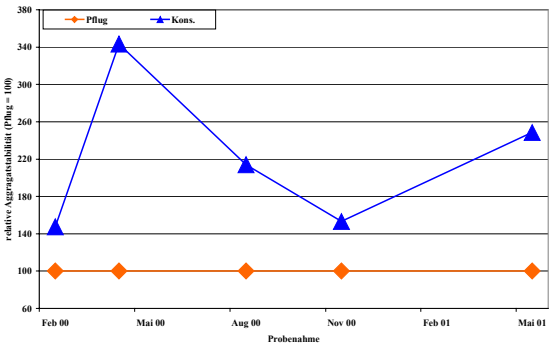

Abbildung 13: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Auch an den Erzgebirgsstandorten wurde die Aggregatstabilität erfasst. Hier ergaben sich sehr viel höhere absolute Werte. Dies lässt sich mit dem an diesen Standorten typischerweise deutlich höheren Humusgehalt erklären. Unabhängig von der absoluten Höhe der Werte konnte auch an diesen Standorten in der Variante Konservierend jeweils die höhere Aggregatstabilität gemessen werden (Daten nicht dargestellt).

4.2 Bodenchemische Kennwerte

Der Verzicht auf den Einsatz des Pfluges und damit auf eine regelmäßige, intensive Durchmischung der Krume kann theoretisch starken Einfluss auf die Verteilung der Nährstoffe nehmen (HENDRIX ET AL 1986, BAEUMER 1992). Im ungünstigsten Fall kommt es zu einer Abreicherung von Nährstoffen in der Unterkrume und zu einer starken Anreicherung in der Oberkrume mit der Folge, dass die Kulturpflanzen z.B. bei starker Trockenheit auf die hohen Nährstoffvorräte in der Oberkrume nicht mehr zugreifen können.

Im Folgenden soll die Verteilung der Gehalte an Phosphor, Kalium und organischer Substanz für die Untersuchungsstandorte dargestellt werden. Darüber hinaus wurden die Gehalte von Magnesium, Calcium, Gesamtstickstoff und der pH-Wert in dieser vertikalen Schichtung erfasst. Auf eine Darstellung der letztgenannten Parameter wird an dieser Stelle verzichtet. Für die Calcium- und Magnesiumgehalte konnte kein Einfluss der Bodenbearbeitung festgestellt werden, die Gesamtstickstoffgehalte folgen in ihrer vertikalen Verteilung den Gehalten an organischer Substanz.

Alle Parameter wurden auch in den Tiefenstufen 30-60 und 60-90 cm erfasst. In diesen Tiefenstufen zeigten sich jedoch keine systematischen bzw. absicherbaren Unterschiede zwischen den Varianten, so dass auf eine Darstellung dieser Ergebnisse hier verzichtet wird.

4.2.1 Phosphor

Die DL-P-Gehalte in der Krume der vier Bodenbearbeitungsvarianten am Standort Zschortau lassen keinen Einfluss der Bodenbearbeitung auf die vertikale Verteilung erkennen (Abbildung 14). Der Rückgang der Gehalte in der Variante Konservierend unterhalb von 10 cm Bodentiefe könnte zwar auf die Bodenbearbeitung zurückgehen, jedoch müsste dieser Effekt in den Varianten Konservierend-Locker und Direkt ebenfalls zu beobachten sein. Die DL-P-Gehalte am Standort Zschortau liegen im Jahr 2000 in allen Varianten in der Versorgungsstufe D, dass bedeutet, dass ein hoher Gehalt vorliegt (SMUL 1997). Im Frühjahr 2001 wurden weitestgehend die selben Gehalte bestimmt, nur in der Variante Konservierend-Locker lagen die Werte geringfügig höher, ohne dass in dem Zeitraum seit der vorangehenden Beprobung eine P-Düngung stattgefunden hat.
Da aus dem Zeitraum vor Versuchsanlage keine Bestimmung der Nährstoffgehalte vorliegt, kann nur vermutet werden, dass die Unterschiede zwischen den Varianten bereits vor diesem Zeitpunkt vorlagen. Dafür spricht auch, dass die beiden auf dem Feld nebeneinanderliegenden "Extremvarianten" Pflug und Direkt sich in den P-Gehalten gleichen ebenso wie die beiden anderen Varianten (Abbildung 14).

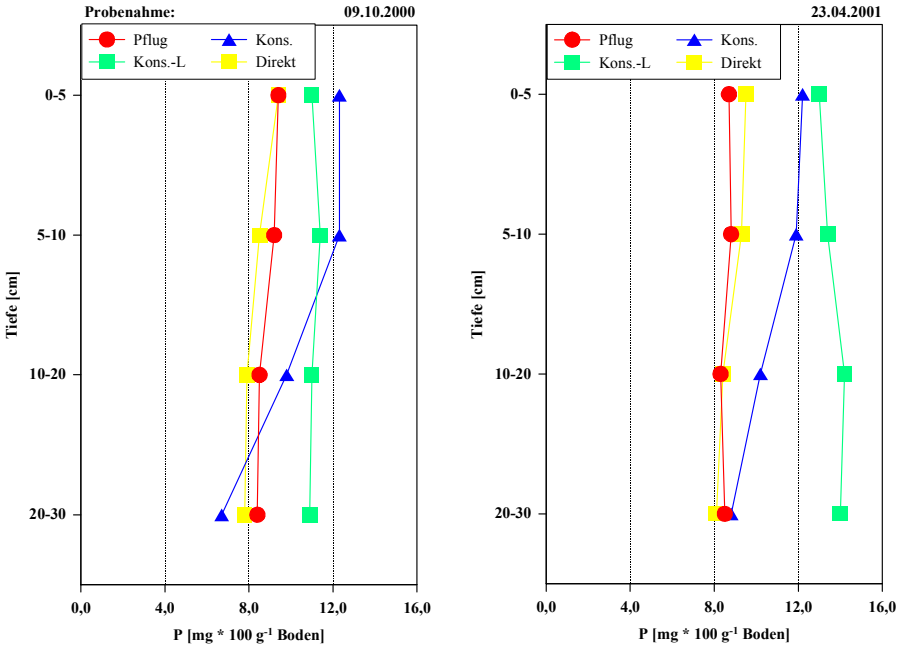

Abbildung 14: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Am Standort Lüttewitz ließen sich ebenfalls keine durch die Form der Bodenbearbeitung bedingten Unterschiede hinsichtlich des DL-P-Gehaltes und der vertikalen P-Verteilung

erkennen (Abbildung 15). Die Unterschiede zwischen den Varianten waren sehr gering und die Gehalte an diesem Standort lagen etwas niedriger als am Standort Zschortau und lassen sich in die Gehaltsklassen B bzw. C einordnen (SMUL 1997).

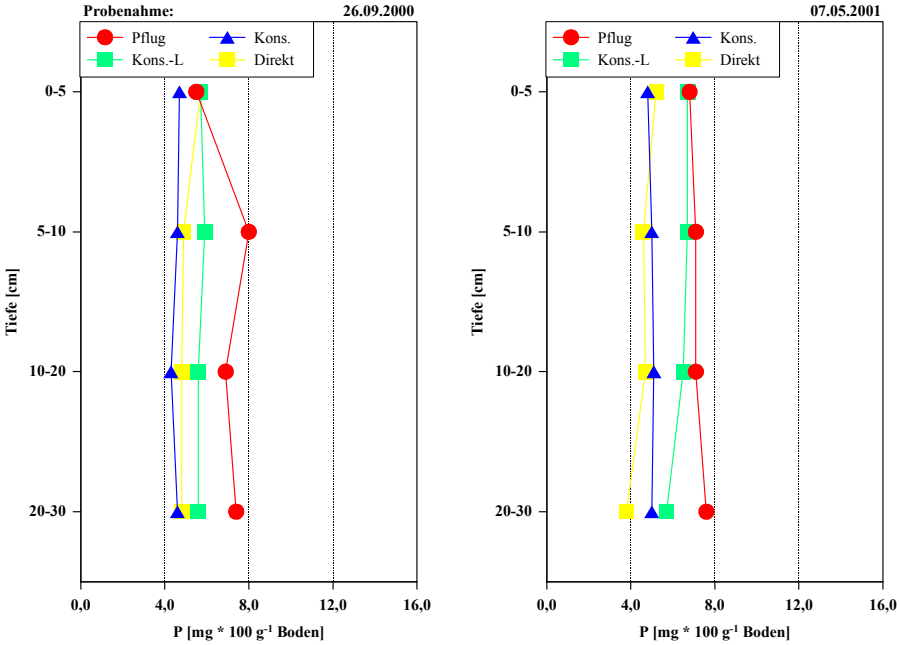

Abbildung 15: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

An den Standorten Littdorf und Niederstriegis ergaben sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten. Die Gehaltskurven für den DL-P-Gehalt in den beiden Varianten liefen annähernd deckungsgleich und ließen sich in die Gehaltsklasse B (Littdorf) bzw. C (Niederstriegis) einordnen.
Auch an den Standorten Krumhermersdorf und Lippersdorf im Erzgebirge hatte die Bodenbearbeitung keinen Einfluss auf die vertikale P-Verteilung. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass es sich an diesen beiden Standorten um relativ junge Versuchsanlagen handelt.
Auf eine grafische Darstellung der Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet.

Die dargestellten Ergebnisse für die DL-P-Gehalte verdeutlichen, dass eine Änderung der P-Düngungsform bzw. -menge bei Umstellung der Bodenbearbeitung nicht notwendig zu sein scheint. Jedoch gilt es zu berücksichtigen, dass die beprobten Versuchsflächen maximal elf Jahre pfluglos bearbeitet wurden und die P-Dynamik sehr träge auf Änderungen in der Bewirtschaftung reagiert. Offensichtlich kann aber die wendende und mischende Wirkung des Pfluges durch die teilweise mischende Wirkung der eingesetzten Grubber bzw. Scheibeneggen sowie durch die erhöhte biologische Aktivität ersetzt werden. Für die

biologische Durchmischung der Krume sind vor allem die Regenwürmer von Bedeutung, die in den konservierend bearbeiteten Varianten deutlich gefördert wurden (vgl. Kapitel 4.3.2)

4.2.2 Kalium

Im Gegensatz zu den DL-P-Gehalten konnten an allen Standorten deutliche Unterschiede in der vertikalen Verteilung der DL-K-Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung festgestellt werden. Eine K-Düngung erfolgte an keinem der Standorte zwischen den Beprobungsterminen.

Während tendenziell die Variante Pflug an allen Standorten eine homogene Verteilung in der Krume zeigte, war in den anderen Varianten eine z.T. deutliche Anreicherung in der Oberkrume festzustellen. Dem stand aber nur teilweise eine leichte Abreicherung in der Unterkrume gegenüber.

Am Standort Zschortau zeigte sich in der Variante Direkt an beiden Beprobungsterminen eine kontinuierliche Abnahme der Gehalte mit zunehmender Tiefe (Abbildung 16). Gleiches galt im Herbst 2000 für die beiden Varianten Konservierend und Konservierend-Locker. Im Frühjahr 2001 spiegelte sich in diesen Varianten jedoch deutlich der Einfluss der Bearbeitungstiefe wider.

Die K-Versorgung lag in der Variante Pflug im Bereich der Versorgungsstufe D, in den anderen Varianten ergaben sich in der Oberkrume Werte in der Stufe E und in der Unterkrume Werte in der Stufe C (SMUL 1997).

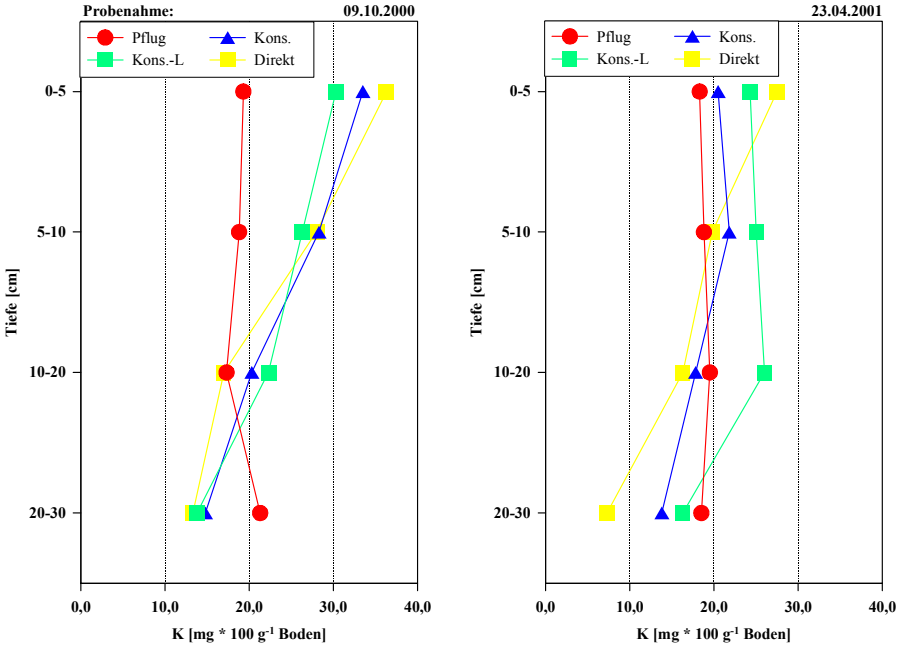

Abbildung 16: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Auch am Standort Lüttewitz war eine Steigerung der DL-K-Gehalte in der Oberkrume der nicht gepflügten Varianten festzustellen (Abbildung 17). Jedoch stand dem keine Abnahme der Gehalte in der Unterkrume gegenüber. Die K-Versorgung an diesem Standort war etwas geringer als am Standort Zschortau, und ließ sich in die Gehaltsklassen B und C einteilen (SMUL 1997)

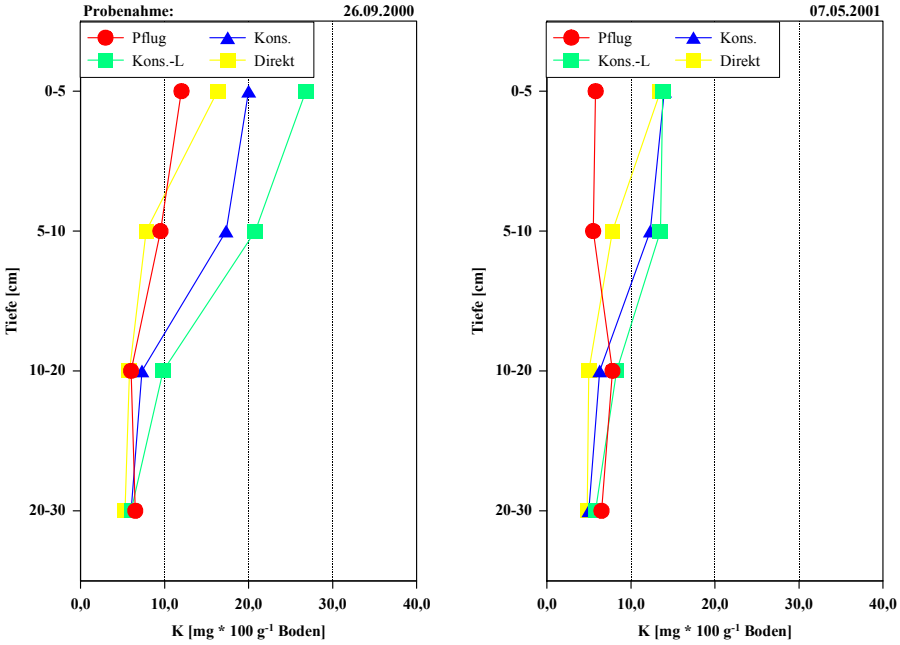

Abbildung 17: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Am Standort Littdorf ergaben sich hinsichtlich der K-Gehalte nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten (Abbildung 18). In der Oberkrume zeigten sich zwischen den beiden Beprobungsterminen widersprüchliche Tendenzen. In der Unterkrume ließ sich eine sehr leichte Abnahme der Gehalte in der Variante Konservierend im Vergleich mit der Variante Pflug vermuten (Abbildung 18).
Die K-Versorgung an diesem Standort ließ sich in die Versorgungsstufen B bzw. C einordnen (SMUL 1997).

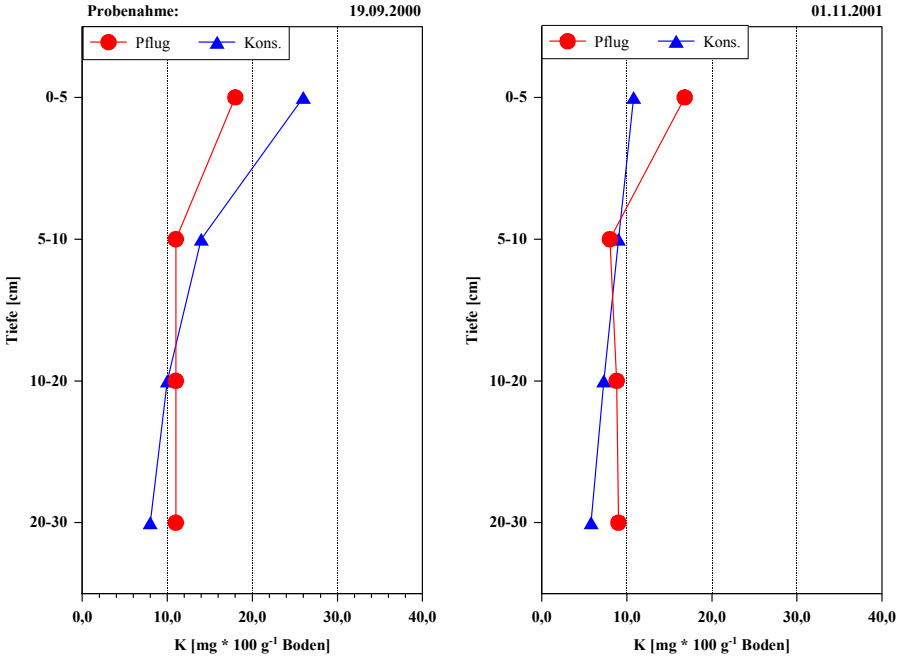

Abbildung 18: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Am Standort Niederstriegis wurden die grössten Abweichungen in der Oberkrume zwischen den beiden Bearbeitungsvarianten festgestellt. Die Gehalte in der Variante Konservierend lagen hier an beiden Beprobungsterminen auf etwa dem doppelten Niveau (Abbildung 19). Eine entsprechende Abreicherung in der Unterkrume war nicht festzustellen. Die hohen Abweichungen in der Oberkrume überraschen, aufgrund der geringen Laufzeit der Versuche. Auch ist die an diesem Standort in der Krume offensichtlich stark erhöhte K-Menge derzeit nicht zu erklären.

Die K-Versorgung liess sich in die Versorgungsstufen C bis D einteilen und erreichte in der Oberkrume der Variante Konservierend den Bereich E (SMUL 1997).

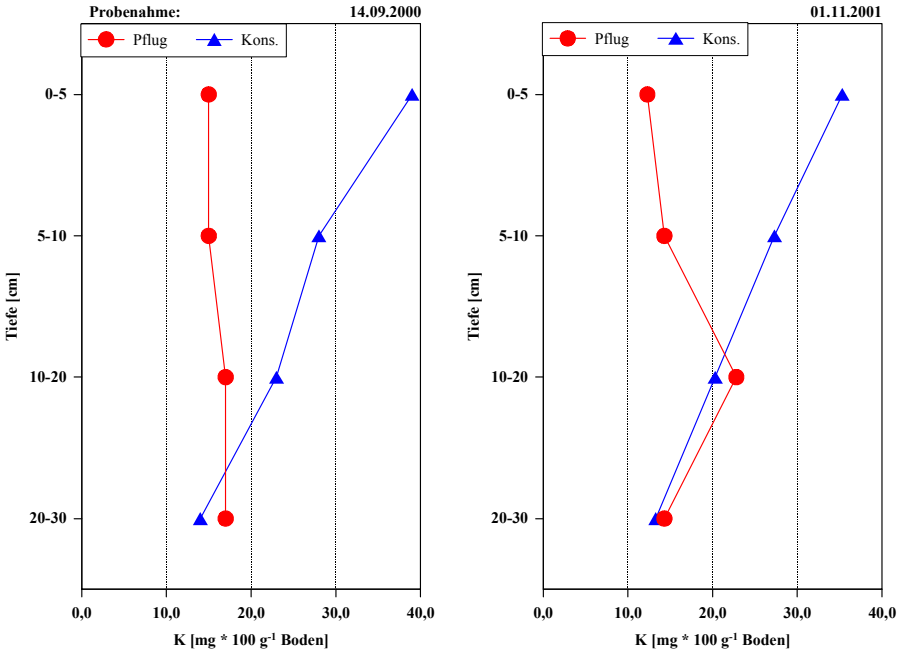

Abbildung 19: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

4.2.3 Humus/Corg

Die Bezeichnung der verschiedenen Fraktionen der organischen Substanz im Boden wird in der Literatur sehr unterschiedlich gehandhabt. Im Folgenden wird auf die Definition "Die Gesamtheit der organischen Substanzen im Boden bildet den Humus" von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989) zurückgegriffen. Die Begriffe "Humus" und "organische Substanz" werden dem zufolge hier gleichbedeutend verwendet.

Der Humusgehalt reagiert u.a. auf die Intensität und Häufigkeit der Lockerung des Bodens sowie auf die Menge an zugeführter organischer Substanz (BAEUMER 1992).

Bei konservierender Bodenbearbeitung werden die Ernterückstände nicht mehr vollständig und tief in die Krume eingearbeitet. Aus diesem Grund ist von einer Zunahme der Humusgehalte in der Oberkrume auszugehen. Dieser Zunahme in der Oberkrume kann auch ein Rückgang in der Unterkrume gegenüberstehen, dies ist jedoch von verschiedenen Faktoren (Lockerungsintensität, Bodenfeuchte, Dauer des Pflugverzichtes etc.) abhängig.

Der Gehalt an organischer Substanz ist ein Parameter, der die Stabilität der Bodenaggregate maßgeblich mitbestimmt (TISDALL & OADES 1982, PUGET ET AL. 2000) (Vgl. Kapitel 4.1.5)

An allen Versuchsstandorten wurden die Gehalte an organischer Substanz in ihrer vertikalen Verteilung festgestellt.

Am Standort Zschortau zeigte sich die erwartete Anreicherung der organischen Substanz in der Oberkrume aller nicht gepflügten Varianten um etwa 0,5 % (Abbildung 20). In der Unterkrume zeigte sich dagegen eine Reduzierung der Gehalte.

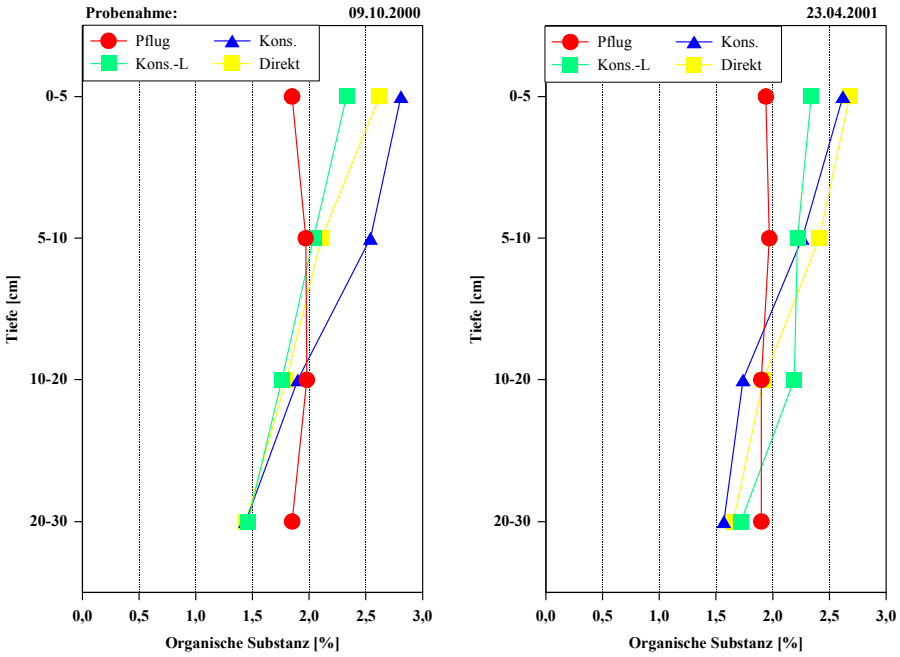

Abbildung 20: Gehalt an organischer Substanz am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

Auch am Standort Lüttewitz zeigte sich tendenziell eine Anreicherung der Humusgehalte in der Oberkrume (Abbildung 21). Jedoch ergab sich insbesondere in der Variante Konservierend im Herbst 2000 ein abweichendes Bild, hier waren die Gehalte in der Oberkrume im Vergleich zu den anderen Varianten deutlich reduziert. Die Ursache hierfür ist unklar, jedoch zeigten sich auch bei anderen Parametern Abweichungen in dieser Variante an diesem Standort, wie z.B. der Trockenrohdichte (vgl. Tabelle 7), der Aggregatstabilität (vgl. Abbildung 11) und der Regenwurmabundanz (vgl. Abbildung 26).

In der Unterkrume konnte in allen konservierend bearbeiteten Varianten ein Rückgang der Humusgehalte im Vergleich zu der Variante Pflug um unter 0,5 % festgestellt werden.

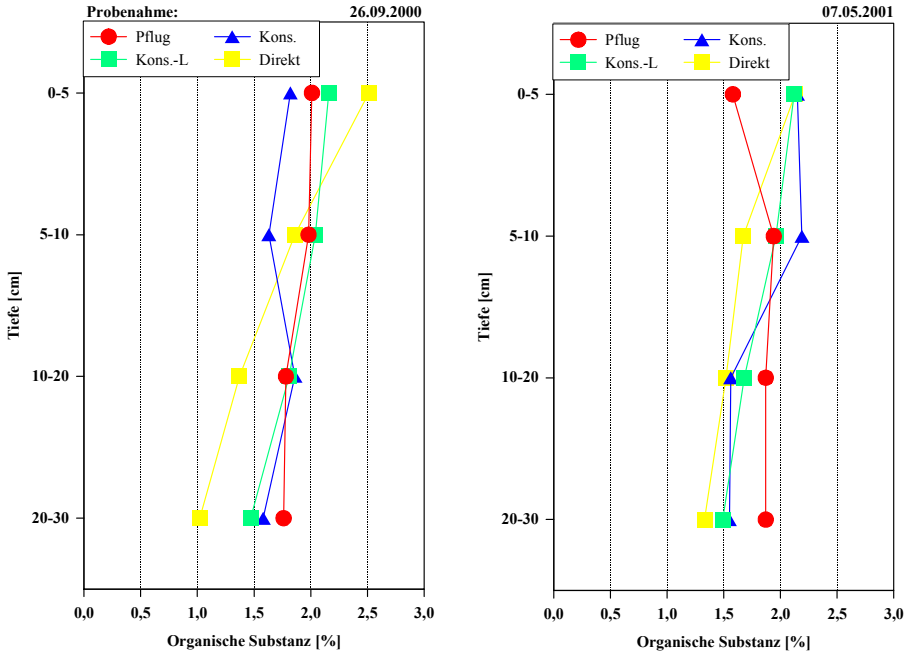

Abbildung 21: Gehalt an organischer Substanz am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

Die Humusgehalte am Standort Littdorf lagen in der Variante Konservierend in der Oberkrume an beiden Messterminen oberhalb der Werte in der Variante Pflug (Abbildung 22). Im September 2000 war dies auch in der Unterkrume der Fall, bis zum November 2001 gingen die Humusgehalte in der Unterkrume an diesem Standort jedoch zurück, so dass ein leicht niedrigerer Gehalt als in der Variante Pflug gemessen wurde.

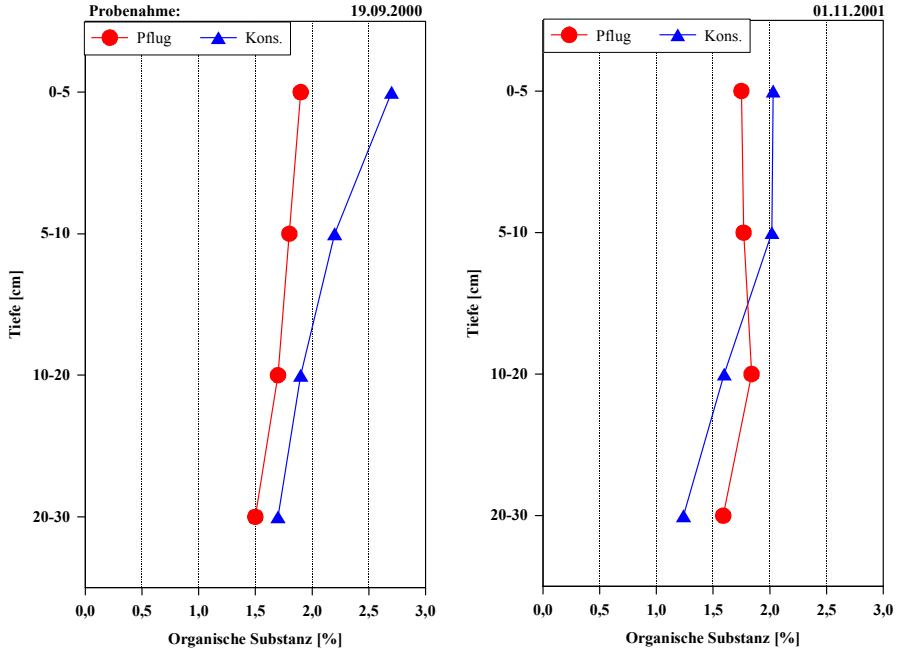

Abbildung 22: Gehalt an organischer Substanz am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

Ein ähnliches Bild wie in Littdorf ergab sich auch auf der Fläche Niederstriegis (Abbildung 23). Besonders in der Unterkrume der Variante Konservierend wurden im Jahr 2001 sehr niedrige Humusgehalte gemessen.

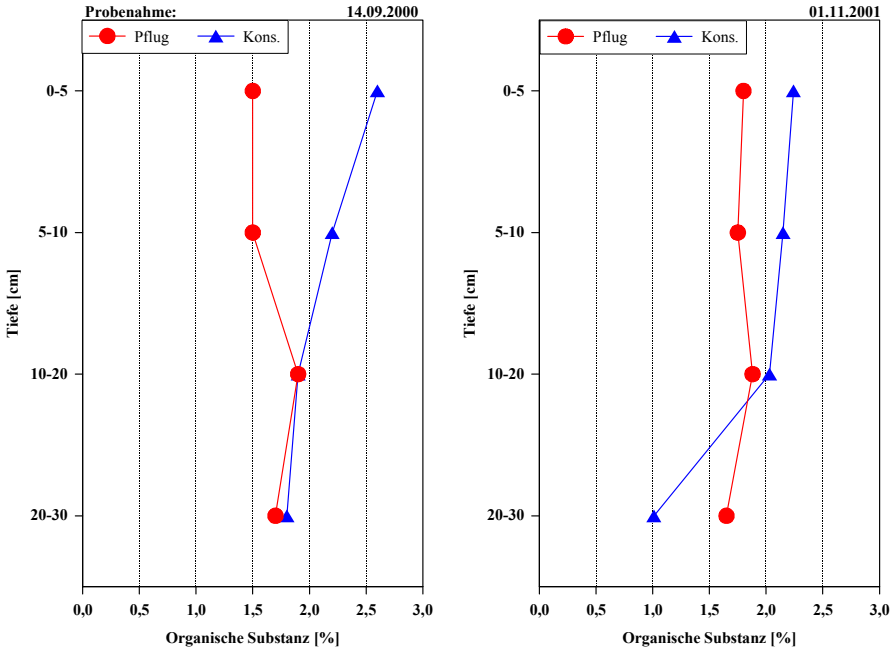

Abbildung 23: Gehalt an organischer Substanz am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

Von den Humusgehalten kann nicht direkt auf die Humusmengen geschlossen werden, da diese zusätzlich von der Lagerungsdichte des Bodens beeinflusst werden. Wenn z.B. die CO2-Speicherung des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung bewertet werden soll, ist dieser Umrechnungsschritt unerlässlich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stand diese Frage nicht im Mittelpunkt. Um die unterschiedlichen Wirkungen der organischen Substanz z.B. auf die Aggregatstabilität zu beschreiben, ist der Humusgehalt der aussagekräftigere Parameter.

Weitergehende Aussagen zur Umsetzungstätigkeit im Boden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung sind erst unter Zuhilfenahme von weiteren bodenbiologische Parametern möglich, wie dies im Folgenden geschieht.

4.3 Bodenbiologische Kennwerte

4.3.1 Mikrobielle Kennwerte

Quantitative mikrobielle Kennwerte sind die mikrobielle Biomasse, definiert als der Anteil der organischen Substanz, die aus lebenden Organismen (Bakterien, Strahlenpilze, Schimmel-

pilze) besteht bzw. als der Anteil lebender, physiologisch aktiver Mikroorganismen im Boden (ALEF 1991), und die basale CO_2-Respiration. Die mikrobielle Biomasse gilt als empfindlicher Zeiger von Humusveränderungen bei unterschiedlicher Bewirtschaftung, da Zu- oder Abnahmen weitaus schneller eintreten als beim gesamten organischen Kohlenstoff des Bodens (ANDERSON & DOMSCH 1989, BECK 1990, POWLSON et al. 1987). Eng mit der Biomasse verbunden ist die Mikrobenaktivität, die als Basalatmung (basale CO_2-Respiration) gemessen wird und ein Maß für die Leistung bzw. eine metabolische Aktivitätsbestimmung darstellt.
Eine vertiefte Charakterisierung mikrobieller Aktivität ist anhand der ökophysiologischen Parameter der Mikroorganismengesellschaft möglich und häufig als Ergänzung für die Interpretation der quantitativen Kennwerte notwendig (KANDELER et al. 1993a). Ökophysiologische Kennwerte sind der metabolische Quotient (qCO_2) bei dem die Basalatmung auf die mikrobielle Biomasse bezogen wird und das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis, bei dem die mikrobielle Biomasse auf den gesamten organischen Kohlenstoff bezogen wird (SCHINNER et al. 1993). Der physiologische Zustand wird durch den Ernährungsstatus der Mikroorganismen und eventuellen Stressbedingungen bestimmt. Häufig bewirkt beispielsweise Stress eine erhöhte Atmungsaktivität bei verminderter Biomasse, so dass für sich genommen diese quantitativen Parameter keine hinreichende Interpretation ermöglichen und erst mit Hilfe der spezifischen Leistungsfähigkeit ausgedrückt durch den qCO_2 einzuordnen sind. Metabolischer Quotient und das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis sind als Zeigerwerte für Bodenveränderungen besonders geeignet (ANDERSON 2000).

Mikrobielle Biomasse (C_{mic})

Mit Werten zwischen 245 und 680 µg C_{mic} * g^{-1} TS, jeweils bezogen auf den bearbeiteten Bereich der Krume, lagen die C_{mic}-Werte in dem von BECK & BECK (1994) für Ackerflächen als üblich angegebenen Bereich von 250 bis 750 µg C * g^{-1}.
Die Spannweite der Werte ist ein Resultat des differenzierenden Einflusses der Bodenbearbeitung, wobei eine in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe unterschiedliche Stratifizierung zu verzeichnen war. Nicht bearbeitete Flächen wie die Direktsaat wiesen eine deutliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse bereits in 10 cm Tiefe auf. In der Variante Konservierend trat eine markante Abnahme erst unterhalb 10 cm Bodentiefe auf und bei einer tieferen Lockerung erst unterhalb von 20 cm Tiefe. Wendende Bodenbearbeitung zeigte hingegen mit 230 bis 290 µg C * g^{-1} TS im gesamten Krumenbereich ausgeglichene Werte, die lediglich am Standort Lüttewitz im Herbst 2000 im obersten Bodenbereich leicht darüber lagen (Abbildung 24 und Abbildung 25).

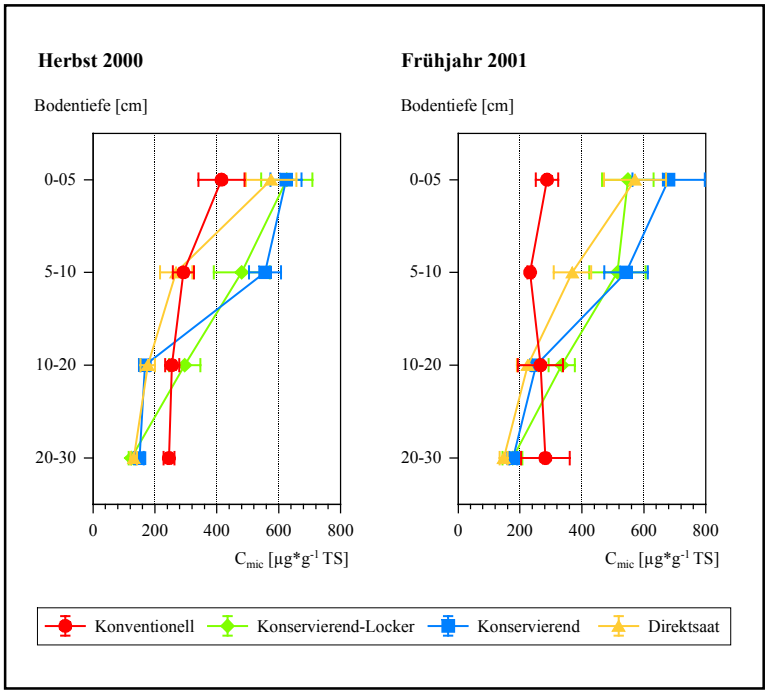

Abbildung 24: Mikrobielle Biomasse am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

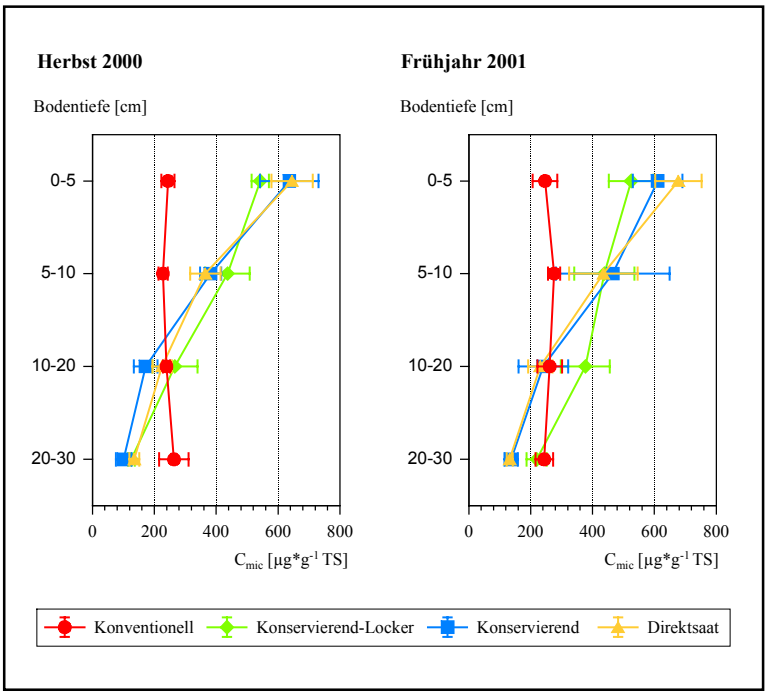

Abbildung 25: Mikrobielle Biomasse am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Diese charakteristische Stratifizierung bei konservierender Bodenbearbeitung oder Direktsaat bewirkt eine Konzentrationszunahme in der Oberkrume bzw. an der Bodenoberfläche bei nichtwendender Bearbeitung mit Werten > 500 bis 680 µg C * g^{-1} TS. Gegenüber wendender

Bearbeitung mit dem Pflug (< 415 µg C * g^{-1} TS) wiesen diese Varianten somit deutlich und teilweise signifikant höhere Werte auf. In der Bodentiefe 20 bis 30 cm lagen dagegen die Werte in der gepflügten Variante am höchsten.
Auf den gesamten Krumenbereich bezogen (0 bis 30 cm) war die mikrobielle Biomasse gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung in den Varianten mit konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat i. d. R. um bis zu ca. 25 bis 50 % erhöht.

Basale CO_2-Respiration

Die Bodenatmung resultiert aus dem Abbau der organischen Substanz und nimmt bei zunehmender Bodentiefe ab. Unter ungestörten Bedingungen stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Bodenorganismen und deren Tätigkeit ein (KANDELER et al. 1993a).
Im vorliegenden Fall unterlag die basale CO_2-Respiration nicht dem gleichen Einfluss der Bodenbearbeitung wie die oben beschriebene mikrobielle Biomasse. Unterschiedliche Bodenbearbeitungsintensitäten beeinflussten die basale CO_2-Respiration auf den untersuchten Standorten und an den beiden Untersuchungsterminen auf unterschiedliche Weise (Tabelle 19 und Tabelle 20).

Tabelle 19: Basale CO_2-Respiration [µg CO_2-C * g^{-1} TS * h^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	2000				2001			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	1,76 b*	1,99 ab	2,08 a	1,85 ab	2,23 b	3,65 a	2,71 ab	2,54 ab
5-10	1,06 b	1,64 ab	1,85 a	1,05 b	1,72 b	2,55 a	2,58 ab	2,22 ab
10-20	0,79 b	1,29 ab	1,47 a	0,78 b	1,41 b	1,56 ab	1,91 a	2,20 a
20-30	0,56 b	1,09 ab	1,24 a	0,86 ab	1,16 b	1,20 ab	1,09 b	2,09 a

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede (p<0,05) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Tabelle 20: Basale CO_2-Respiration [µg CO_2-C * g^{-1} TS * h^{-1}] am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	2000				2001			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	3,35 ab*	4,05 a	2,55 ab	1,70 b	4,12 a	3,26 ab	2,62 ab	2,36 b
5-10	1,37 b	1,63 ab	1,99 a	1,29 b	1,89 a	2,21 a	2,46 a	1,93 a
10-20	1,05 ab	0,82 b	1,33 a	1,06 ab	1,43 ab	1,12 b	1,83 a	1,48 ab
20-30	0,68 b	0,65 b	0,74 ab	1,03 a	0,92 ab	0,80 b	1,20 ab	1,52 a

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede (p<0,05) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Am Standort Lüttewitz lagen die Werte der basalen CO_2-Respiration im Herbst 2000 in den Varianten Pflug und Direktsaat in allen Tiefen unter den Werten der Varianten Konservierend und Konservierend-Locker, mit einer signifikant höheren Atmungsaktivität in der Variante

Konservierend mit Tiefenlockerung gegenüber der Direktsaat und teilweise auch gegenüber der konventionell bearbeiteten Variante (Tabelle 19).

Im Frühjahr 2001 näherte sich die Verteilung der Werte der basalen CO_2-Respiration denen der mikrobiellen Biomasse an. Konservierende Bearbeitung bewirkte mit 2,71 und 3,65 µg CO_2-C * g^{-1} TS * h^{-1} hier eine erhöhte Atmungsaktivität in der Krume, die entsprechend der Bearbeitungstiefe abnahm. Konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug hingegen bewirkte mit 2,54 µg CO_2-C * g^{-1} TS * h^{-1} in der Krume deutlich geringere Werte, die nur geringfügig bis in eine Tiefe von 30 cm abnahmen. Anders die Werte nach Direktsaat, die, wie bereits im Herbst 2000, niedriger als in den anderen Bodenbearbeitungsvarianten lagen (Tabelle 19).

Am Standort Zschortau spiegelte die Atmungsaktivität die Ergebnisse der mikrobiellen Biomasse weitgehend wider. Auch bei der basalen CO_2-Respiration stellte sich eine durch die Bodenbearbeitungstiefe bedingte Stratifizierung ein, mit einer geringen Abnahme bis 30 cm Tiefe in der gepflügten Variante und einer deutlichen Abnahme bei geringer Bearbeitungsintensität oder unterlassener Bearbeitung (Konservierend, Direktsaat). Diese Stratifizierung äußerte sich auch hier in höheren Aktivitätswerten in der Oberkrume bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat und höheren Aktivitätswerten bei konventioneller Bodenbearbeitung in der Unterkrume (20 bis 30 cm) (Tabelle 20).

Metabolischer Quotient (qCO_2)

Mit dem metabolischen Quotienten ist ein indirektes Maß der energetischen Effizienz der Mikroorganismengesellschaft gegeben. Hierdurch ist eine qualitativen Erfassung von Umwelteinflüssen auf die mikrobielle Biomasse möglich. Je niedriger der metabolische Quotient ist, desto effizienter sind die mikrobiellen Umsatzleistungen. Andererseits zeigt ein hoher metabolischer Quotient eine schlechte Ausnutzung des Bodenkohlenstoffs zum Zellaufbau an, da zuviel Kohlenstoff beim Betriebsstoffwechsel der Zellen verbraucht wird. In diesem Fall findet insgesamt ein schneller Abbau der organischen Substanz und eine damit verbundene Nährstofffreisetzung statt (KANDELER et al. 1993a).

Tabelle 21: Metabolischer Quotient (qCO_2) [ng CO_2-C * μg^{-1} C_{mic} * h^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	**2000**				**2001**			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	3,1 a*	3,2 a	3,4 a	4,4 a	3,9 b	5,5 ab	5,0 ab	8,9 a
5-10	4,0 a	3,0 b	4,0 ab	3,6 ab	4,6 b	4,7 ab	5,1 ab	9,6 a
10-20	4,5 ab	7,8 a	5,1 ab	3,1 b	6,4 ab	6,2 ab	5,7 b	8,4 a
20-30	4,1 ab	7,2 ab	10,1 a	3,5 b	7,9 a	6,8 ab	6,2 b	7,6 ab
Mittelwert	3,9	5,3	5,6	3,6	5,7	5,8	5,5	8,6

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Der qCO_2 war in der Schicht 0 bis 5 cm bei konventioneller Bodenbearbeitung deutlich höher als in den Varianten ohne wendende Bodenbearbeitung. Mit Ausnahme des Standorts Lüttewitz im Herbst 2000 trifft dies auch für die Schicht 5 bis 10 cm zu. Dies deutet auf eine erhöhte Stoffumsetzung im oberen Krumenbereich der gepflügten Variante hin. In den Tiefen 10 bis 20 cm und 20 bis 30 cm zeigt sich ein etwas differenzierteres Bild. Im Herbst 2000 wiesen an beiden Standorten die konservierend bearbeiteten Varianten gegenüber der konventionellen Variante und der Direktsaat höhere metabolische Quotienten auf. Im Frühjahr 2001 fanden sich höhere metabolische Quotienten in den Varianten Konventionell und Direktsaat (Tabelle 21 und Tabelle 22).

Tabelle 22: Metabolischer Quotient (qCO_2) [ng CO_2-C * μg^{-1} C_{mic} * h^{-1}] am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	2000				2001			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	5,2 ab*	6,4 ab	4,7 b	7,0 a	6,0 ab	5,4 ab	5,1 b	9,7 a
5-10	3,8 b	4,3 ab	4,6 ab	5,5 a	4,4 b	5,0 ab	5,9 ab	7,0 a
10-20	4,7 a	4,9 a	5,1 a	4,4 a	6,3 a	5,0 a	4,9 a	5,7 a
20-30	5,0 ab	6,7 a	5,9 a	4,0 b	6,9 a	6,0 a	5,5 a	6,2 a
Mittelwert	4,9	5,6	5,1	5,2	5,9	5,3	5,3	7,1

*: Unterschiedliche Buchstaben an den Daten indizieren statistisch gesicherte Unterschiede ($p<0,05$) innerhalb einer Tiefenstufe zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes

Insgesamt führte wendende Bodenbearbeitung zu einem auffällig erhöhten qCO_2. Dies traf auch für den nicht gelockerten Bereich bei konservierender Bodenbearbeitung am Standort Lüttewitz zu. Im Mittel der Beprobungstiefe (0 bis 30 cm) zeigte sich, dass der qCO_2 im Herbst nach der Bodenbearbeitung lediglich gering differenziert war. Im Frühjahr lag der qCO_2 in der gepflügten Variante deutlich höher als in den konservierend bearbeiteten Varianten und der Direktsaat.

C_{mic}:C_{org}-Verhältnis

Das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis ist, aufgrund der engen Beziehung zwischen dem organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens und der mikrobiellen Biomasse, ein relatives Maß der Verfügbarkeit des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Boden (SCHINNER et al. 1993, BECK 1984). Ein größerer Quotient bedeutet hierbei, dass ein größerer Anteil des organischen Kohlenstoffs aus mikrobieller Biomasse besteht und weist deshalb auf eine bessere Verfügbarkeit der organischen Bodensubstanz hin (KANDELER et al. 1993a). Langfristig stellt sich im Boden ein Gleichgewicht zwischen mikrobieller Biomasse und organischem Kohlenstoff ein. Konventionell bearbeitete Ackerböden weisen hierbei Werte zwischen 2 bis 4 % auf. (BECK & BECK 1994). Kurzfristig erhöhte Werte sind häufig eine Folge erhöhter Mengen zugeführter organischer Substanz mit einer Tendenz, langfristig das Gleichgewicht wieder zu erreichen

(ANDERSON & DOMSCH 1989). Das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis dient somit als Zeiger für die Entwicklung des Humushaushalts (BECK 1984).
An den untersuchten Standorten lag das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis im Bereich 1,5 bis 6,8 am Standort Lüttewitz (Tabelle 23) und mit Werten zwischen 1,3 bis 4,4 am Standort Zschortau (Tabelle 24) etwas niedriger.

Für beide Standorte und alle Tiefen ergab sich eine der mikrobiellen Biomasse vergleichbare Verteilung der C_{mic}:C_{org} Werte. Demzufolge wiesen die Werte bei konventioneller Bearbeitung bis 30 cm vergleichsweise konstante Werte auf, nehmen aber bei konservierender Bodenbearbeitung mit zunehmender Tiefe ab. Insgesamt war das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis in der Oberkrume bei wendender Bodenbearbeitung am geringsten. Auch eine Betrachtung der gesamten Krume bis 30 cm Bodentiefe zeigte einen höheren C_{mic}-Anteil am C_{org} in den konservierend bearbeiteten Varianten und der Direktsaatvariante als in der Variante Pflug.

Tabelle 23: C_{mic}:C_{org} [%] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	**2000**				**2001**			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	4,0	6,8	5,0	3,6	4,6	5,5	4,5	2,7
5-10	2,5	6,4	4,1	2,6	3,8	4,3	4,5	2,1
10-20	2,2	1,6	2,8	2,5	2,6	2,8	3,4	2,5
20-30	2,3	1,6	1,5	2,4	1,9	2,0	2,0	2,6
Mittelwert	2,7	4,1	3,3	2,8	3,2	3,6	3,6	2,5

Tabelle 24: C_{mic}:C_{org} [%] am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

Jahr	**2000**				**2001**			
Bodentiefe	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
0- 5	4,3	3,9	4,0	2,3	4,4	4,0	3,8	2,2
5-10	3,0	2,6	3,7	2,0	3,1	3,5	3,5	2,4
10-20	2,2	1,6	2,6	2,1	2,1	2,4	3,0	2,4
20-30	1,7	1,3	1,5	2,5	1,4	1,5	2,2	2,2
Mittelwert	2,8	2,4	3,0	2,2	2,7	2,8	3,1	2,3

Die Besiedelungsdichte der Mikroorganismen und ihre Aktivität im Boden hängt von der Nährstoff- und Sauerstoffverteilung ab, so dass im Oberboden eine höhere Besiedelungsdichte zu finden ist als im Unterboden. Durch unterschiedliche Methoden der Bodenbearbeitung kann die Bodenstruktur und die Nährstoffverteilung verändert werden (KANDELER et al. 1993a) und es entsteht eine in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe verlaufende Schichtung der mikrobiellen Biomasse und Atmungsaktivität mit höheren Werten in den obersten 10 cm bei nicht wendender Bodenbearbeitung als in der Vergleichsschicht bei pflügender Bearbeitung (BECK 1985, DORAN 1980, GRANATSTEIN 1987, GROCHOLL &

AHRENS 1989, KANDELER et al. 1993b). Mit zunehmender Tiefe nimmt jedoch die Atmungsaktivität pro Biomasseeinheit zu, was sich in einer Zunahme des qCO_2 ausdrückt (KAISER et al. 1994). Dies konnte mit den vorliegenden Untersuchungen bestätigt werden. Hierbei ist nicht allein die Nährstoffverteilung (Kohlenstoffverteilung) für diese Stratifizierung maßgebend (BECK & BECK 1994, GROCHOLL & AHRENS 1989), von Bedeutung sind auch die Lagerungsdichte, Temperatur- , Feuchte- und Sauerstoffbedingungen (BECK 1995, DALAL et al. 1991, DORAN 1980, GRANATSTEIN 1987). Insbesondere erhöhte Lagerungsdichten könnte die Ursache für den erhöhten qCO_2 in der Variante Konservierend am Standort Lüttewitz sein (vgl. Tabelle 7).
Insgesamt hatte konservierende Bearbeitung und Direktsaat einen deutlich positiven Einfluss auf die mikrobielle Aktivität und, wie durch das C_{mic}:C_{org}-Verhältnis verdeutlich wird, führt der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung zu einer Akkumulation an organischer Substanz im Boden.

4.3.2 Regenwurmaktivität

Regenwürmer werden nach ihrer Lebensweise und ihrem Lebensraum in die drei ökologischen Gruppen epigäisch, endogäisch und anektisch geteilt (BOUCHÉ 1977). Tiere der endogäischen (Flachgräber) und anektischen (Tiefgräber) Lebensformen kommen auf Ackerflächen vor. Endogäische Arten leben im Oberboden bis ca. 60 cm Tiefe. Diese Arten nehmen als Nahrung Mineralboden auf, wobei humose Bestandteile und Mikroorganismen als Nahrungsquelle dienen. Kennzeichnend für diese Arten sind die horizontalen, ständig neu gegrabenen Röhren, welche durch Losung verfüllt werden. Hierdurch fördern Arten dieser Lebensform die Durchlockerung und Strukturstabilität im Boden. Anektische Arten graben und leben in permanenten, senkrecht verlaufenden Röhren. Diese reichen von der Bodenoberfläche bis tief in den Unterboden. Nahrungsgrundlage dieser Tiere sind mikrobiell vorzersetzte Pflanzenreste an der Bodenoberfläche, die von den Tieren eingesammelt und in die Röhren gezogen werden. Die Losung der anektischen Tiere wird meist an der Bodenoberfläche abgelegt (BIERI & CUENDET 1989, EDWARDS & BOHLEN 1996, GRAFF 1983, LEE 1985). Die permanenten Röhren und die strukturstabile Losung sind für den Erosionsschutz von zentraler Bedeutung.
Insgesamt konnten an beiden Untersuchungsstandorten folgende vier Arten nachgewiesen werden: *Aporrectodea caliginosa, A. rosea, Allolobophora chlorotica* als Vertreter der endogäischen Lebensform und *Lumbricus terrestris* als Vertreter der anektischen Lebensform (Tabelle 25 und Tabelle 26).
Aufgrund ihrer Lebensweise werden die zwei auf Ackerflächen vertretenen ökologischen Gruppen durch die Bodenbearbeitung in unterschiedlichem Maße beeinflusst.

Tabelle 25: Dominanzstruktur der Regenwurm-Arten am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	2000				2001			
Gattung/Art	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
A.caliginosa	16,8 (D) *)	26,7 (D)	23,1 (D)	21,0 (D)	9,9 (SD)	21,0 (D)	21,0 (D)	11,1 (D)
A.rosea	16,2 (D)	4,7 (SD)	5,1 (SD)	9,7 (SD)	20,2 (D)	2,8 (R)	6,0 (SD)	9,3 (SD)
A.chlorotica	51,4 (E)	44,2 (E)	54,5 (E)	53,2 (E)	28,3 (D)	26,1 (D)	31,3 (D)	52,8 (E)
L.terrestris	7,8 (SD)	17,4 (D)	11,5 (D)	3,2 (SD)	7,7 (SD)	14,8 (D)	11,7 (D)	2,8 (R)
endogäisch	91,1	82,6	88,5	95,2	91,0	83,0	87,0	95,4
anektisch	7,8	17,4	11,5	3,2	7,7	14,8	11,7	2,8

*) Klassifikation (nach ENGELMANN 1978), E = eudominant, D = dominant, SD = subdominant, R = rezendent, SR = subrezedent

Durch den Verzicht auf den Pflug wird eine Zunahme der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* erreicht. Diese Art hat unter konservierender Bodenbearbeitung und bei Direktsaat einen Anteil von bis zu 17 % gegenüber 3 % bis 7 % bei konventioneller Bodenbearbeitung. Grund für diese Zunahme ist nicht nur, dass die Tiere bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat durch die Arbeitsgeräte in geringerem Maße geschädigt werden. In diesen Bodenbearbeitungssystemen bleiben die Wohnröhren der Tiere weitestgehend erhalten. Wendende Bodenbearbeitung zerstört hingegen diese Gänge, die dann jeweils neu gegraben werden müssen. Von noch größerer Bedeutung ist jedoch, dass bei konservierender Bodenbearbeitung organische Substanz als Nahrung an der Bodenoberfläche verbleibt. Dagegen wird bei wendender Bodenbearbeitung den Tiefgräbern die Nahrungsgrundlage entzogen.

Tabelle 26: Dominanzstruktur der Regenwurm-Arten am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	2000				2001			
Gattung/Art	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug	Direkt	Kons.	Kons.-L.	Pflug
A.caliginosa	64,8 (E) *)	56,0 (E)	54,5 (E)	78,1 (E)	57,8 (E)	59,0 (E)	68,1 (E)	73,3 (E)
A.rosea	14,8 (D)	15,5 (D)	12,7 (D)	0,0	20,6 (D)	12,8 (D)	12,8 (D)	11,1 (D)
A.chlorotica	0,0	7,1 (SD)	10,9 (SD)	0,0	0,0	1,3 (R)	4,3 (SD)	0,0
L.terrestris	10,2 (D)	8,3 (SD)	7,3 (SD)	3,1 (R)	10,8 (D)	11,5 (D)	6,4 (SD)	6,7 (SD)
endogäisch	87,5	90,5	90,9	96,9	87,3	83,3	92,6	91,1
anektisch	10,2	8,3	7,3	3,1	10,8	11,5	6,4	6,7

*) Klassifikation (nach ENGELMANN 1978), E = eudominant, D = dominant, SD = subdominant, R = rezendent, SR = subrezedent

Konservierende Bodenbearbeitung hat auch, wie vielfach gezeigt wurde, einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer, wobei häufig ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Bearbeitung und der Abundanz besteht (BARNES & ELLIS 1979, EDWARDS & LOFTY 1982, HEISLER et al. 1998, HÖFLICH & JOSCHKO 1996, JOSCHKO & HÖFLICH 1996, KRÜCK 1998, ROVIRA et al. 1987).

Im vorliegenden Fall traten neben dem Einfluss auf das Artenspektrum zwischen den Bodenbearbeitungssystemen deutliche Unterschiede in der Anzahl und der Biomasse der Regenwürmer auf (Abbildung 26 und Abbildung 27).

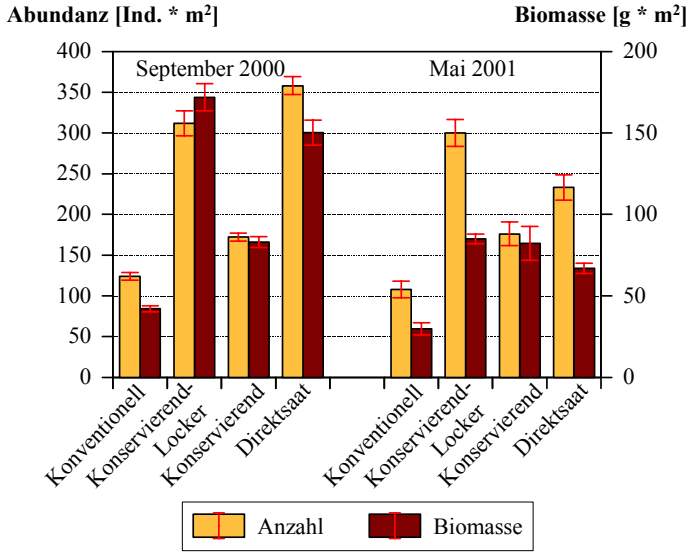

Abbildung 26: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

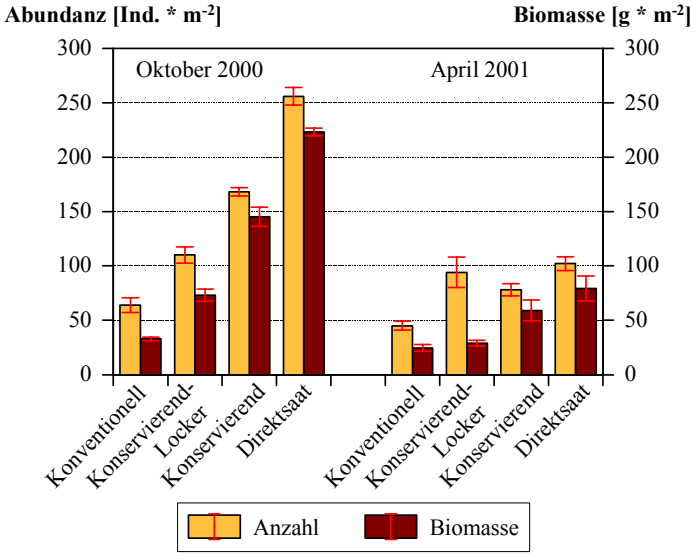

Abbildung 27: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Beim Verzicht auf den Pflug wurden höhere Individuendichten und Biomassen gefunden. Hierbei konnte in Lüttewitz bei konservierender Bodenbearbeitung mit Lockerung bereits eine Zunahme der Individuendichte um das 2- bis 3-fache und bei der Biomasse um ca. das 3- bis 4-fache festgestellt werden. Das Direktsaatverfahren hatte auf diesem Standort keine wesentliche weitere Zunahme der Regenwürmer mehr zur Folge bzw. lag etwas niedriger als die Variante Konservierend-Locker (Abbildung 26). Eine maximale Verminderung der Bearbeitungsintensität durch die Direktsaat kann jedoch den Regenwurmbesatz noch merklich erhöhen, wie die Ergebnisse am Standort Zschortau verdeutlichen. Auf diesem Standort lag das Niveau des Regenwurmbesatzes insgesamt etwas niedriger, was auf ungünstigere

Standortbedingungen hindeutet. Die Regenwurmpopulationen nahmen in der Rangfolge Konventionell, Konservierend und Direktsaat zu (Abbildung 27).
Auffällig waren die vergleichsweise geringen Individuendichten in der Konservierenden Variante am Standort Lüttewitz (Abbildung 26). Ursache sind verminderte Abundanzen der endogäischen Arten. Dies ist vermutlich auf die hohe Lagerungsdichte in dieser Variante zurückzuführen (vgl. Tabelle 7), auf die endogäische Arten empfindlich reagieren (SÖCHTIG & LARINK 1992).