Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe

Teilthema I:

Begleitende Untersuchungen zur praktischen Anwendung und Verbreitung von konservierender Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau sowie Mulchsaat in den Ackerbaugebieten Sachsens zur Minderung von Wassererosion und Nährstoffaustrag im Elbeeinzugsgebiet

gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMb+f)

FKZ: 0339588

Laufzeit 01.09.1998 bis 31.03.2002

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau

Leitung: Dr. Walter Schmidt

Bearbeitung: Dr. Olaf Nitzsche, Dr. Stefanie Krück, Dipl. Ing. agr. Michael Zimmermann

Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig

Tel.: 0341-9174 116 Fax: 0341-9174 111

Walter-Alexander.Schmidt@leipzig.lfl.smul.sachsen.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung 1

2 Standortbedingungen und Versuchsanlage 3

2.1 Untersuchungsflächen 3

2.2 Bearbeitungsverfahren und Fruchtfolgeabläufe 8

2.3 Witterungsbedingungen in den Untersuchungsjahren 11

3 Untersuchungsmethoden 14

3.1 Bodenphysikalische Kennwerte 14

3.2 Bodenchemische Kennwerte 15

3.3 Bodenbiologische Kennwerte 16

3.4 Acker- und pflanzenbauliche Erhebungen 17

3.5 Bodenfeuchtemessungen 18

3.6 Beregnungssimulationen, Infiltrations- und Bodenabtragsmessungen 19

3.7 Statistische Auswertung 19

3.8 Modellierung der Bodenerosion 20

4 Bodenuntersuchungen 22

4.1 Bodenphysikalische Kennwerte 22

4.1.1 Trockenrohdichte 22

4.1.2 Porenvolumen 25

4.1.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit 27

4.1.4 Makroporendichte 30

4.1.5 Aggregatstabilität 32

4.2 Bodenchemische Kennwerte 35

4.2.1 Phosphor 36

4.2.2 Kalium 38

4.2.3 Humus/Corg 41

4.3 Bodenbiologische Kennwerte 44

4.3.1 Mikrobielle Kennwerte 44

4.3.2 Regenwurmaktivität 51

5 Infiltrations- und Bodenabtrags- sowie Nährstoffabtragsmessungen 55

6 Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt, zum Bodenwasserhaushalt, zur Sickerwasserbildung und zur Nitratverlagerung 65

6.1 Stickstoffdynamik (N_{min}) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 65

6.2 Bodenwasserhaushalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 68

6.3 Sickerwasserbildung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 74

6.4 Nitratverlagerung aus der Bodenzone in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 77
6.5 Modellierung des Wasserhaushaltes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 78
7 Erhebungen zu pflanzenbaulichen Parametern und zum Krankheits- und Schädlingsauftreten ... 81
7.1 Feldaufgang und Bestandesdichte ... 81
7.2 Auftreten von Unkräutern bzw. -gräsern, Pflanzenkrankheiten und Schädlingen ... 82
7.2.1 Auftreten von Unkräutern und Ungräsern in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 82
7.2.2 Auftreten von Krankheiten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 83
7.2.3 Auftreten von Schädlingen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 89
7.3 Durchwurzelung des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 90
7.4 Erträge auf den Untersuchungsflächen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 95
7.5 Qualitätsparameter des Erntegutes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ... 96
8 Acker- und Pflanzenbauliche Empfehlungen zur Förderung der Umsetzung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren ... 98
9 Modellierung der Bodenerosion ... 102
10 Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung in Sachsen ... 114
11 Schlussfolgerungen und Ausblick ... 116
12 Zusammenfassung ... 118
13 Literaturverzeichnis ... 121
14 Tabellenverzeichnis ... 125
15 Abbildungsverzeichnis ... 128

1 Einleitung und Zielsetzung

Rund 450.000 ha (= 60 %) der gesamten Ackerfläche in Sachsen sind potenziell durch Wassererosion gefährdet und in Teilen jährlich immer wieder betroffen (SCHMIDT 1994, SÄCHSISCHER AGRARBERICHT 1995). Da Sachsen zu über 95 % zum Einzugsgebiet der Elbe zu rechnen ist (GEWÄSSERGÜTEBERICHT ELBE 1995), führt die Wassererosion zu einer erheblichen Belastung der Elbe und ihrer Zuflüsse mit Sedimenten, Nährstoffen, Pflanzenschutzmittelrückständen u.v.m. Gleichzeitig ist der N-Austrag von den landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen Sachsens über die Grundwasserpassage in großem Umfang mit verantwortlich für die diffuse N-Belastung der Elbe (NOLTE & WERNER 1991). Dies bedeutet, dass der Reduzierung des Bodenabtrages und des Nährstoffaustrages von Ackerflächen für die Entlastung der Elbe eine hohe Bedeutung zukommt und die umfassende und dauerhafte Anwendung von erosions- und nitrataustragsmindernden, gleichzeitig ökonomisch tragfähigen Bewirtschaftungsverfahren in der sächsischen Landwirtschaft unerlässlich sind.
Die erosionsmindernde Wirkung von konservierenden (=pfluglosen) Bodenbearbeitungsverfahren ist weitgehend bekannt (TEBRÜGGE & EICHHORN 1992, BRUNOTTE 1993, SOMMER 1994, SOMMER 1999, SOMMER & KLOEPFER 1999, KTBL 1998, FRIELINGHAUS ET AL. 2001), unsicher sind jedoch vielfach die Wirkungen des Pflugverzichtes auf viele bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter. Insbesondere die mit diesen Parametern eng verknüpften Fragen der Wasserinfiltration und der -speicherung im Boden spielen im Zusammenhang mit der Boden- und Nährstoffverlagerung und folglich mit dem Gewässerschutz eine zentrale Rolle. Bei großflächiger Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung sind folglich auch Auswirkungen auf den Landschaftswasser- und -stoffhaushalt zu erwarten.
In der landwirtschaftlichen Praxis bestehen vielfach noch Unsicherheiten bezüglich geeigneter acker- und pflanzenbaulicher sowie pflanzenschützerischer Anpassungsstrategien bei Umstellung auf die konservierende Bodenbearbeitung. Auch die Wahl der jeweils richtigen Bodenbearbeitungs- und Bestelltechnik ist häufig noch nicht durch ausreichende Kenntnisse untermauert. Dieses Fehlen von konkreten Managementstrategien für konservierende Anbausysteme führt dazu, dass diese neuartigen Bestellverfahren trotz ihrer ökonomischen und ökologischen Vorteile oft auf Ablehnung in der landwirtschaftlichen Praxis stoßen, bzw. dass die Umstellung auf diese Verfahren oft mit ökonomischen Einbußen verbunden ist.

Gemeinsam mit mehreren, für die Region typischen Landwirtschaftsbetrieben sollten deshalb im Sinne einer breiten Akzeptanzschaffung auf repräsentativen Ackerflächen im Rahmen von Demonstrationsvorhaben neuartige, umweltentlastende Bestellverfahren im Vergleich zum konventionellen Anbau acker- und pflanzenbaulich bewertet und Problemlösungen dargestellt

werden. Weitere Untersuchungsschwerpunkte bildeten hierbei die Prüfung der Folgewirkungen einer konkreten großflächigen Änderung von Bewirtschaftungsverfahren auf die diffuse Stoffbelastung von Grund- bzw. Oberflächengewässern und auf den Wasserhaushalt bzw. die Wasserretention von Ackerflächen. In Verbindung mit der Erfassung der acker- und pflanzenbaulichen sowie betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen soll damit die Grundlage geschaffen werden für die Entwicklung und Umsetzung von ökonomisch tragfähigen Managementkonzepten für die Landwirtschaft als größtem Flächennutzer zur flächendeckenden und dauerhaften Anwendung von umweltentlastenden, ressourcenschonenden, gleichzeitig ökonomisch tragfähigen und damit zukunftsweisenden Anbau- und Bestellverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe.

2 Standortbedingungen und Versuchsanlage

2.1 Untersuchungsflächen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Naturräume bzw. Bodenregionen Sachsens berücksichtigt (BARTH et al. 1996), und zwar das Mittelsächsische Lößhügelland mit den Flächen Niederstriegis, Littdorf und Lüttewitz, das Leipziger Lößtiefland mit der Fläche Zschortau sowie die unteren und mittleren Lagen des Erzgebirges mit den Flächen Krumhermersdorf und Lippersdorf.

Das Mittelsächsische Lößhügelland weist als Kerngebiet der Lößverbreitung innerhalb des sächsischen Lößgefildes nahezu durchgängig Lößmächtigkeiten von bis zu 20 m Tiefe auf. Die Lößsedimente stammen aus der Weichseleiszeit. Seit dem Neolitikum wird das Gebiet ackerbaulich intensiv genutzt. Weitverzweigte Abtragsbahnen und Dellenfüllungen mit mehreren Metern Mächtigkeit belegen die hohe Erosionsdisposition des Lößsediments seit Inkulturnahme (BERNHARDT et al. 1986a). Charakteristisch ist eine hügelige Reliefbildung. Hierdurch ist die Bodenbildung gekennzeichnet, wobei Bereiche ungestörter Bodenprofile (überwiegend mittlere Hanglagen), erodierte Bereiche (Kuppen und steile Hanglagen) und durch Erosionssediment an Flachhängen und Senken überlagerte Bodentypen auftreten. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,1°C und die mittleren Jahresniederschläge bei 643 mm (Abbildung 7).

Geographisch liegt die Fläche **Niederstriegis** im Einzugsgebiet der Striegis, am südlichen Rand des sächsischen Lößhügellandes. Das Gelände der Untersuchungsfläche mit einer Größe von etwa 70 ha fällt von 270 m ü. NN im Westen auf ca. 220 m ü. NN im Nord-Osten zur Striegis hin ab, von der sie durch einen Waldsaum getrennt ist. Im Bereich des Ober- und Mittelhangs dieser Fläche handelt es sich bei dem Bodentyp um einen Fahlerde-Pseudogley, im tiefer gelegenen Bereich um Braunerde. Die Messparzellen wurden am Mittelhang angelegt (Tabelle 1, Abbildung 1). Die Fläche weist einige ausgeprägte Abflussbahnen auf, in denen auch im Untersuchungszeitraum mehrfach Erosionsrinnen ausgespült wurden. Im Bereich des angrenzenden Waldsaumes traten an mehreren Stellen regelmäßig ausgeprägte Sedimentationsbereiche auf.

Die Fläche **Littdorf** liegt in westlicher Richtung etwa 500 m von der Fläche in Niederstriegis entfernt und ist hinsichtlich der Bodeneigenschaften mit dieser vergleichbar (Tabelle 1, Abbildung 1). Die Fläche umfasst etwa 50 ha und liegt zwischen 257 und 285 m ü. NN.

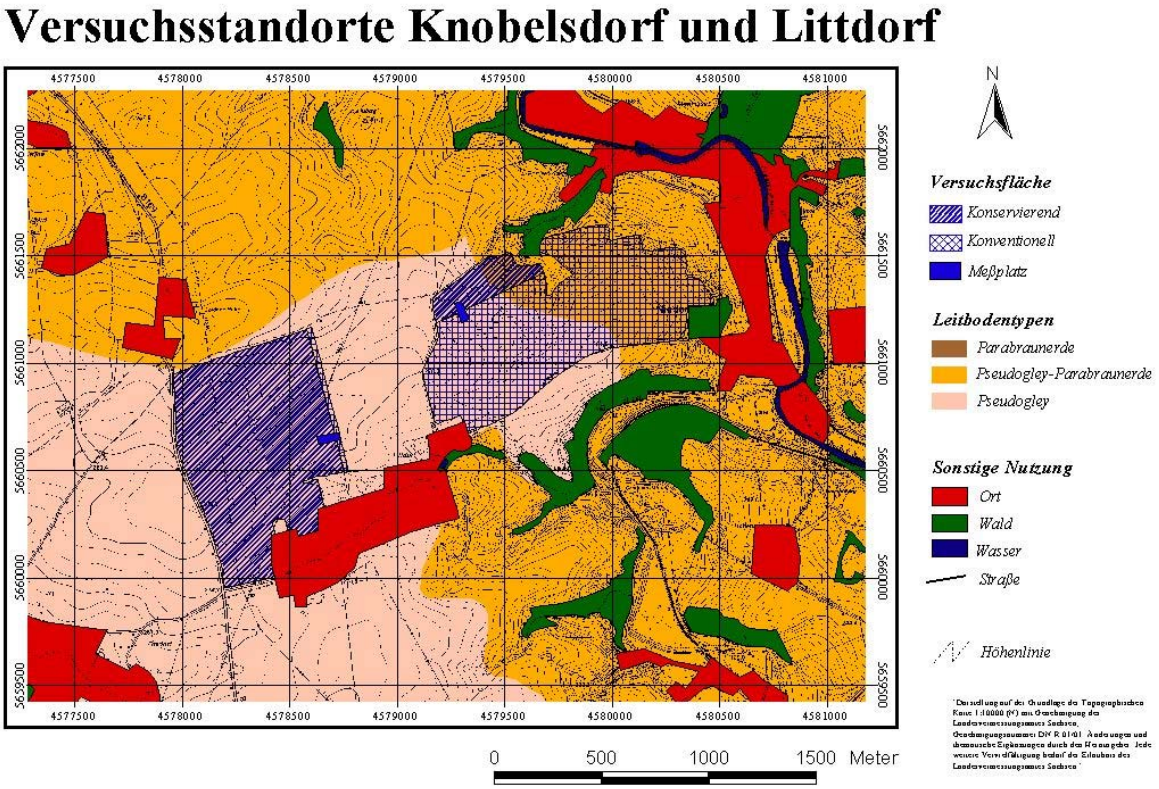

Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen Niederstriegis und Littdorf (Sächsisches Lößhügelland) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf den Untersuchungsflächen

Lüttewitz ist in der „Lommatzscher Pflege“ gelegen. Die Lommatzscher Pflege ist ein seit Jahrhunderten intensiv ackerbaulich genutztes Gebiet und bildet in Sachsen die Region mit der höchsten Ertragsfähigkeit. Die Untersuchungsfläche umfasst etwa 30 ha mit einem Geländeanstieg von Süden nach Norden (von 270 m ü. NN auf 280 m ü. NN) und einer in Ost-West Richtung verlaufenden Senke im südlichen Bereich der Fläche (ca. 250 m ü. NN an der tiefsten Stelle). Auf erodierten Kuppen treten ältere Gesteine (Grauwackenschiefer) bzw. deren Verwitterungsprodukte an die Oberfläche. In diesen Bereichen findet sich als Bodentyp flacher Ranker. Am Mittelhang liegen Parabraunerden-Pseudogleye vor und in den Senken überdeckt sedimentiertes Bodenmaterial ehemalige Parabraunerden (TEIWES 1997). Die Messflächen wurden am Mittelhang am nördlichen Rand der Senke angelegt, da hier über alle Bodenbearbeitungsvarianten hinweg nahezu einheitliche Bodenverhältnisse anzutreffen sind (Tabelle 1, Abbildung 2).

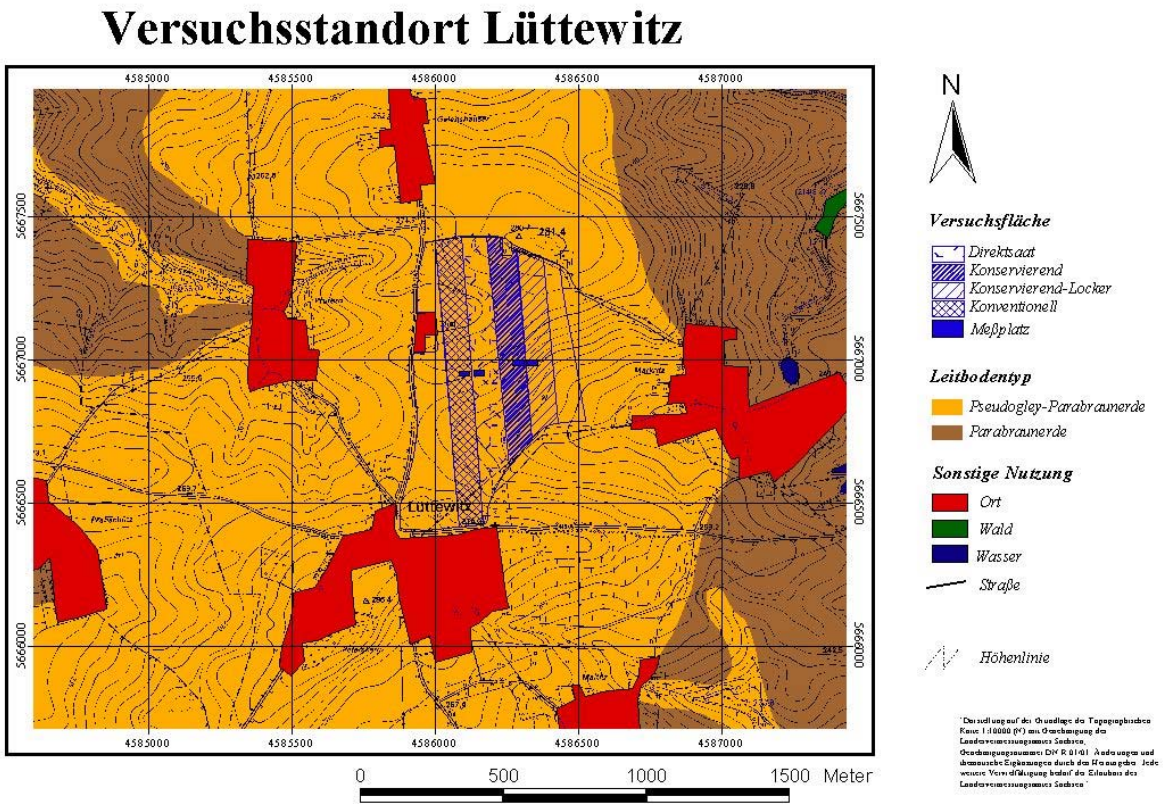

Abbildung 2: Lage der Untersuchungsfläche Lüttewitz (Sächsisches Lößhügelland) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche

Das Leipziger Lößtiefland ist ein Ausläufer des Norddeutschen Tieflandes, das nach Süden hin bis in den Bereich des Lößhügellandes hineinragt. Es handelt sich bei dem Gebiet um eine weite Ebene mit geringem Relief und einzelnen Endmoränenzügen aus der Saalevereisung. Die Grundmoräne der Leipziger Phase bildet mit 8 m Mächtigkeit den Untergrund der Böden. Im Verlauf der Weichseleiszeit wurde der Geschiebelehm mit einer geschlossenen wenn auch gebietsweise geringmächtigen Sandlößdecke von 30 bis 50 cm Mächtigkeit und örtlich auch mehr, überdeckt. Die unterschiedliche Tiefe der Deckschicht und der Geschiebelehm sind die Ursache für eine ausgeprägte Heterogenität des Unterbodens (BERNHARDT et al. 1986a, HEILMANN et al. 1995). Im mitteldeutschen Trockengebiet gelegen ist das Klima kontinental beeinflusst (SCHUMANN & MÜLLER 1995, HEILMANN et al. 1995), wobei die langjährige Niederschlagssumme lediglich 547 mm erreicht, bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,8°C (Abbildung 6).

Die Fläche **Zschortau** liegt nördlich der Stadt Leipzig. Mit einer Höhenlage von 108 bis 111 m ü. NN ist die Untersuchungsfläche als eben anzusehen. Entstehungsbedingt ist die Fläche im Unterboden ausgeprägt heterogen. Durch den hier anstehenden Geschiebelehm wird eine wasserstauende Schicht gebildet, so dass die Fläche je nach Tiefe des Geschiebelehms Stauwassermerkmale aufweist, mit entsprechendem Auftreten von

Pseudogleyen oder Parabraunerde-Pseudogleyen (TEIWES 1998). Die auf dieser Fläche vorliegenden Bodeneigenschaften sind in der Tabelle 1 und Abbildung 3 dargestellt.

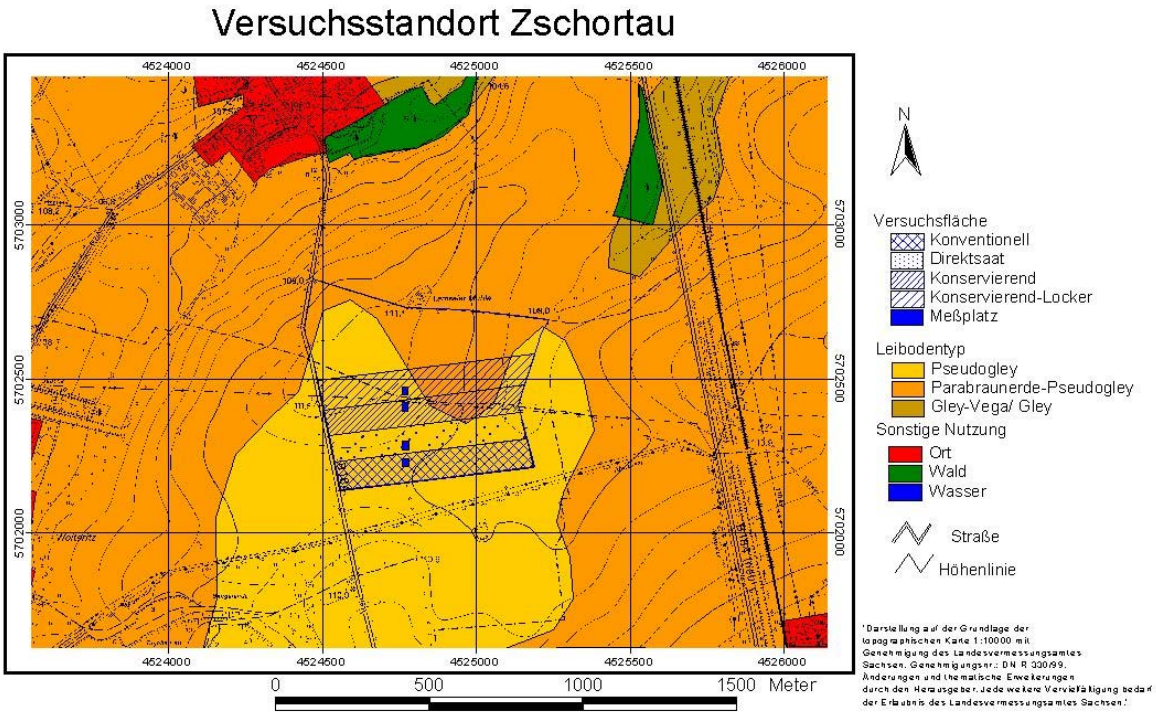

Abbildung 3: Lage der Untersuchungsfläche Zschortau (Leipziger Tieflandsbucht) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche

Das Erzgebirge verdankt seinen Namen der mittelalterlichen Bergbautätigkeit in dieser Region. Entstanden ist das Gebirge als Teil der im Tertiär aufgeworfenen Pultscholle bestehend aus metamorphem und magmatischem Gestein. Im östlichen Bereich der unteren und mittleren Lagen des Erzgebirges dominieren im Gesteinsaufbau Para- und Orthogneise. Das Lockermaterial über dem Festgestein stammt im wesentlichen aus der Weichseleiszeit, überwiegend entstanden aus dem Ausgangsgestein durch Frostverwitterung, Soliflukation und Kryoturbation. Je nach Hanglage bildete das unsortierte Gemenge aus Feinanteilen und Steinen unterschiedlich mächtige Deckschichten. Häufig treten vertikal zweigestufte Schichten auf, mit skelettreichem Basisschutt auf dem durch Frostverwitterung aufgelösten Festgestein und einer meist mächtigeren oberen Schicht, dem feinbodenreichen Hauptschutt. Entsprechend dem Ausgangsgestein sind die aus Para- und Orthogneis entstandenen sandiglehmigen Böden als Braunerden ausgebildet (BERNHARDT et al. 1986b, RANK et al. 1999).

Klimatisch zeichnet sich die Region durch eine hohe jährliche Niederschlagssumme von 879 mm bei 6,5°C Jahresmitteltemperatur aus (Abbildung 8).

Die Versuchsfläche **Lippersdorf** liegt im Landschaftsschutzgebiet Saidenbach-Talsperre, im direkten Einzugsgebiet der gleichnamigen Trinkwassertalsperre, von der sie durch einen etwa 50 m breiten Waldsaum getrennt ist. Sie umfasst eine Größe von ca. 30 ha. Die Höhe ü. NN reicht von 445 bis 479 m. Beim Boden handelt es sich um einen flachgründigen (20 bis 50 cm tiefen), sehr steinigen Verwitterungsboden auf Orthogneis (Tabelle 1, Abbildung 4).

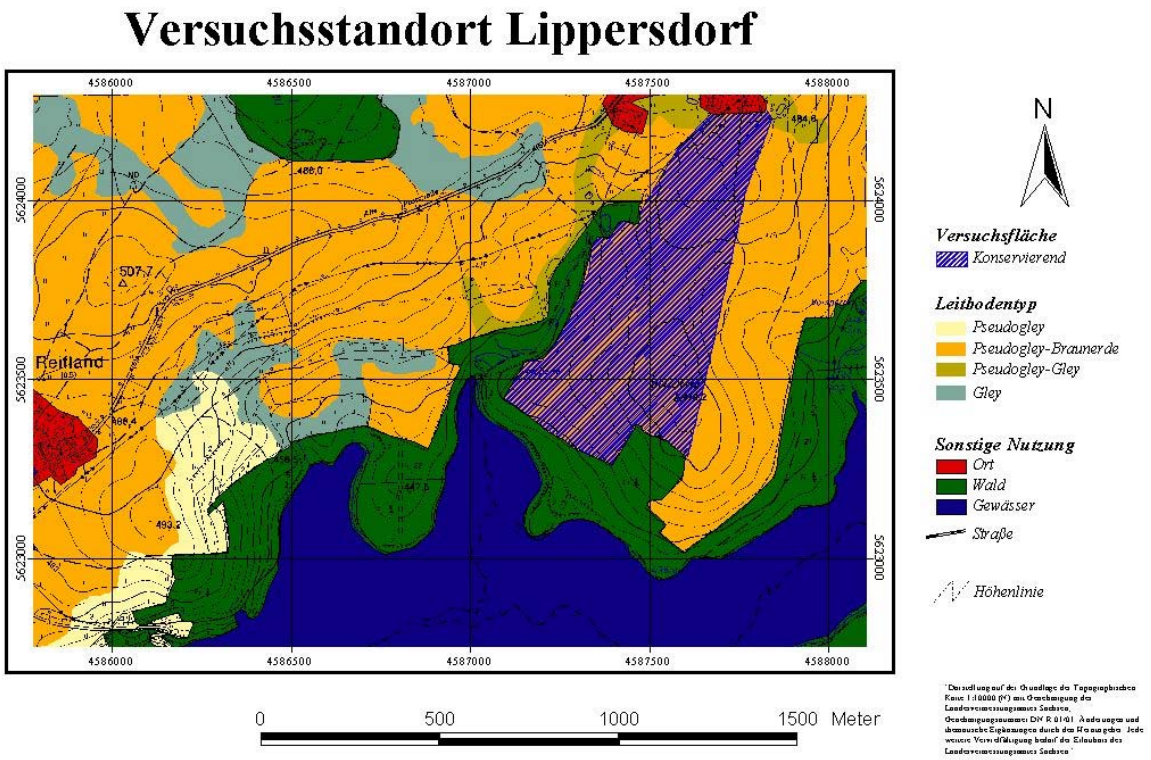

Abbildung 4: Lage der Untersuchungsfläche Lippersdorf (Erzgebirge) und Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche

Die Fläche **Krumhermersdorf** liegt etwa 5 km südlich der Stadt Zschopau und hat eine Größe von etwa 20 ha. Sie fällt von Süd nach Nord von 600 m ü. NN stetig auf 570 m ü. NN ab. Bei dem Boden der Fläche handelt es sich wie am Standort Lippersdorf um einen steinigen, flachgründigen Verwitterungsboden auf Orthogneis (Tabelle 1, Abbildung 5).

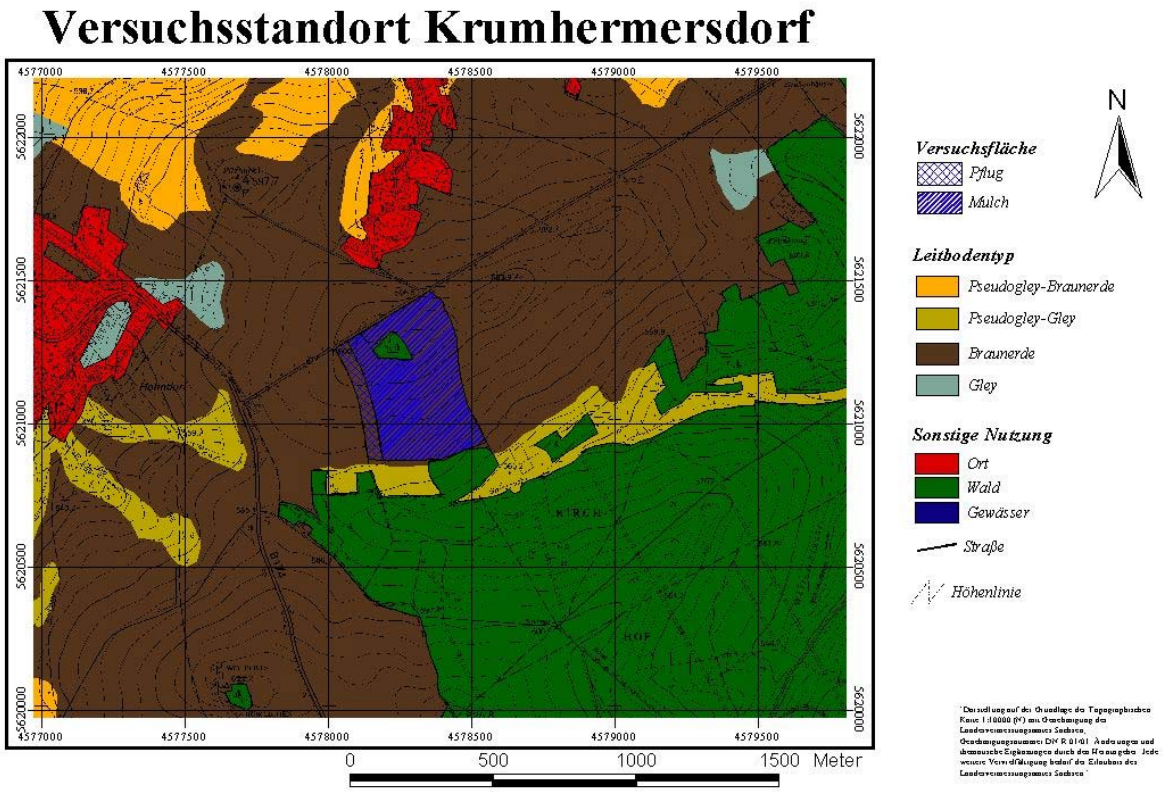

Abbildung 5: **Lage der Untersuchungsfläche Krumhermersdorf (Erzgebirge) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche**

Tabelle 1: **Standorteigenschaften der Versuchsflächen**

Versuchsstandort	Bodentyp	Bodenart	Carbonat-gehalt	Niederschlag (Σ)/Temperatur (∅) (im langjährigen Mittel)	
Niederstriegis Sächs. Lößhügelland	Fahlerde- Pseudogley	Ut3 - Ut4 bis > 100 cm	Carbonatfrei	643 mm	8,1°C
Littdorf Sächs. Lößhügelland	Fahlerde- Pseudogley	Ut3 - Ut4 bis > 100 cm		643 mm	8,1°C
Lüttewitz Sächs. Lößhügelland	Parabraunerde	Ut3 - Ut4 bis > 100 cm		643 mm	8,1°C
Zschortau Leipziger Tiefland	Pseudogley	Uls – Lu bis ca. 50 cm		547 mm	8,8°C
Lippersdorf Erzgebirge	Pseudogley- Braunerde	Sl3 bis 30 cm		879 mm	6,5°C
Krumhermersdorf Erzgebirge	Braunerde	Sl4 - Slu bis 20 cm		879 mm	6,5°C

2.2 Bearbeitungsverfahren und Fruchtfolgeabläufe

Die Untersuchungen wurden in Landwirtschaftsbetrieben unter Praxisbedingungen durchgeführt. Auf allen Versuchstandorten wurden im Vergleich zur konventionellen

Bearbeitung mit dem Pflug verschiedene Formen der konservierenden Bodenbearbeitung mit Mulchsaat (nach Zwischenfruchtanbau bzw. nach Strohdüngung) angelegt. Neben der Bodenbearbeitung variiert die Laufzeit der Versuche (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Versuchsdauer und Fruchtfolgen der Versuchsstandorte

Versuchsstandort	Bearbeitungs-varianten	Geräte (Bearbeitungstiefe [cm])	Versuchsanlage	Fruchtfolge (89/99 bis 00/01)
Niederstriegis Sächs. Lößhügelland	• Konservierend • Konventionell	⇒ Grubber (10 - 20) ⇒ Pflug (25 - 30)	1998 (vorher alles gepflügt)	K-Mais SG W-Raps
Littdorf Sächs. Lößhügelland	• Konservierend • Konventionell	⇒ Grubber (10 - 15) ⇒ Pflug (25 - 30)	1998 (seit 1990 alles konservierend)	WW Triticale ZR
Lüttewitz Sächs. Lößhügelland	• Direktsaat • Konservierend • Konservierend mit Lockerung* • Konventionell	⇒ Direktsaatmaschine ⇒ Grubber (10) ⇒ Grubber (20) mit Tiefenlockerer (40) ⇒ Pflug (27)	1992 (vorher alles gepflügt)	ZR WW WW
Zschortau Leipziger Tiefland	• Direktsaat • Konservierend • Konservierend mit Lockerung* • Konventionell	⇒ Direktsaatmaschine ⇒ Grubber (10) ⇒ Grubber (20) mit Tiefenlockerer (40) ⇒ Pflug (27)	1997 (seit 1992 alles konservierend)	ZR WW WG
Lippersdorf Erzgebirge	• Konservierend • Konventionell	⇒ Grubber (10 - 15) ⇒ Pflug (20)	1999 bis 2000 (vorher alles gepflügt)	S-Mais SG Triticale
Krumhermersdorf Erzgebirge	• Konservierend • Konventionell	⇒ Scheibenegge (10 - 15) ⇒ Pflug (20)	1999 (seit 1993 alles konservierend)	W-Raps WG Erbsen

*: Krumenbasislockerung einmalig in der Fruchtfolge zu Zuckerrüben

Auf der Fläche **Niederstriegis** wurde im Herbst 1998 nach Stoppelbearbeitung und Stallmistausbringung ein ca. 5 ha großes Teilstück nur mit dem Grubber bearbeitet, der Rest der Fläche wurde betriebsüblich gepflügt. In den Folgejahren wurden diese Bodenbearbeitungsvarianten auf der Versuchsfläche durchgehend beibehalten, mit entsprechend fruchtartenspezifischen Bearbeitungszeitpukten (Tabelle 3).

Anders als die Fläche Niederstriegis wurde die Fläche **Littdorf** seit 1990 pfluglos bewirtschaftet. 1998 wurde ein Streifen von 24 m Breite über die gesamte Schlaglänge gepflügt, der große Rest der Fläche wurde weiterhin betriebsüblich konservierend bearbeitet. Diese Bearbeitungsvarianten wurden in den Folgejahren beibehalten. Zeitpunkt konventioneller und konservierender Grundbodenbearbeitung lagen weitestgehend beieinander und wurden praxisüblich und fruchtartenspezifisch durchgeführt (Tabelle 3).

Die Untersuchungsflächen Lüttewitz und Zschortau sind Bestandteil der Bodenbearbeitungsversuche der Südzucker AG (BECKER 1997, WEGENER 2001). Auf beiden

Flächen wurden vier Bearbeitungsvarianten unterschiedlicher Bearbeitungsintensität angelegt. In **Lüttewitz** wurden seit 1992 die Varianten Konventionell, Konservierend, Konservierend-Locker und Direktsaat beibehalten und fruchtartenspezifisch durchgeführt (Tabelle 2 und Tabelle 3). Die Varianten der konservierenden Bodenbearbeitung unterscheiden sich in der Form der Lockerung. In der Variante Konservierend wird auf jede Krumenbasislockerung verzichtet und maximal 10 cm tief gearbeitet, in der Variante Konservierend Locker wird jeweils zur Zuckerrübe mit einem Tiefenmeißel bis auf 40 cm Tiefe gelockert und die Krume jedes Jahr bis zu 20 cm Tiefe bearbeitet. Die Bearbeitungsvarianten der Fläche **Zschortau** entsprechen denen der Fläche Lüttewitz und wurden 1998 auf einer seit 1992 konservierend bewirtschafteten Fläche angelegt (Tabelle 2 und Tabelle 3).
Auf der Fläche **Lippersdorf** wurde 1999 nach Stoppelbearbeitung und Stallmistausbringung betriebsüblich gepflügt. Parallel wurde eine Parzelle mit konservierender Bodenbearbeitung angelegt. Bereits im Jahr 2000 übernahm der Betrieb die Technik der konservierenden Bodenbearbeitung für die gesamte Betriebsfläche und sicherte keine konventionelle Vergleichsvariante mehr ab. Um für die Untersuchungen dennoch eine vergleichende Versuchsanlage auf einem Verwitterungsboden zur Verfügung zu haben, wurde die Fläche Krumhermersdorf in das Versuchsprogramm aufgenommen. Auf der Fläche **Krumhermersdorf** wurde seit 1993 konservierend gewirtschaftet und im Herbst 1999 eine gepflügte Parzelle von 18 m Breite über die ganze Schlaglänge angelegt (Tabelle 2).
Aufgrund des nur kurzen Untersuchungszeitraumes an den Standorten im Erzgebirge wird im Folgenden auf eine generelle eingehende Darstellung der Ergebnisse dieser beiden Standorte verzichtet. Nur bei Vorliegen belastbarer Ergebnisse werden diese auch für diese Standorte dargestellt.

Tabelle 3: Termine von Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Aussaat und Ernte auf den Versuchsstandorten

Versuchs-standort	Jahr/ Fruchtart	Termin: Grundbodenbearbeitung		Aussaat	Ernte
Niederstriegis	99/ Kö-Mais	Konservierend:	15.08.98 und 20.10.98 Grubber	28.04.99	22.10.99
		Konventionell:	05.11.98 Pflug		
	00/ S-Gerste	Konservierend:	29.10.99 und 03.04.00 Grubber	06.04.00	14.08.00
		Konventionell:	05.11.99 Pflug		
	01/ W-Raps	Konservierend:	18.08.00 und 31.08.00 Grubber	31.08.00	02.08.01
		Konventionell:	23.08.00 Pflug		
Littdorf	99/ W-Weizen	Konservierend:	24.09.98 Grubber	28.09.98	03.08.99
		Konventionell:	23.09.98 Pflug		
	00/ Triticale	Konservierend:	13.09.99 Grubber	15.09.99	04.08.99
		Konventionell:	13.09.99 Pflug		
	01/ Zuckerrüben	Konservierend:	27.10.00 Grubber	03.05.01	02.11.01
		Konventionell:	02.11.00 Pflug		
Lüttewitz	99/ Zuckerrüben	Direktsaat:	keine Bearbeitung	10.04.99	18.10.99
		Konservierend:	09.04.99 Grubber		
		Kons.-Locker:	12.08.98 Grubber		
		Konventionell:	29.10.98 Pflug		
	00/ W-Weizen	Direktsaat:	keine Bearbeitung	20.10.99	14.08.00
		Konservierend:	20.10.99 Grubber*		
		Kons.-Locker:	20.10.99 Grubber		
		Konventionell:	19.10.99 Pflug		
	01/ W-Weizen	Direktsaat:	keine Bearbeitung	29.09.00	15.08.01
		Konservierend:	27.09.00 Grubber		
		Kons.-Locker:	27.09.00 Grubber		
		Konventionell:	27.09.00 Pflug		
Zschortau	99/ Zuckerrüben	Direktsaat:	keine Bearbeitung	10.04.99	11.10.99
		Konservierend:	10.04.99 Grubber		
		Kons.-Locker:	25.08.98 und 10.04.99 Grubber		
		Konventionell:	07.11.98 Pflug		
	00/ W-Weizen	Direktsaat:	keine Bearbeitung	13.10.99	08.08.00
		Konservierend:	13.10.99 Grubber		
		Kons.-Locker:	13.10.99 Grubber		
		Konventionell:	13.10.99 Pflug		
	01/ W-Gerste	Direktsaat:	keine Bearbeitung	21.09.00	18.07.01
		Konservierend:	21.09.00 Grubber		
		Kons.-Locker:	21.09.00 Grubber		
		Konventionell:	20.09.00 Pflug		

2.3 Witterungsbedingungen in den Untersuchungsjahren

Die in den Abbildung 6 bis Abbildung 8 dargestellten Temperatur- und Niederschlagsdaten stammen von den Klimamessstationen Spröda, Nossen und Forchheim der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die Station Spröda liegt in der Leipziger Tieflandsbucht und ist somit repräsentativ für den Standort Zschortau, die Station Nossen im Sächsischen Lößhügelland ist repräsentativ für die Standorte Littdorf, Niederstriegis und Lüttewitz. Die Station Forchheim im Erzgebirge kann für die Standorte Lippersdorf und Krumhermersdorf herangezogen werden.

Aus der Darstellung der langjährigen (20 Jahre, Basis: Jahr 2000) Temperaturmittel und Niederschlagsummen werden die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen der drei Untersuchungsräume deutlich. Im Vergleich zum langjährigen Mittel zeigen sich in allen drei Untersuchungsräumen mehrere überdurchschnittlich trockene und feuchte Phasen. Die Monatsmittel der Temperatur lagen im Untersuchungszeitraum i.d.R. über den langjährigen Mittelwerten.

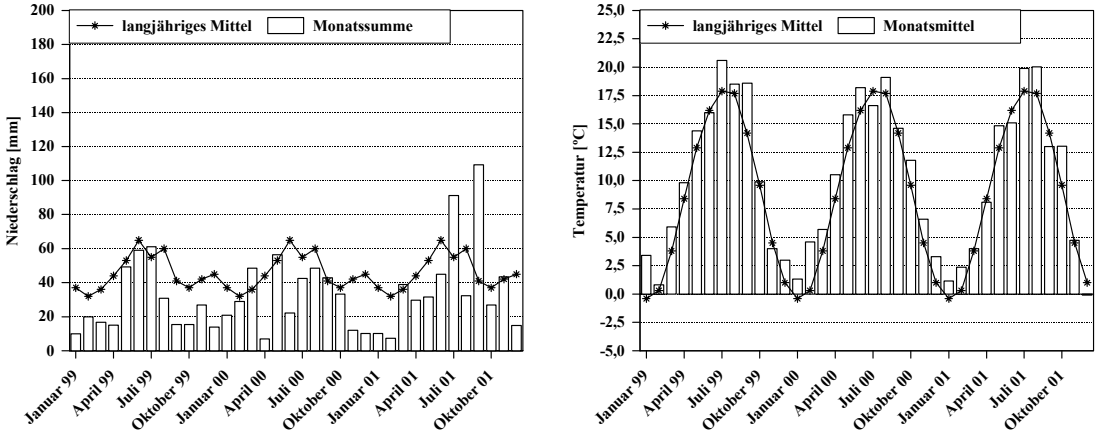

Abbildung 6: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Spröda (Leipziger Tiefland) im Untersuchungszeitraum

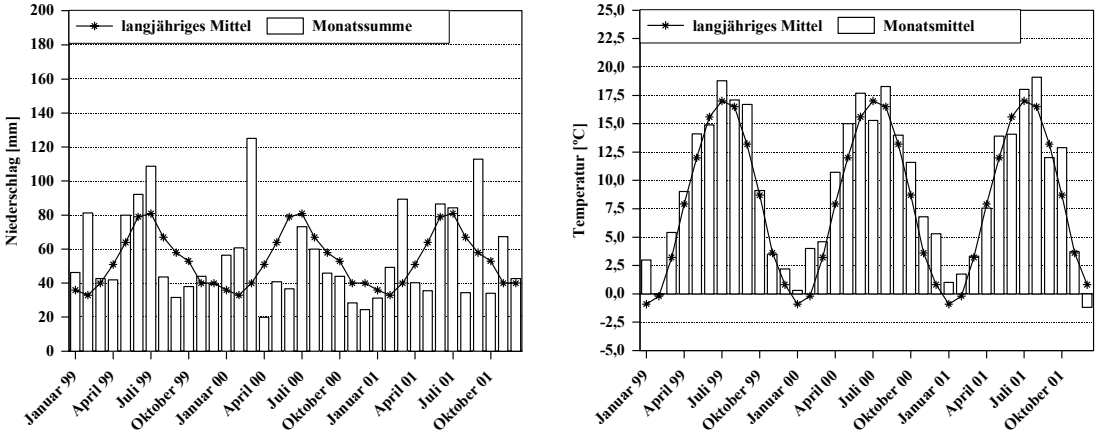

Abbildung 7: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Nossen (Sächsisches Lößhügelland) im Untersuchungszeitraum

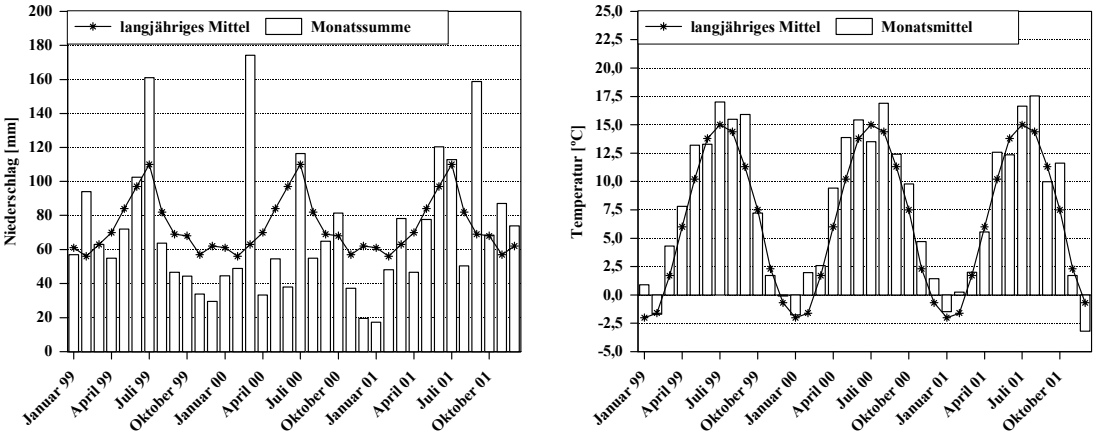

Abbildung 8: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Forchheim (Erzgebirge) im Untersuchungszeitraum

3 Untersuchungsmethoden

Im Folgenden erfolgt eine kurze, z.T. stichwortartige Darstellung der verwendeten Untersuchungsmethoden. I.d.R. handelt es sich dabei um Standardmethoden. Wo dies nicht der Fall ist, erfolgt eine ausführlichere Methodenbeschreibung.

3.1 Bodenphysikalische Kennwerte

Textur: Bestimmung der Korngrößenverteilung nach dem Sieb- und Pipettverfahren nach KÖHN (DIN 19683, Teil 2) (KA 4 1996).

Bodenfeuchte (in Gew.-%): gravimetrisch nach DIN ISO 11465 (DIN 2000).

Die nachfolgend aufgeführten bodenphysikalischen Kenngrößen Trockenrohdichte, Porenvolumen, pF-Kurven und gesättigte Wasserleitfähigkeit wurden anhand von Stechzylinderproben aus Profilgruben in mindestens fünf Tiefenstufen durchgeführt. Die Wiederholungszahl lag 1999 bei 6 und wurde 2001 auf zehn erhöht.

Trockenrohdichte (d_B): an ungestörten Proben (HARTGE & HORN 1992) nach E DIN ISO 11272 (DIN 2000).

Porenvolumen (PV): Berechnet aus der Trockenrohdichte (d_B)nach

$$PV = 1 - \frac{d_B}{d_F},$$

wobei d_F = 2,65 g * cm^{-3} die Dichte der festen Bodensubstanz ist (HARTGE & HORN 1992).

Porengrößenverteilung und Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung: Ungestörte Proben wurden mit einem definierten Unterdruck (bis pF 1,8) bzw. einem Überdruck (> pF 1,8) entwässert (HARTGE & HORN 1992), und so auf Wassergehalte eingestellt, die einem pF-Wert von 1,8, 2,0, 2,5, 3,0, und 3,2 entsprechen. Für pF 4,2 wurde die Entwässerung an gestörten Proben durchgeführt. Anhand der Desorptionskurve konnte die Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung aufgestellt und die Porenverteilung ermittelt werden. Die Einteilung der Porengrößen- bzw. Saugspannungsbereiche in ökologisch begründete Gruppen erfolgte nach MÜLLER et al. (1970) und der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4 1996).

Gesättigte Wasserleitfähigkeit: Zur Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit wurden mit Hilfe von Stechzylindern ungestörte Bodenproben entnommen. Da sich anhand der Messungen aus dem ersten Untersuchungsjahr gezeigt hatte, dass das Stechzylindervolumen von 100 cm^3 und sechs Wiederholungen je Tiefenstufe nicht ausreichen, um die spezifischen Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten darzustellen (insb. Makroporenfluss), wurden zur abschließenden Beprobung in jeder Bodenbearbeitungsvariante und Tiefenstufe 12 Stechzylinder mit einem Volumen von 250 cm^3 entnommen.

Die Stechzylinder wurden im Wasserbad aufgesättigt. Die Wasserleitfähigkeit (kf) der gesättigten Proben wurde dann entsprechend der Methodenbeschreibung bei HARTGE & HORN (1992) durch das Anlegen einer Saugspannung an die Zylinder und das Auffangen der perkolierten Wassermenge in einer definierten Zeit bestimmt.

Makroporendichte: Mit einer Bohrsonde (Durchmesser: 8,5 cm) wurden Bohrkerne bis in 50 cm Bodentiefe in 5 Schritten von 10 cm entnommen. Nach jeder Bohrung wurden die Makroporen an der Bruchstelle des Bohrkernes auf Folien übertragen und die nächste Tiefenstufe in demselben Bohrloch entnommen. Vor jeder Bohrung wurden an der Bodenoberfläche auslaufende Makroporen ebenfalls auf Folien übertragen. In jeder Bodenbearbeitungsparzelle wurden 10 Bohrungen in jeweils 5 Tiefenstufen durchgeführt. Die auf die Folien übertragenen Makroporen wurden anschließend hinsichtlich ihres Durchmessers und ihrer Anzahl ausgewertet (vgl. UHLIG 2001).
Aggregatstabilität: Die Bestimmung erfolgte im Naßsiebverfahren nach MURER ET AL. (1993). Die Proben wurden jeweils aus der Oberkrume (0-5 cm) entnommen und lufttrocken gesiebt. Zur Analyse wurden Aggregate mit einer Größe von 1 bis 2 mm verwendet.

Die Darstellung der bodenphysikalischen Parameter erfolgt entsprechend der Probenahmehorizonte in enger vertikaler Auflösung. Der Übersichtlichkeit halber, werden die Horizonte i.d.R. wie folgt eingeteilt und bezeichnet (Tabelle 4):

Tabelle 4: Einteilung und Bezeichnung der Probenahmehorizonte für die bodenphysikalischen Untersuchungen

Probenahmebereich	Tiefe	Bezeichnung
Oberkrume	0-10 cm	OK
Mittelkrume	10-20 cm	MK
Unterkrume	20-30 cm	UK
Krumenbasis	30-35 cm	KB
Unterboden	45-50 cm	UB

3.2 Bodenchemische Kennwerte

Die Probenahme zur Bestimmung der bodenchemischen Kennwerte erfolgte mit Hilfe eines halbautomatischen Bohrgerätes. In jeder Parzelle wurden drei Mischproben, bestehend aus jeweils fünf Einstichen entnommen. Die Entnahme erfolgte in einem Bereich nahe der Messparzellen für die bodenphysikalischen und bodenphysikalischen Parameter. Zusätzlich wurden die Proben vertikal unterteilt. Im Krumenbereich erfolgte eine Unterteilung in die Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-20 und 20-30 cm. Erfolgte eine Beprobung im Unterboden, so wurden die Tiefenstufen 30-60 und 60-90 cm beprobt.
Für die Bestimmung der Nmin-Gehalte wurde je Parzelle nur eine Mischprobe aus fünf Einstichen entnommen. Die Probenahme erfolgte in enger zeitlicher Auflösung (vier- bis sechswöchig). Ein vertikale Unterteilung der Proben aus dem Krumenbereich erfolgte nicht.
Die Analyse der verschiedenen Parameter wurde wie folgt durchgeführt:

Phosphor $P_{(DL)}$: VDLUFA MB I A 6.2.1.2 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)
Kalium $K_{(DL)}$: VDLUFA MB I A 6.2.1.2 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)

Magnesium $Mg_{(CaCl_2)}$: VDLUFA MB I A 6.2.4.1 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)
pH-Wert ($CaCl_2$): VDLUFA MB I A 5.1.1 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)
Organische Bodensubstanz: Organischer Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t) wurden durch die trockene Verbrennung im reinen Sauerstoffstrom bei 950°C aus dem Boden freigesetzt (Elementaranalyse) DIN ISO 10694 (DIN 2000). Als Analysegerät dient der Elementaranalysator CHN–1000 von der Firma LECO. Da die untersuchten Böden kein Carbonat enthielten, wurde vor der Analyse keine Carbonatentfernung durchgeführt. Der ermittelte Kohlenstoff gilt als organischer Kohlenstoff.
Carbonat $CaCO_3$: VDLUFA MB I A 5.3.1 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)
N_{min}: VDLUFA MB I A 6.1.3.2 (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991)
N-Gehalt der Bodenlösung: Zur Ermittlung des N-Gehaltes der Bodenlösung (Nitrat und Ammonium) wurde Bodenlösung mit Hilfe von keramischen Saugkerzen entnommen. Je Parzelle wurden drei Saugkerzen in die Tiefenstufe 90 cm eingebaut. In den Saugkerzen wurde mit Hilfe einer Vakuumpumpe eine Saugspannung von 200 cm WS (entspr. pF 2,3) angelegt. Die Saugkerzen verfügten über einen integrierten Sammelbehälter, so dass einmal gewonnene Bodenlösung nicht wieder an den Boden abgegeben wurde. Im Zeitraum schnell bzw. langsam sickerfähigen Wassers (bis pF 2,3) wurden die Saugkerzen einmal wöchentlich entleert und erneut Saugspannung angelegt. Der N-Gehalt der gewonnenen Bodenlösung wurde im Labor entsprechend der VDLUFA-Standardmethoden analysiert (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991). Die Entnahme von Bodenlösung erfolgte nur in den Jahren 2000 und 2001 und nur am Standort Lüttewitz.
Die Erfassung der P-Gehalte in der Bodenlösung erschien nicht sinnvoll, da aufgrund der Materialeigenschaften der keramischen Saugkerzen mit einer Interaktion zwischen dem Keramikmaterial und dem Phosphor zu rechnen ist.

3.3 Bodenbiologische Kennwerte

Die mikrobiologischen Untersuchungen des Bodens, bestimmt mit der Infrarot-Gasanalyse anhand der abgegebenen CO_2-Menge nach HEINEMEYER et al. (1989), umfassten die quantitativen Kennwerte mikrobielle Biomasse und basale CO_2-Respiration und die ökophysiologischen Parameter metabolischer Quotient und C_{mic}:C_{org}-Verhältnis (ALEF 1991, SCHINNER et. al 1993). Der Probenumfang belief sich auf vier Wiederholungen aus je zwei Mischproben (n = 4).
Mikrobielle Biomasse (C_{mic}): basierend auf der Substrat-Induzierten Respiration (ANDERSON & DOMSCH 1978). Sie wird angegeben in [$\mu g\ C_{mic} * g^{-1}$ TS].
Basale CO_2-Respiration als CO_2-Abgabe des Bodens ohne Zusatz organischer Substanzen, angegeben in $\mu g\ CO_2\text{-}C * g^{-1}$ TS $* h^{-1}$.

Metabolischer Quotient (qCO_2): Berechnet aus dem Verhältnis der basalen CO_2-Respiration zur mikrobiellen Biomasse, wobei gilt:

$$qCO_2 = \frac{\text{basale } CO_2 - \text{Respiration}}{C_{mic}} \times 1000$$

Der qCO_2 wird angegeben in ng CO_2-C * μg^{-1} C_{mic} * h^{-1}.

C_{mic}:C_{org}-Verhältnis [%], als prozentualer Anteil des mikrobiellen Biomasse-C bezogen auf den gesamten organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens.

Regenwurmbesatz und -artenspektrum wurden durch eine Kombination der Handsortierung (1/8 m²; 20 cm Tiefe) mit anschließendem Formalinaustrieb (4 bis 5 l einer ca. 1,8 %-igen Formalinlösung) erfasst (EDWARDS & BOHLEN 1996).
Grundlage für die Bestimmung der Tiere waren die Bestimmungsschlüssel von GRAFF (1953) und SIMS & GERARD (1985), die Nomenklatur folgt EASTON (1983).
Das Artenspektrum wurde aufgegliedert in die Individuendominanz der Arten (BALOGH 1958, MÜHLENBERG 1993)

$$D_i = \frac{\text{Individuenzahl der Art i der Artengemeinschaft}}{\text{Gesamtzahl der Individuen der Artengemeinschaft}} * 100$$

Klassifikation der Dominanz nach ENGELMANN (1978):

Hauptarten:	eudominant	32 – 100 % (E)
	dominant	10 – 31,9 % (D)
	subdominant	3,2 – 9,9 % (SD)
Begleitarten:	rezedent	1,0 – 3,1 % (R)
	subrezedent	0,32 – 0,99 % (SR)
	sporadisch	unter 0,32 % (SP)

3.4 Acker- und pflanzenbauliche Erhebungen

Feldaufgang: Auszählung (mind. vier Wiederholungen je Variante) der aufgelaufenen Pflanzen mit Zählrahmen (0,25 m²) in Getreide und Raps bzw. Auszählung einer definierten Strecke in der Reihe bei Reihenkulturen (Zuckerrüben, Mais). Umrechnung auf Quadratmeter- bzw. Hektarbasis.
Unkrautbesatz: Auszählung (mind. zehn Wiederholungen je Variante) der Unkräuter und Ungräser mit 0,1 m² Zählrahmen (Göttinger Rahmen) und Umrechnung auf Quadratmeterbasis.
Krankheiten und Schädlinge: Die Bonitur von Pilzkrankheiten sowie Blattläusen und Getreidehähnchen in Getreide erfolgte bei offensichtlichem Befall: An jeweils 50 Pflanzen je Variante wurden die oberen 3 Blattetagen und ggf. die Ähre auf Krankheits- und Schädlingsbesatz bonitiert.

Zur Bestimmung des Fusariumbefalls erfolgte die Bonitur des Anteils der Ähren mit dem Symptom der partiellen Taubährigkeit an den Gesamtähren durch Auszählung in 0,1 m²-Rahmen in 10 Wiederholungen. Nach der Ernte wurden Kornproben auf Toxingehalte (Deoxynivalenol - DON) untersucht. Hierzu wurde ein DON-ELISA verwendet.

Ertrag und Qualität. Die Ermittlung des Ertrages erfolgte i.d.R. durch Parzellendrusch (10 Wiederholungen) bzw. Handbeerntung (Zuckerrüben, Mais) (4 Wiederholungen). Zusätzlich wurden Erträge mit Hilfe einer Ertragserfassungseinrichtung im Mähdrescher ermittelt und teilweise durch Beerntung und Wägung der gesamten Parzelle.

An Ernteproben erfolgte die Analyse von Inhaltsstoffen (N, P, K) nach VDLUFA Standardmethoden (VDLUFA-Methodenvorschriften 1991).

Wurzellängendichte (WLD): Die Wurzellängendichte wurde mit Hilfe der Profilwandmethode sowie mit Hilfe der Bohrkernmethode bestimmt (BÖHM 1978).

Bei der Profilwandmethode erfolgte an einem freigegrabenen Profil von 80 x 100 cm, nachdem ca. 0,5 cm Boden von der Wand abgespült wurden die Zählung der aus der Profilwand austretenden Wurzeln in einem Raster von 5 x 5 cm. In jeder Variante wurden nach der ersten Zählung weitere 20 cm Boden abgegraben und eine zweite Zählung durchgeführt. Anschließend erfolgte die rasterbezogene Umrechnung in die WLD.

Bei der Durchführung der Bohrkernmethode kam eine Rammsonde (Durchmesser: 6,5 cm) zum Einsatz. Jeweils zwei Bohrkerne wurden nach Tiefenstufen getrennt zu einer Mischprobe zusammengefasst. Im Jahr 1999 wurden je Variante vier Wiederholungen entnommen, im Jahr 2000 wurde die Wiederholungszahl auf sechs erhöht. Die Tiefenstufen lagen bei 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-100, 100-120 und 120-150 cm.

Die Proben wurden bis zur weiteren Bearbeitung bei -18°C tiefgekühlt. Anschließend wurden mit einem feinen Sieb unter einem Wasserstrom die Wurzeln vom Boden getrennt und in Konservierungslösung überführt. Die Bestimmung der WLD erfolgte nach BÖHM (1978) durch Zählung der Schnittpunkte der Wurzeln mit einem Raster und anschließender Umrechnung auf das entnommene Bodenvolumen.

Mulchbedeckung: Erfasst wurden die Schnittpunkte von Pflanzenresten an der Bodenoberfläche mit Markierungen auf einer über den Boden gespannten Schnur (WINNIGE et al. 1998). Auf der Schnur befanden sich in Abständen von 15 cm 100 ca. 3 mm breite Markierungen. Jeder Schnittpunkt entspricht somit einem Prozentpunkt Mulchbedeckung. Es wurde jeweils fünf bzw. zehn Wiederholungen je Variante gezählt.

3.5 Bodenfeuchtemessungen

Bodenwassergehalt: Bestimmung auf allen Standorten mit Lößbedeckung mit Time-Domaine-Reflektrometrie (TDR) (TOPP et al. 1980) in 0-80 cm Bodentiefe in wöchentlichen Intervallen zwischen Aussaat und Ernte der Feldkulturen. Die Messung erfolgte in Kunststoffröhren, die jeweils nach der Aussaat in den Boden eingebaut wurden, mit Hilfe einer Messsonde (Fa. IMKO), welche in das Rohr eingeführt werden konnte.

Bodenwasserspannung: Messung durch Tensiometrie mit Tensiometern aus P-80-Material (HARTGE UND HORN 1992) in den Bodentiefen 15, 30, 45, 60, 80 und 100 cm in wöchentlichen Intervallen zwischen Aussaat und Ernte der Feldkulturen.

3.6 Beregnungssimulationen, Infiltrations- und Bodenabtragsmessungen

Beregnungssimulationen: Simulationen von Starkniederschlägen wurden mit Hilfe einer Kleinberegnungsanlage (1 m² Beregnungsfläche) durchgeführt. Die Regenmenge und -intensität wurde über eine schwenkbare Flachstrahldüse (Typ VeeJet 80/100) gesteuert. Gewählt wurde eine Niederschlagsmenge von 38 mm mit einer Beregnungsintensität von 1,9 $mm*min^{-1}$ und einer Dauer von 20 Minuten. Dies entspricht für die Untersuchungsgebiete etwa einem Niederschlagsereignis mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 20 Jahren (SCHMIDT et al. 1996). Die Beregnungen wurden auf allen geneigten Versuchsflächen im Zeitraum zwischen der Aussaat der Kulturpflanzen und dem Bestandesschluss durchgeführt.
Infiltrations- und Bodenabtragsmessungen: Während der Beregnungssimulationen wurde minütlich das oberflächlich abfließende Wasser und der abgespülte Boden aufgefangen. Aus der Differenz zwischen Beregnungsmenge und Oberflächenabfluss wurde die Infiltrationsrate bestimmt. Der Bodenabtrag wurde ebenfalls minütlich ermittelt (NITZSCHE et al. 2001).

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten wird durch die Tatsache erschwert, dass bei der Versuchsanlage keine echten Wiederholungen verfügbar waren, sondern alle Versuche in Großparzellen angelegt wurden.
Wo immer möglich, wurden bei der Beprobung innerhalb der Großparzellen mehrere Stichproben entnommen.
Die Messplätze in den Parzellen wurden so gewählt, dass eine möglichst große Übereinstimmung der bekannten Bodeneigenschaften gewährleistet war. Jedoch kann, wie dies für Großparzellenversuche die Regel ist, nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden, dass gemessene Effekte auch auf Standortunterschiede zurückzuführen sind. Wenn Anlass zu dieser Vermutung bestand, ist dies bei der Ergebnisdarstellung erwähnt.
Es wurden jeweils nur die Daten der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten eines Standortes miteinander verrechnet.
Die Daten wurden mit dem Statistikpaket SPSS zunächst hinsichtlich ihrer Verteilung und Varianzhomogenität überprüft. Lagen Normalverteilung und Varianzhomogenität vor, folgte eine Varianzanalyse. Wurden diese Bedingungen nicht erfüllt erfolgte eine Verrechnung mit nicht parametrischen Tests (KÖHLER et al. 1996).

3.8 Modellierung der Bodenerosion

Die Modellierung der Bodenerosion wurde für Einzugsgebiete bzw. für Teileinzugsgebiete mit dem Modell EROSION 3D durchgeführt. Bei dem Modell EROSION 3D handelt es sich um ein prozessorientiertes, physikalisch begründetes, computergestütztes Modell zur Simulation der Erosion durch Wasser einschließlich des Eintrages in das Gewässernetz. Das Modell zeichnet sich aus durch (SCHMIDT ET AL. 1999):

- eine ereignisbasierte Prozessbeschreibung,
- eine Prognose von On-site- und Off-site-Effekten (Erosion/Deposition, Sediment- und Stoffeintrag in Oberflächengewässer),
- eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung,
- die Prognose von Langzeiteffekten,
- wenige, flächenhaft verfügbare Eingabeparameter,
- eine einfache Handhabung (graphische Benutzeroberfläche, Hilfefunktionen),
- die Übertragbarkeit auf andere Standorte.

Das Modell bildet die Einflüsse der Bodennutzung und -bearbeitung auf das Ausmaß der Erosion als Funktion der folgenden, zeitlich veränderlichen Größen ab:

- Lagerungsdichte,
- Gehalt an organischer Substanz,
- Anfangswassergehalt,
- Erosionswiderstand,
- Oberflächenrauhigkeit,
- Bedeckungsgrad.

Diese Größen sind, neben Angaben zur Topographie, zur Landnutzung usw. für Modellierungen mit EROSION 3D als Parameter einzugeben. Sie sind, sofern keine Analysendaten für die zu modellierende Fläche bzw. das zu modellierende Einzugsgebiet vorliegen, dem Handbuch EROSION 2D/3D zu entnehmen (SCHMIDT ET AL. 1996). Als feste, von der Bearbeitung unbeeinflusste Materialeigenschaft der Böden geht außerdem die Korngrößenverteilung in das Modell ein.

Es existieren zwei Varianten des Modells: EROSION 2D für Einzelhänge und EROSION 3D für Einzugsgebiete. In beiden Fällen beruht die Bodenabtragsschätzung auf allgemein übertragbaren physikalischen Gesetzen der Energie-, Impuls- und Massenerhaltung z. B. aus der Strömungslehre (SCHMIDT 1996). EROSION 2D/3D gliedert sich in ein Erosions- sowie ein Infiltrationsmodell. Hierdurch werden die auf einer Bodenoberfläche ablaufenden, sich gegenseitig beeinflussenden Prozesse des Wasserabflusses (bestimmt durch Bodenart, Bodenstruktur, Bedeckung, Hangneigung usw.) und der Wasserversickerung erfasst.

Tabelle 5: **Eingabeparameter sowie Datenverfügbarkeit für die Wassererosionsabschätzung mit EROSION 2D/3D**

Eingabeparameter	Quelle***	Datenverfügbarkeit	Auflösung	Nutzbarkeit
Niederschlagsdaten: - Einzelniederschlag - Niederschläge eines Referenzjahres*	a)-eigene Aufzeichnungen b)-DWD c) Sachsen: Parameterkatalog im Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT ET AL. 1996)	a) hoher Messaufwand b) Ang. des DWD flächendeckend c) flächendeckend	a) abhängig vom Messaufwand b) 5-min-Intensität in mm/min c) 10-min-Intesität in mm/min	a) direkt nach Aufbereitung b) direkt ohne Einschränkung c) direkt
Reliefdaten: - Hanglänge - Hangneigung - Exposition	a) Topographische Karten (1:10.000) b) ATKIS-DGM (BZ: LVA) c) Rasterdaten 10N (BZ: LVA)	a) flächendeckend b) flächendeckend c) flächendeckend	a) Maßstab: 1:10.000 b) 20 m c) entspr. a)	a) E2D: direkt, E3D Umwandlung in Raster-DGM erforderlich b) direkt, Rundungsfehler c) Raster-Vektor-Konvertierung u. Umwandlung in Raster-DGM erforderlich
Bodennutzung	a) ATKIS-DLM 25/ (BZ: LVA) oder b) Rasterdaten 10 N (BZ: LVA) oder c) CIR-Bodennutzungsdaten (BZ: LfUG) oder d) Luft-/Satellitenbilder (BZ: LfUG) oder e) Schlagkarten (BZ: LfL)	a) flächendeckend b) flächendeckend c) flächendeckend d) flächendeckend e) einzelbetrieblich	a) Ackerland, Grünland, Wald etc. b) Ackerland, Grünland, Wald etc. c) Einzelschlag, Fruchtarten d) Einzelschlag, Fruchtarten e) Einzelschlag, Fruchtarten	a) EDBS nach ArcView Shape oder ArcInfo b) Raster-Vektor- Konvertierung erforderlich (GIS-Nachbereitung) c) ggf. Aktualisierung erforderlich d) und e) Digitalisierung u. ggf. Aktualisierung erforderlich
Bodenparameter (abhängig von der Bodenbearbeitung): - Körnung - Lagerungsdichte - C_{org}-Gehalt - Bodenfeuchte - Bedeckungsgrad - Hydr. Rauhigkeit** - Erosionswiderstand** - Korrektur-/Skinfaktor**	- eigene Bodenuntersuchungen und Feld-erhebungen - Parameterkatalog im Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT ET AL. 1996)	grob flächendeckend	- Körnung: feststehend - Lagerungsdichte: veränderlich je nach Bearbeitungsform und -zeitpunkt - Bodenfeuchte: veränderlich im Jahresverlauf - Bedeckungsgrad: veränderlich im Jahresverlauf - Rauhigkeitswert, Erosionswiderstand und Korrektur- /Skinfaktor: veränderlich je nach Bearbeitungsform, Mulchbedeckung usw.	Standort- und ereignisabhängige Zuordnung zu Nutzungseinheiten erforderlich

*: durchschnittliche, regionaltypische Sequenz erosionswirksamer mit einer Intensität von mindestens 0,1 mm/min von Mai bis September

**: experimentell im Rahmen des sächsischen Bodenerosionsmessprogramms auf unterschiedlich bearbeiteten Ackerflächen und für verschiedene Bodenarten ermittelt (s. Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT ET AL. 1996))

***: Datenbezugsquellen (BZ): LVA: Landesvermessungsamt Sachsen; LfUG: Sächsisches Amt für Umwelt und Geologie; LfL: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, ATKIS: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, CIR: Corrected Infrared-Luftbilder, DGM: Digitales Geländehöhenmodell, DLM: Digitales Landschaftsmodell, DWD: Deutscher Wetterdienst, EDBS: Einheitliche Datenbankschnittstelle (Parametererläuterungen s.a. Handbuch EROSION 2D/3D (SCHMIDT ET AL. 1996))

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.

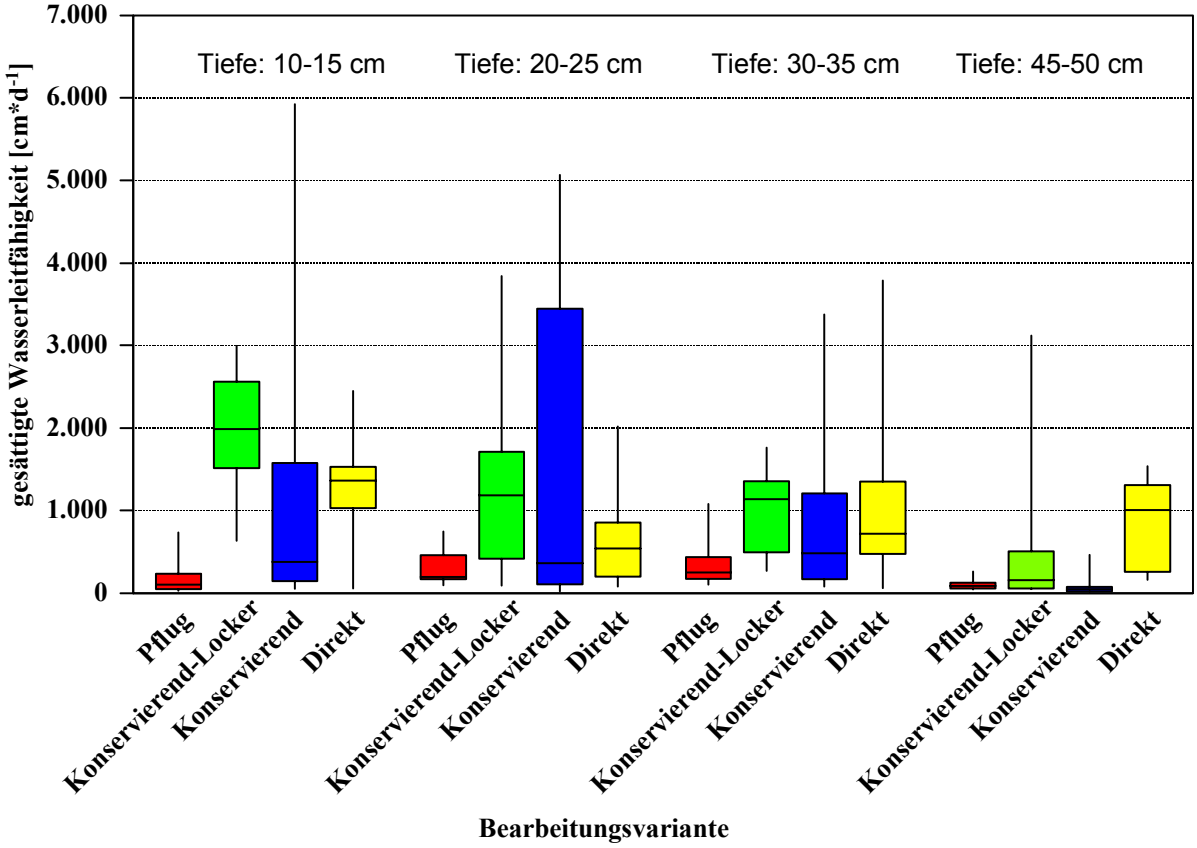

Abbildung 9: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000

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.

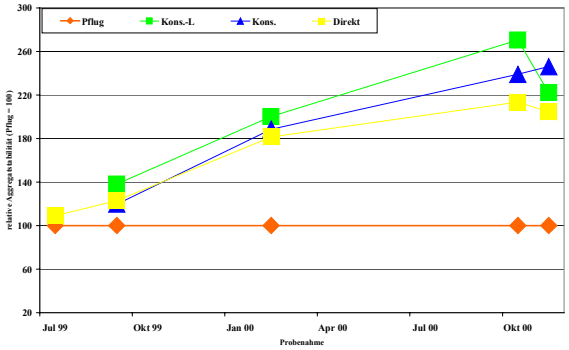

Abbildung 10: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

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.

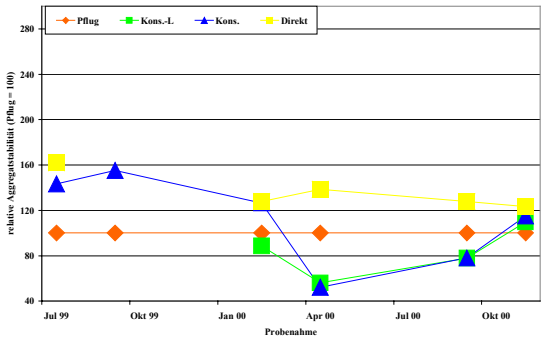

Abbildung 11: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

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.

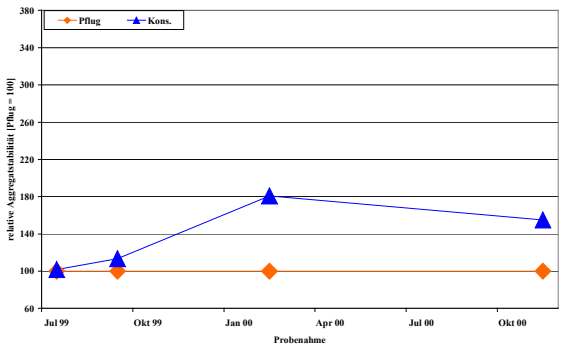

Abbildung 12: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

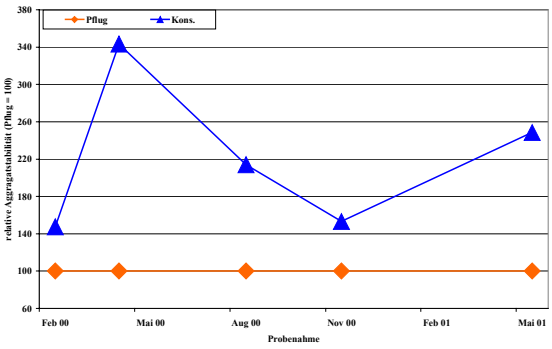

Abbildung 13: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

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).

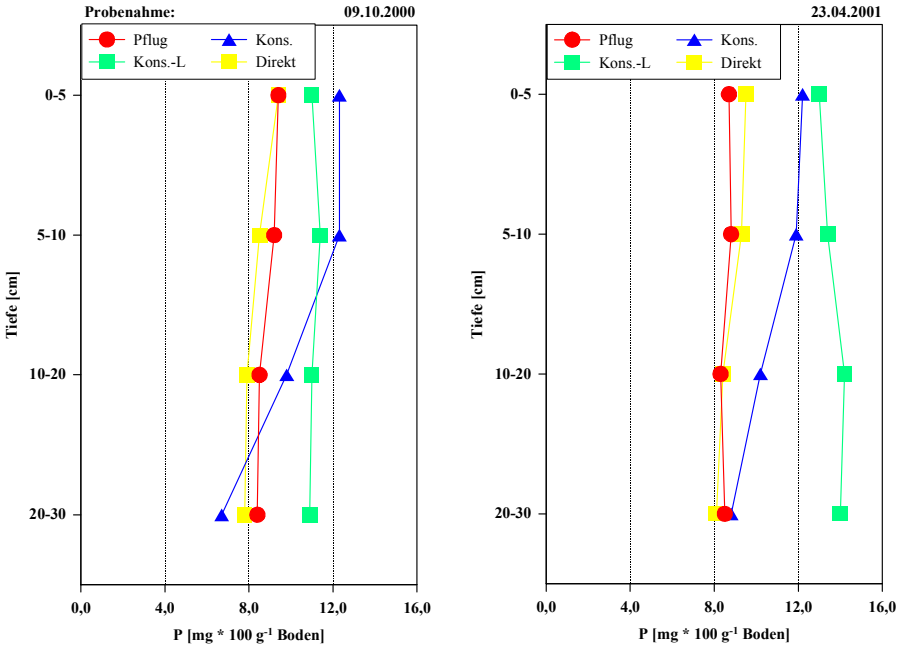

Abbildung 14: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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).

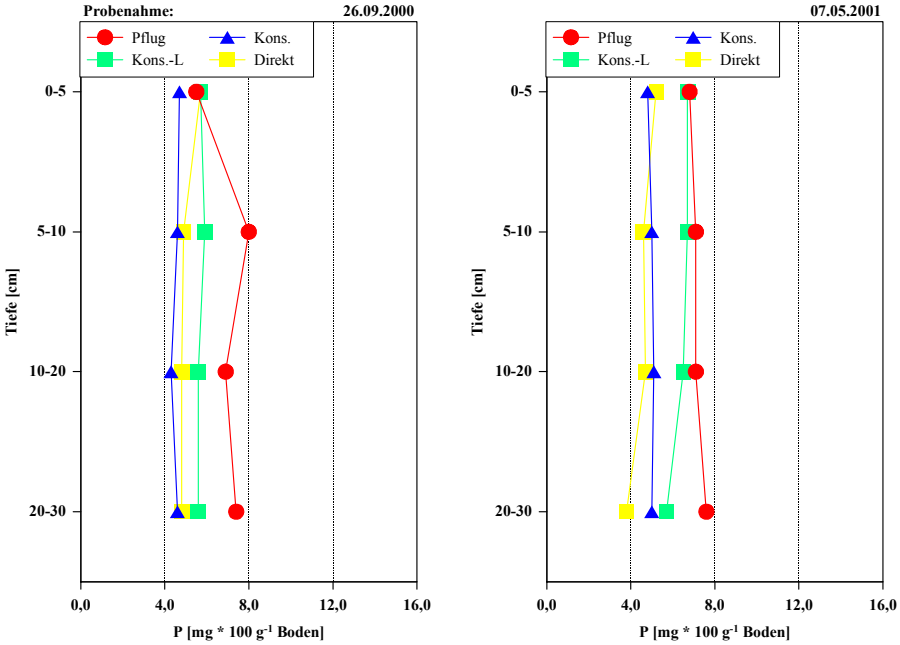

Abbildung 15: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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).

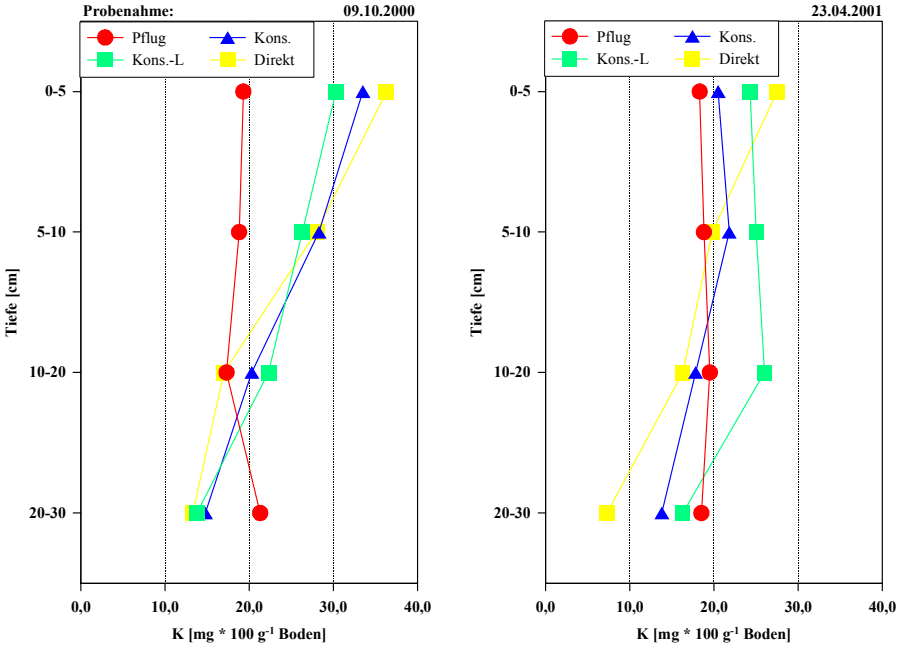

Abbildung 16: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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)

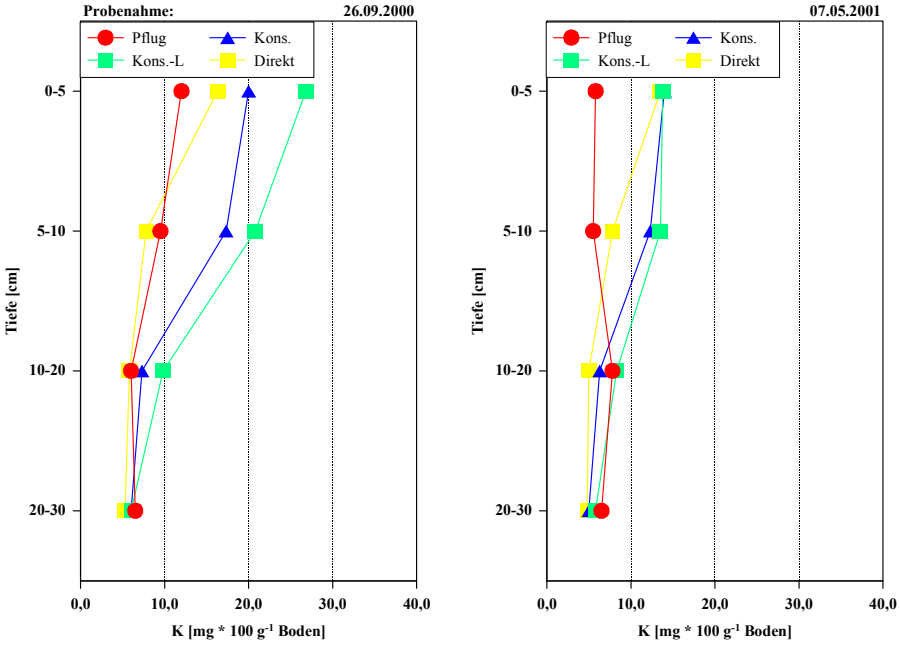

Abbildung 17: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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).

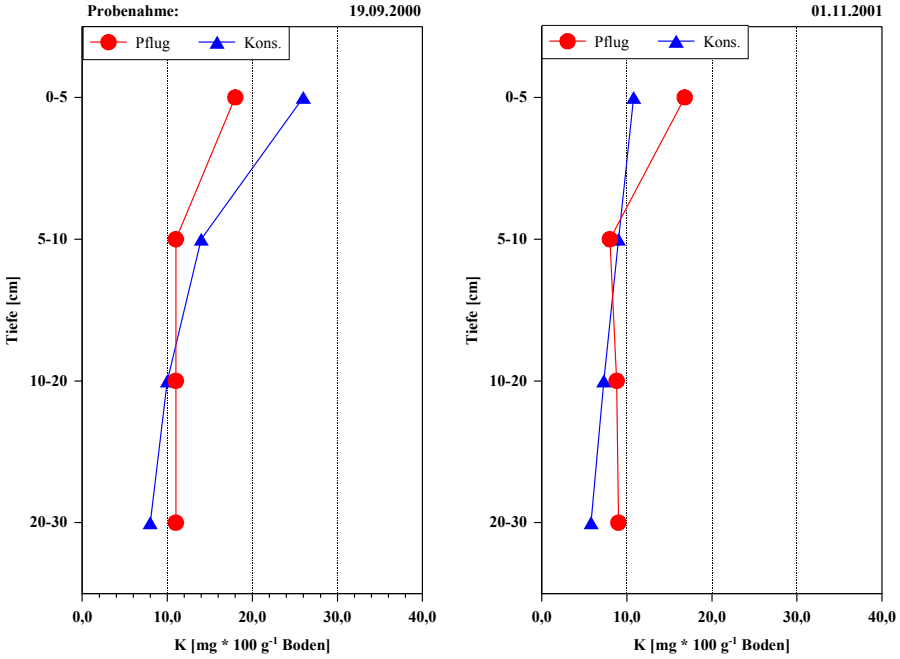

Abbildung 18: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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).

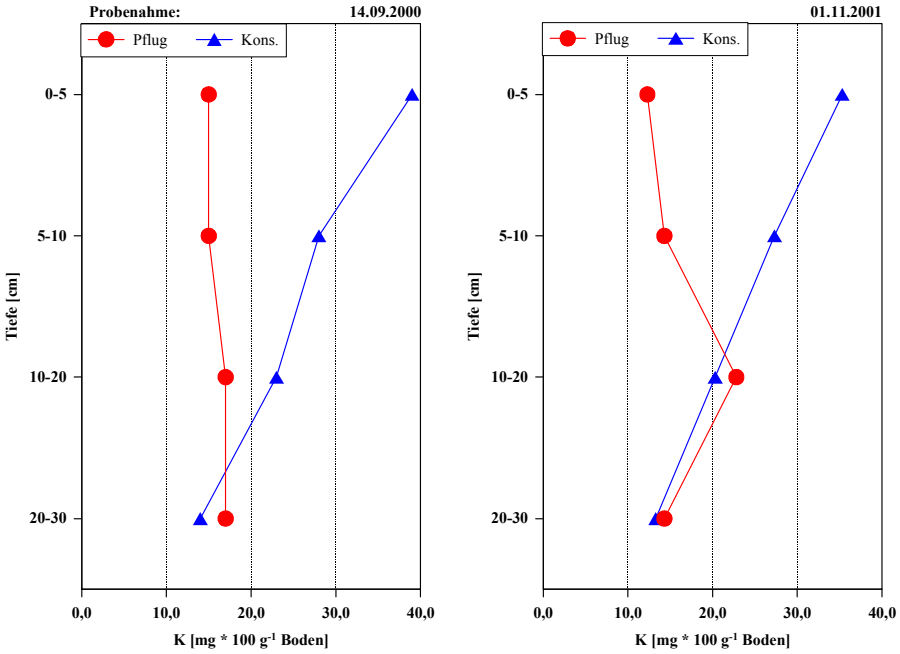

Abbildung 19: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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.

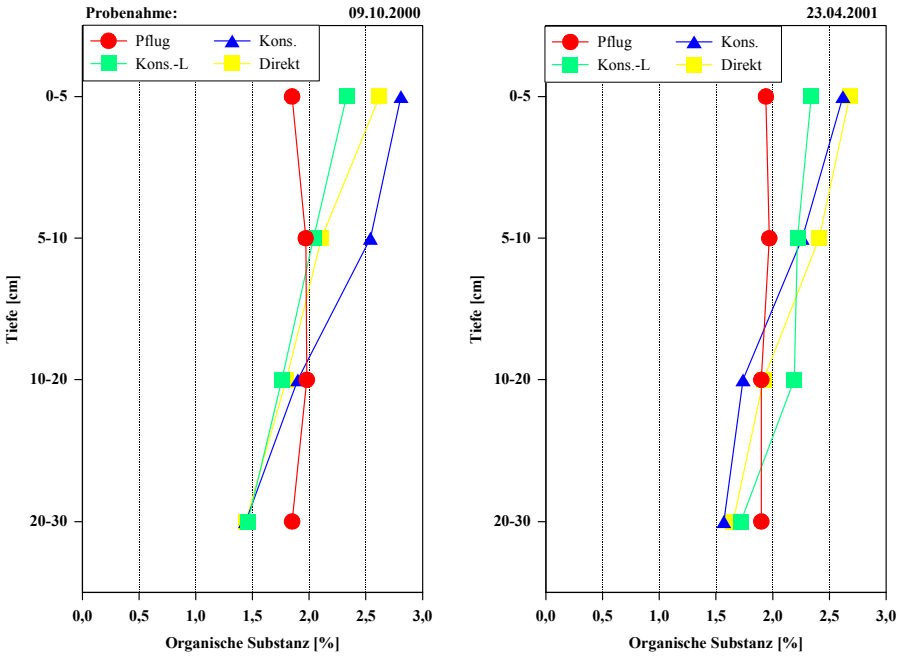

Abbildung 20: Gehalt an organischer Substanz am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

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.

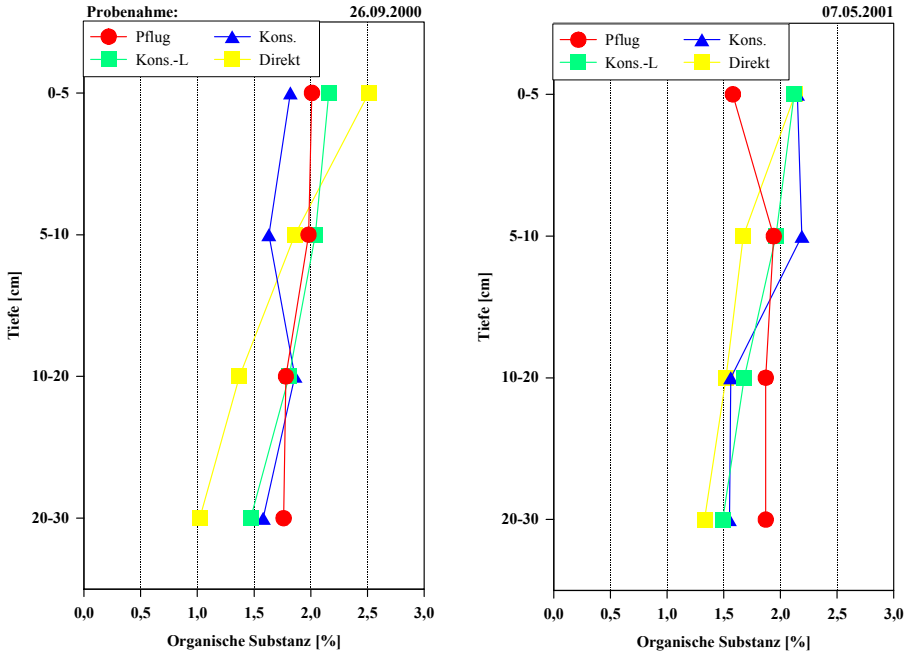

Abbildung 21: Gehalt an organischer Substanz am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

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.

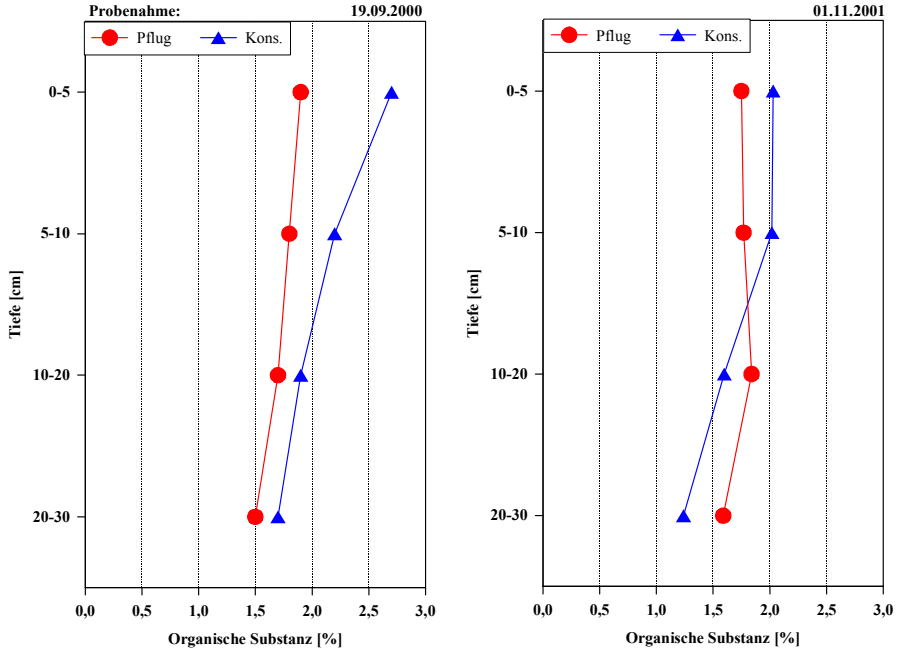

Abbildung 22: Gehalt an organischer Substanz am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

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.

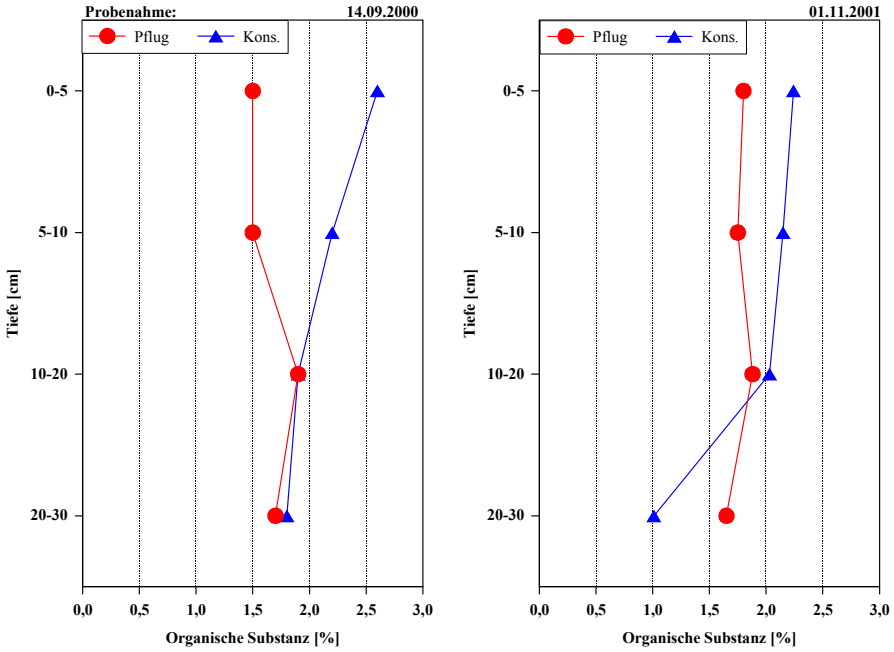

Abbildung 23: Gehalt an organischer Substanz am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe

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).

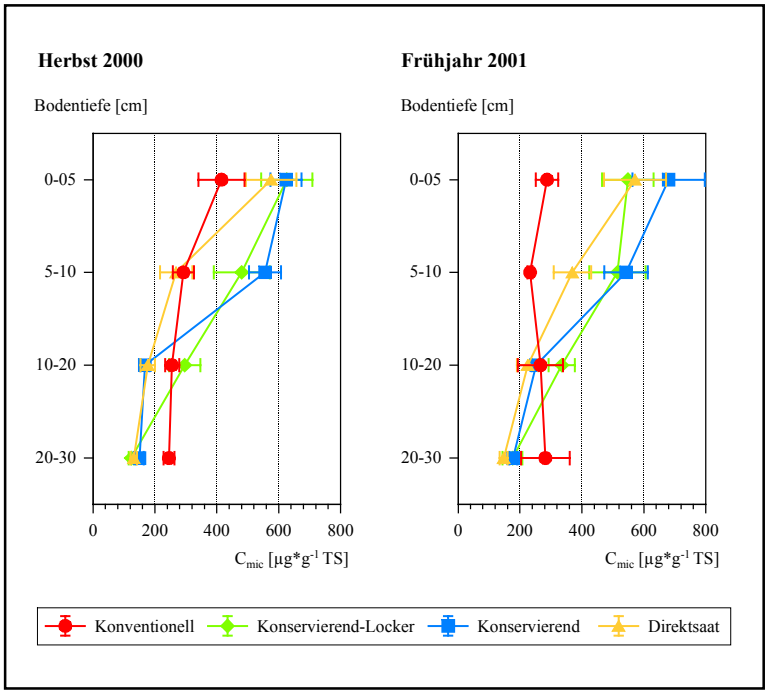

Abbildung 24: Mikrobielle Biomasse am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

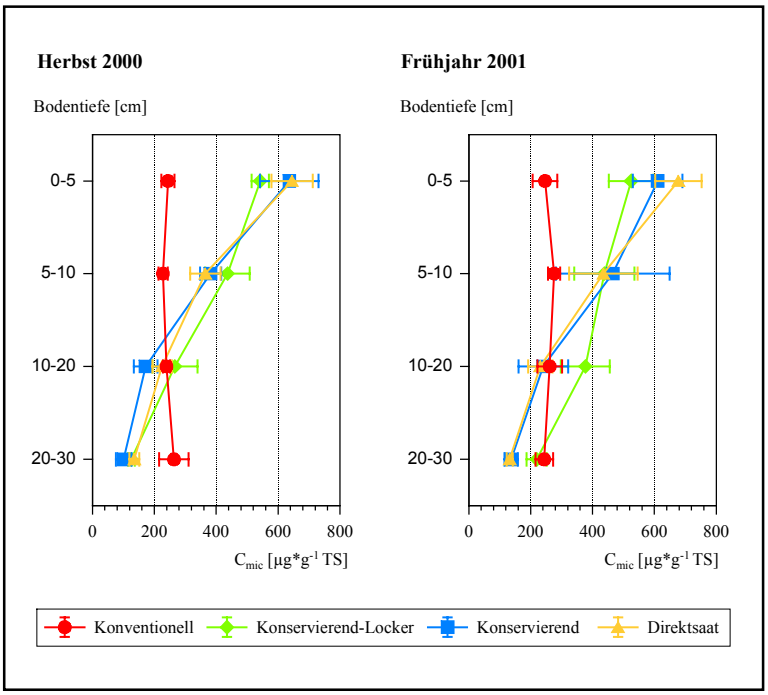

Abbildung 25: Mikrobielle Biomasse am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe

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).

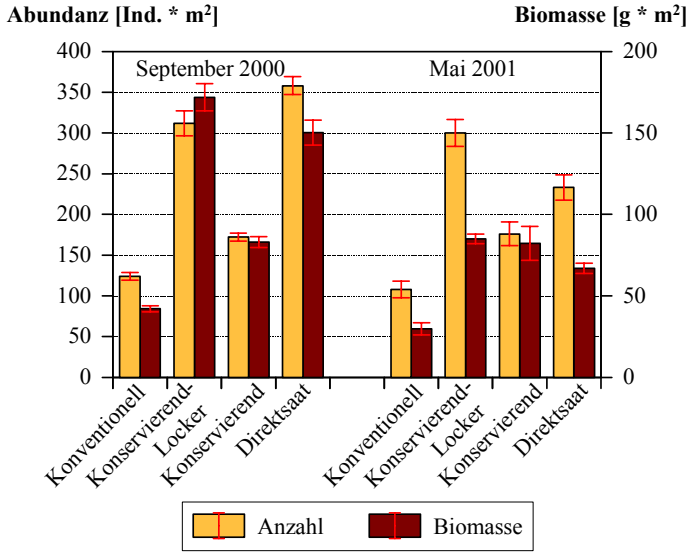

Abbildung 26: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

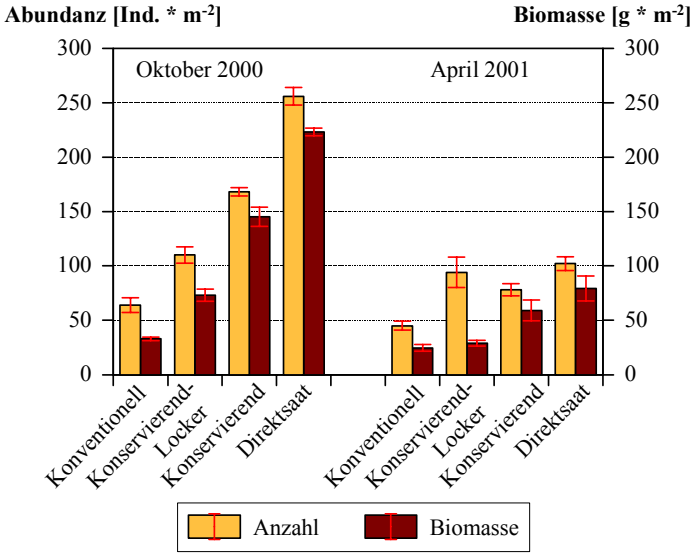

Abbildung 27: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

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).

5 Infiltrations- und Bodenabtrags- sowie Nährstoffabtragsmessungen

Das Entstehen von Bodenerosion durch Wasser ist an das Auftreten von Oberflächenabfluss gebunden. Das bedeutet, zur Minderung der Bodenerosion und damit der Einträge von Boden, Nähr- und Schadstoffen in die Gewässer über diesen Pfad, ist die Förderung der Wasserversickerung eine grundlegende Voraussetzung. Darüber hinaus ist bei gegebenem Oberflächenabfluss die Stabilität der Bodenoberfläche mit verantwortlich für die Menge von transportiertem Bodenmaterial und Nähr- sowie Schadstoffen.
Die Bildung von Oberflächenabfluss auf Ackerflächen wird von verschiedenen Parametern beeinflusst. Neben der Niederschlagshöhe und -intensität, den Reliefeigenschaften und der Bodenart, die nicht zu beeinflussen sind, spielt insbesondere die Wasseraufnahme- und -ableitungsfähigkeit des Bodens eine zentrale Rolle. Diese wird durch verschiedenste Parameter beeinflusst, wie z.B. die aktuelle Feuchte, die Durchporung, die Oberflächenstruktur und -stabilität, die Bodenbedeckung uvm. Die letztgenannten Parameter lassen sich in starkem Maße durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflussen. Besonders auf die variablen Bodeneigenschaften wirkt neben der Bodenbedeckung die Bodenbearbeitung, deren Ziel es ja ist, diese Eigenschaften aktiv zu beeinflussen um den Kulturpflanzen möglichst optimale Entwicklungsbedingungen zu bieten.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zur Abschätzung der Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf allen geneigten Untersuchungsstandorten z.T. mehrmals Infiltrations- und Abtragsmessungen mit einer Beregnungsanlage durchgeführt. Eine Übersicht über die durchgeführten Beregnungssimulationen gibt Tabelle 27.
Mit Hilfe der Beregnungsversuche wurde die Wasserinfiltration als Differenz aus Regenmenge und Oberflächenabfluss erfasst. Darüber hinaus wurde der mit dem Wasser abgetragene Boden gewogen. Bei einzelnen Versuchen wurde ergänzend eine Analyse der im abgetragenen Boden und im abgespülten Wasser transportierten Phosphormengen durchgeführt. Die Messergebnisse beziehen sich jeweils auf die untersuchte Fläche von einem Quadratmeter. Die Übertragung dieser Ergebnisse auf große Flächeneinheiten ist schwierig und von vielen äußeren Einflüssen (z.B. Hanglänge, Relief, Änderungen der Bodenart und des Bodenzustandes uvm.) abhängig. Das bedeutet, dass es nicht zulässig ist, die erhaltenen Ergebnisse direkt auf ganze Ackerschläge hochzurechnen. Diese Hochrechnung ist jedoch über die Anwendung von physikalisch begründeten Modellen wie z.B. EROSION 2D/3D möglich (vgl. Kapitel 3.8). Auch die Beobachtung auf Ackerflächen bzw. Versuchsflächen mit unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten zeigte nach Starkniederschlägen deutlich die

Wirkung der unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten, die den im Folgenden dargestellten Messergebnissen weitestgehend entsprach.

Tabelle 27: Übersicht über die im Projektzeitraum durchgeführten Beregnungsversuche

Standort	Termin	Kultur	Vorfrucht	Hangneigung [%]
Lüttewitz	01.06.1999*	Zuckerrüben	Sommergerste	8
Lüttewitz	06.04.2000	Winterweizen	Zuckerrüben	8
Lüttewitz	13.11.2000	Winterweizen	Winterweizen	8
Niederstriegis	20.05.1999*	Körnermais	Winterweizen	8
Niederstriegis	04.05.2000	Sommergerste	Körnermais	7
Niederstriegis	07.09.2000	Winterraps	Sommergerste	7
Littdorf	14.10.1999	Triticale	Winterweizen	4
Littdorf	14.05.2001	Zuckerrüben	Triticale	4
Lippersdorf	18.05.2000	Sommergerste	Silomais	10
Krumhermersdorf	18.05.2001	Erbsen	Winterraps	9

* Für die beiden ersten Beregnungsversuche wurde eine Beregnungsintensität von 0,7 mm * min^{-1} mit einer Dauer von 60 Minuten gewählt. Dies entspricht einer Beregnungsmenge von 42 mm.

Für die Beregnungsversuche wurde eine Niederschlagsintensität von 1,9 mm*min^{-1} über einen Zeitraum von 20 Minuten gewählt. Dies entspricht im Hinblick auf Maximale Intensität und gesamter Niederschlagsmenge für die Untersuchungsregionen etwa einem 20-jährigen Niederschlagsereignis.

Bei erosiven Niederschlägen handelt es sich i.d.R. um Niederschläge mit einer hohen oder sehr hohen Intensität. Das bedeutet, dass ein erosionsminderndes bzw. -verhinderndes Verfahren gerade bei diesen hohen Intensitäten wirksam sein sollte. Die in den Untersuchungsgebieten jährlich kleinräumig auftretenden Gewitterereignisse erreichen normalerweise die gewählte Regenintensität von 1,9 mm*min^{-1}. Diese Niederschlagsintensität dauert allerdings bei den jährlich auftretenden Gewittern meist nur wenige Minuten an. Der Vorteil der durchgeführten Beregnungssimulationen liegt darin, dass ein Abfluss- und Abtragsverlauf ermittelt wurde, der es ermöglicht den Bodenabtrag und die Wasserinfiltration für eine beliebige Niederschlagsdauer zwischen 1 Minute und 20 Minuten bzw. einer Niederschlagsmenge zwischen 1,9 mm und 38 mm zu ermitteln. Das bedeutet, dass grundsätzlich für jedes auftretende erosive Niederschlagsereignis unterhalb der gewählten Niederschlagsmenge Aussagen abgeleitet werden können.

Die Darstellung der Infiltrationsraten und der Bodenabträge erfolgt für die einzelnen Beregnungsversuche in tabellarischer Form. Dieses Vorgehen bietet die Möglichkeit, wesentliche Parameter für die Minderung von Oberflächenabfluss und Abtrag zu konkretisieren.

Insgesamt wurden an zehn Terminen im Untersuchungszeitraum Beregnungssimulationen durchgeführt (Tabelle 27). In sechs Fällen wurde der Bodenabtrag durch konservierende

Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung deutlich gesenkt bzw. die Wasserinfiltration gesteigert. In drei Fällen traten keine bzw. geringe Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten auf (Tabelle 31, Tabelle 34, Tabelle 37) in einem Fall (Tabelle 29) trat in der Variante Konservierend Locker ein höherer Abtrag als in der gepflügten Variante auf.

Diese letztgenannten Fälle sind im Hinblick auf die Optimierung der konservierenden Bodenbearbeitung besonders interessant.

Der hohe Bodenabtrag am Standort Lüttewitz im April 2000 trat auf einer Winterweizenfläche nach Vorfrucht Zuckerrüben auf (Tabelle 29). Es ist bekannt, dass nach der Zuckerrübenernte sehr wenig stabiles organisches Material auf der Ackerfläche zurückbleibt, darüber hinaus wird der Boden bei der Ernte der Zuckerrüben i.d.R. durch die schwere Erntetechnik stark belastet. In diesem Fall war auf der Fläche zudem eine sehr niedrige Stabilität der Bodenaggregate festzustellen, die in den konservierend bearbeiteten Varianten sogar am niedrigsten lag (vgl. Abbildung 11). Dies ist wahrscheinlich u.a. auf eine sehr intensive Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge zur Winterweizenaussaat zurückzuführen, die auch bei konservierender Bodenbearbeitung eine sehr feine und verschlämmungsanfällige Bodenoberflächenstruktur bewirkt. Das bedeutet, dass insbesondere bei Vorfrüchten, die wie Zuckerrüben oder Kartoffeln wenig stabile organisch Substanz zurücklassen eine besonders schonende Bodenbearbeitung durchgeführt werden sollte. Am besten eignen sich hierzu passive Bodenbearbeitungsgeräte wie z.B. Grubber. Der Einsatz von sehr intensiv krümelnden Geräten (Kreiseleggen, Fräsen) sollte auf diesen Flächen möglichst unterbleiben. Der Betrieb Lüttewitz hat im Jahr 2000/2001 seine Bodenbearbeitungstechnik von der Kreiselegge auf einen Flachgrubber umgestellt.

Die Beregnungsversuche, die keine oder nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Varianten ergaben, müssen hinsichtlich der Ausgangsbedingungen differenziert werden. Am Standort Niederstriegis wurde nach der Maisbestellung beregnet (Tabelle 31). Dies war das Jahr der Versuchsanlage auf diesem Standort. In diesem Jahr wurde auch die konservierende Variante noch sehr intensiv (3 Grubbergänge) bearbeitet, was der sehr geringe Bedeckungsgrad von nur 5 % verdeutlicht (Tabelle 31). Im folgenden Jahr zeigten die Beregnungsversuche dann eine deutliche Differenzierung zwischen den Varianten (Tabelle 32, Tabelle 33). Es wird deutlich, dass sich einerseits die günstigen, infiltrationsfördernden Bodeneigenschaften erst einregeln mussten und dass sich gleichzeitig der Betriebsleiter auf die geringere Bodenbearbeitungsintensität einstellen musste.

Am Standort Littdorf ergaben sich bei der Beregnung im Oktober 1999 ebenfalls keine Unterschiede (Tabelle 34). Die Bodenbearbeitung lag zu diesem Beregnungstermin erst kurze Zeit zurück, so dass in beiden Varianten ein lockeres und in der gepflügten Variante sehr grobklutiges Bodengefüge vorlag. Dies führte zur vollständigen Versickerung des Wassers in beiden Varianten.

Am Standort Krumhermersdorf im Erzgebirge wurden annähernd gleiche Werte für die Infiltration und den Bodenabtrag gemessen (Tabelle 37). Auf dieser Fläche stand im Vorjahr Raps, und über Winter eine Zwischenfrucht in Form von Weidelgras. Dies führte in beiden Varianten zu einer besonders guten Bodenstruktur. Zudem wurde an diesem Standort nur ca. 20 cm tief gepflügt, so dass im wesentlichen stark durchwurzelter Boden an die Oberfläche gepflügt wurde. Dies erklärt die hohe Infiltrationsrate auch in der Pflugvariante.
Die übrigen Beregnungsversuche auf Lößflächen (Tabelle 28, Tabelle 30, Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 35) sowie auf Verwitterungsböden im Erzgebirge (Tabelle 36) zeigten deutlich die erosionsmindernde und infiltrationssteigernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung, auch bei den gewählten extremen Niederschlagsparametern.

Tabelle 28: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Zuckerrüben nach Sommergerste, Termin: 01.06.99

Parameter	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
Bedeckungsgrad	17 %	n.b.	44 %	79 %
Infiltrationsrate	49 %	n.b.	71 %	92 %
Bodenabtrag	317,5 g	n.b.	137,5 g	25,7 g

Tabelle 29: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Winterweizen nach Zuckerrüben, Termin: 06.04.00

Parameter	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
Bedeckungsgrad	44 %	41 %	48 %	55 %
Infiltrationsrate	63,2 %	27,1 %	27,3 %	51,0 %
Bodenabtrag	159,7 g	762,3 g	162,3 g	84,2 g

Tabelle 30: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Winterweizen nach Winterweizen, Termin: 13.11.00

Parameter	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
Bedeckungsgrad	42 %	53 %	54 %	81 %
Infiltrationsrate (1. Wdh.)	39,4 %	62,1 %	41,4 %	91,3 %
Infiltrationsrate (2. Wdh.)	39,1 %	74,6 %	50,3 %	83,1 %
Bodenabtrag (1. Wdh.)	377,2 g	154,5 g	245,1 g	7,6 g
Bodenabtrag (2. Wdh.)	706,1 g	62,1 g	276,0 g	15,8 g

Tabelle 31: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Mais nach Winterweizen, Termin: 20.05.99

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	1 %	5 %
Infiltrationsrate	70,5 %	75,5 %
Bodenabtrag	410,8 g	370,3 g

Tabelle 32: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Sommergerste nach Mais, Termin: 04.05.00

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	25 %	60 %
Infiltrationsrate (1. Wdh.)	97,8 %	100 %
Infiltrationsrate (2. Wdh.)	88,4 %	100 %
Bodenabtrag (1. Wdh.)	10,6 g	0 g
Bodenabtrag (2. Wdh.)	83,1 g	0 g

Tabelle 33: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Winterraps nach Sommergerste, Termin: 07.09.00

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	4 %	38 %
Infiltrationsrate	43,4 %	70,3 %
Bodenabtrag	278,4 g	88,8 g

Tabelle 34: Beregnungssimulation am Standort Littdorf in Triticale nach Winterweizen, Termin: 14.10.99

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	2 %	8 %
Infiltrationsrate	100 %	100 %
Bodenabtrag	0 g	0 g

Tabelle 35: Beregnungssimulation am Standort Littdorf in Zuckerrüben nach Triticale, Termin: 14.05.01

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	2,1 %	6,0 %
Infiltrationsrate (1. Wdh.)	39,4 %	57,5 %
Infiltrationsrate (2. Wdh.)	39,5 %	51,3 %
Bodenabtrag (1. Wdh.)	523,0 g	362,9 g
Bodenabtrag (2. Wdh.)	353,2 g	252,1 g

Tabelle 36: Beregnungssimulation am Standort Lippersdorf in Sommergerste nach Mais, Termin: 18.05.00

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	74 %	78 %
Infiltrationsrate (1. Wdh.)	39,0 %	90,9 %
Infiltrationsrate (2. Wdh.)	57,4 %	78,6 %
Bodenabtrag (1. Wdh.)	225,8 g	12,8 g
Bodenabtrag (2. Wdh.)	55,2 g	21,2 g

Tabelle 37: Beregnungssimulation am Standort Krumhermersdorf in Erbsen nach Winterraps, Termin: 18.05.01

Parameter	Pflug	Kons.
Bedeckungsgrad	20 %	33 %
Infiltrationsrate (1. Wdh.)	76,4 %	81,5 %
Infiltrationsrate (2. Wdh.)	85,8 %	81,7 %
Bodenabtrag (1. Wdh.)	67,8 g	45,0 g
Bodenabtrag (2. Wdh.)	46,1 g	46,5 g

Neben der Gesamtinfiltration und dem insgesamt abgetragenen Boden sind, wie oben dargestellt auch die Infiltrationsverläufe von Bedeutung. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31) ist dies für vier Beregnungsversuche an den verschiedenen Untersuchungsstandorten beispielhaft dargestellt.
Deutlich wird, dass zwei Effekte zu der gemessenen Infiltrationssteigerung führen. Zum einen tritt bei konservierender Bodenbearbeitung erst später Oberflächenabfluss auf, das bedeutet, dass die Infiltrationsrate länger auf einem hohen Niveau verbleibt, es kommt also zu einer Verzögerung des Abflussbeginns. Zum anderen bleibt die Infiltrationsrate auch nach längerer Beregnung i.d.R. auf einem höheren Niveau, so dass dauerhaft mehr Wasser in den Boden infiltrieren kann.
Aus den im Folgenden gezeigten Infiltrationsverläufen wird deutlich, dass insbesondere bei kurzen, heftigen Niederschlagsereignissen (typische Gewitter) oftmals eine weitaus größere Differenz im Abflussgeschehen auftritt, als dies durch die oben dargestellten Ergebnisse der Beregnungsversuche zu ersehen ist. Beispielsweise trat bei einem sechsminütigen Gewitterschauer mit der angegebenen Intensität von 1,9 mm*min^{-1} (11,4 mm) auf fast allen konservierend bestellten Varianten noch kein Oberflächenabfluss auf, wogegen auf den gepflügten Flächen z.T. schon nach zwei oder drei Minuten der Oberflächenabfluss einsetzte (Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31).

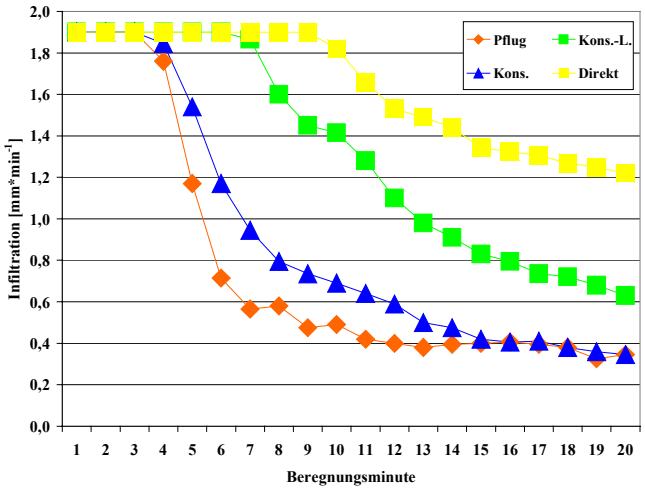

Abbildung 28: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz (vgl. Tabelle 30) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

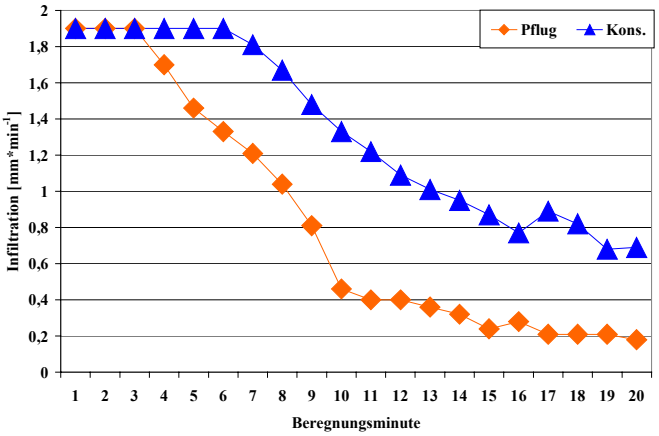

Abbildung 29: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis (vgl. Tabelle 33) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

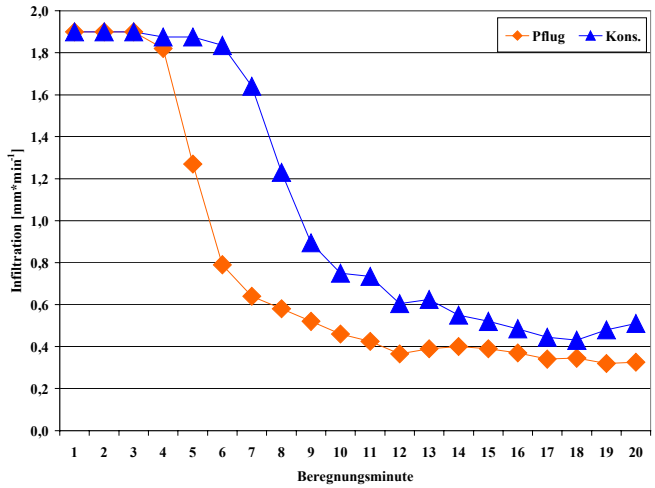

Abbildung 30: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Littdorf (vgl. Tabelle 35) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

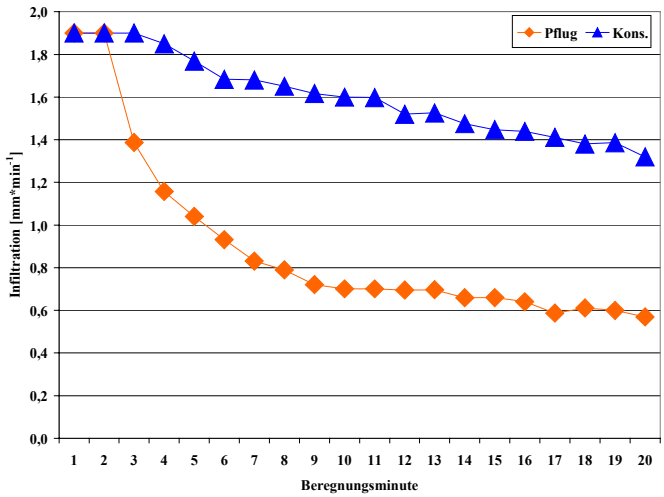

Abbildung 31: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Lippersdorf (vgl. Tabelle 36) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Im Hinblick auf die Nährstoffbelastung der Gewässer sind aus landwirtschaftlichen Quellen insbesondere Stickstoff und Phosphor von Bedeutung. Der Oberflächenabfluss und die damit verbundene Bodenerosion trägt entscheidend zur Phosphorbelastung der Gewässer bei (UMWELTBUNDESAMT 1994). Um die Wirkung der untersuchten Strategien zur Austragsminderung zu quantifizieren, wurde bei den Beregnungssimulationen eine Analyse der P-Gehalte und P-Frachten im abfließenden Wasser und im abgetragenen Boden durchgeführt. Die im Folgenden dargestellten Werte beziehen sich jeweils nur auf die beregnete Fläche von einem Quadratmeter. Lineare Hochrechnungen auf ganze Einzugsgebiete auf Grundlage dieser Werte sind nicht zulässig. Hierzu wird auf das Kapitel 9 verwiesen, dass für zwei Beispielsgebiete die Ergebnisse der Erosionssimulation darstellt.
Bei der Analyse der P-Abträge wurde eine Beregnung im Lößbereich (Lüttewitz) und eine Beregnung auf Verwitterungsboden (Lippersdorf, Erzgebirge) gewählt.

In Tabelle 38 sind die Ergebnisse der P-Analyse für den Standort Lüttewitz dargestellt. Grundlage war der Beregnungsversuch, der im Herbst 2000 durchgeführt wurde (vgl. Tabelle 30).
Die P-Gehalte im abgeflossenen Wasser in den Varianten Pflug, Konservierend und Direktsaat waren mit 0,47 bis 0,50 ppm nahezu gleich, nur in der Variante Konservierend-Locker wurden stark verminderte Gehalte (0,26 ppm) gemessen. Die Ursache für diesen Unterschied bleibt unklar, da bei der P-Analyse der Bodengehalte (Doppel-Lactat-Aufschluss) diese Differenzen nicht bestätigt wurden (vgl. Abbildung 15). Auch die Gehalte im abgespülten Boden bestätigten diese Differenzierung nicht (vgl. Tabelle 38).
Der Oberflächenabfluss der Variante Konservierend war annähernd so hoch wie in der Variante Pflug. Das bedeutet, dass sich bei gleichen P-Gehalten die Frachten in diesem Fall kaum unterschieden. Die Varianten Konservierend-Locker und Direktsaat zeigten hier deutliche Reduzierungen.
Nur ein kleiner Teil des abgetragenen Phosphors ist im abfließenden Wasser gelöst. Der größere Teil wird mit dem abgespülten Bodenmaterial verlagert. Die P-Fraktionen in dem abgetragenen Bodenmaterial lassen sich nach ihrer Löslichkeit differenzieren. Durch einen HCl-Aufschluss kann der Gesamt-P-Gehalt bestimmt werden. Aufgrund der großen Unterschiede im Bodenabtrag ergaben sich bei ähnlichen P-Gehalten im Boden (629 bis 750 ppm) erhebliche Unterschiede in den P-Abträgen. Im Vergleich zu der gepflügten Variante waren die Gesamt-P-Abträge in den konservierend bestellten Varianten um 48 bis 97 % reduziert (Tabelle 38).
Auch im abgetragenen Boden findet sich noch eine wasserlösliche P-Fraktion, die jedoch im Vergleich zum Gesamt-P nur einen geringen Teil ausmacht. Jedoch kann dieser Anteil im Gewässer direkt zur Eutrophierung beitragen. Auch die wasserlösliche Fraktion im Boden zeigte in allen Varianten ähnliche Gehalte (von 37 bis 50 ppm). Bei Verrechnung mit den

Bodenabträgen ergaben sich entsprechend deutliche Unterschiede in den wasserlöslichen P-Frachten (Tabelle 38).

Die für die Gewässereutrophierung letztendlich entscheidende Größe ist der Eintrag aller wasserlöslichen P-Fraktionen (mit dem Bodenmaterial und im abgeflossenen Wasser). Hier ergaben sich deutliche Minderungen bei konservierender Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz, die zwischen 38 und 90 % lagen.

Tabelle 38: P-Gehalte und P-Frachten (wasserlöslich und HCL-löslich) am Standort Lüttewitz bei Beregnung am 13.11.2000 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.

	Pflug	Ko.-L	Kons.	Direkt
Wasserabfluss [l]	23,1	12,0	20,6	4,9
P-Gehalt [ppm]*	0,47	0,26	0,49	0,50
P-Abfluss [mg*m^{-2}]	10,9	3,1	10,1	2,5
Bodenabtrag [g*m^{-2}]	541,7	108,3	260,6	11,7
P-Gehalt-wasserlöslich [ppm]**	39	48	37	50
P-Abtrag-wasserlöslich [mg*m^{-2}]	21,1	5,2	9,6	0,6
P-Gehalt-HCl-löslich [ppm]***	629	750	670	703
P-Abtrag-HCl-löslich [mg*m^{-2}]	340,7	81,2	174,6	8,2
Gesamt-P-Abtrag-wasserlöslich [mg*m^{-2}]	32,0	8,3	19,7	3,1
Gesamt-P-Abtrag [mg*m^{-2}]	351,6	84,3	184,7	10,7

*: P-Gehalt im abgeflossenen Wasser; **: wasserlöslicher P-Anteil im abgespülten Bodenmaterial (4-fache Wasserextraktion nach VAN DER PAAUW & SISSING (1971)); ***: Gesamt-P (HCl-löslich) im abgespülten Bodenmaterial

Auch nach dem Beregnungsversuch am Standort Lippersdorf im Frühjahr 2000 (vgl. Tabelle 36) wurden die P-Gehalte und P-Frachten bestimmt (Tabelle 39).

Aufgrund des stark verminderten Oberflächenabflusses und Bodenabtrages ergab sich in der Variante Konservierend bei etwa gleichen Gehalten eine deutliche Reduktion der abgetragenen P-Mengen im Vergleich zur gepflügten Variante.

Der Gesamt-P-Abtrag wurde bei konservierender Bearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz um 88 % reduziert, die wasserlösliche Fraktion um 87 % (Tabelle 39).

Tabelle 39: P-Gehalte und P-Frachten (wasserlöslich und HCL-löslich) am Standort Lippersdorf bei Beregnung am 18.05.2000 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.

	Pflug	Kons.
Wasserabfluss [l]	19,7	6,0
P-Gehalt [ppm]*	0,12	0,07
P-Abfluss [mg*m^{-2}]	2,4	0,4
Bodenabtrag [g*m^{-2}]	140,5	17,0
P-Gehalt-wasserlöslich [ppm]**	43	41
P-Abtrag-wasserlöslich [mg*m^{-2}]	6,0	0,7
P-Gehalt-HCl-löslich [ppm]***	1018	1042
P-Abtrag-HCl-löslich [mg*m^{-2}]	143,0	17,7
Gesamt-P-Abtrag-wasserlöslich [mg*m^{-2}]	8,4	1,1
Gesamt-P-Abtrag [mg*m^{-2}]	145,4	18,1

*: P-Gehalt im abgeflossenen Wasser; **: wasserlöslicher P-Anteil im abgespülten Bodenmaterial (4-fache Wasserextraktion nach VAN DER PAAUW & SISSING (1971)); ***: Gesamt-P (HCl-löslich) im abgespülten Bodenmaterial

Die dargestellten Ergebnisse der Beregnungsversuche verdeutlichen die infiltrationsfördernde, bodenabtrags- und damit auch nährstoffabtragsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung. Eine entsprechende Wirkung war auf tiefgründigen Lößböden genau so nachzuweisen wie auf den flachgründigen Verwitterungsböden im Erzgebirge. Dies verdeutlicht die Vorzüglichkeit dieser pfluglosen Bearbeitungsverfahren sowohl im Hinblick auf einen nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodenschutz als auch für einen nachhaltigen Gewässerschutz.

6 Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt, zum Bodenwasserhaushalt, zur Sickerwasserbildung und zur Nitratverlagerung

Durch die Form der Bodenbearbeitung wird die Wasserinfiltration beeinflusst. Insbesondere auf geneigten Flächen tritt bei wendender Bodenbearbeitung, wie in Kapitel 5 dargestellt, verstärkt Oberflächenabfluss und Bodenerosion auf. Durch das unterschiedliche Ausmaß des Oberflächenabflusses ist auch der Wasserhaushalt stark beeinflusst. Darüber hinaus stellen Parameter wie Mulchbedeckung, Humusgehalt, Porenverteilung und Makroporendichte wichtige Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt dar. Da diese Parameter, wie dargestellt wurde, stark von der Bodenbearbeitung beeinflusst werden, ist auch ein Einfluss auf den Wasserhaushalt anzunehmen. Darüber hinaus wird der Bodenwasserhaushalt auf ackerbaulich genutzten Flächen stark von den Kulturpflanzen beeinflusst. Die in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung relevanten Parameter sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Durchwurzelung des Bodens und der erzielte Ertrag (vgl. Kapitel 7).
Die Auswaschung von Nitrat ist neben der Nitratmenge im Boden von dem Sickerwasseranfall abhängig. Die Mineralisierung von Stickstoff wird u.a. von der Bodentemperatur und der Bodendurchlüftung beeinflusst. Diese Faktoren (insb. die Durchlüftung) werden durch die Bodenbearbeitung stark beeinflusst.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Nitratgehalt im Boden und zum Bodenwasserhaushalt am Beispiel des Standortes Lüttewitz dargestellt, um auf dieser Grundlage die Sickerwassermengen und die Nitratausträge aus der Bodenzone abzuschätzen.
Die Untersuchungen zum Wasserhaushalt und zur N-min-Dynamik wurden auf allen Versuchsstandorten im Lößbereich (Zschortau, Niederstriegis und Littdorf) durchgeführt. Die Gewinnung von Bodenwasser durch den Einsatz von Saugkerzen fand nur am Standort Lüttewitz statt. Auf die Darstellung des Wasserhaushaltes der letztgenannten Standorte wird an dieser Stelle verzichtet.
Die folgenden Auswertungen und Darstellungen erfolgten im Wesentlichen im Rahmen einer Diplomarbeit, die im Jahr 2002 in einer Zusammenarbeit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft mit der Universität Leipzig (Institut für Geographie) angefertigt wurde (THIEL 2002)

6.1 Stickstoffdynamik (N_{min}) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

In Abbildung 32 ist die zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes, aufsummiert für das Bodenprofil von 0 bis 90 cm Tiefe, dargestellt. Deutlich werden im Jahr 1999 und 2000 höhere Werte in der Variante Pflug im Vergleich zu den nicht gepflügten Varianten (im Jahr 1999 erfolgte in der Variante Konservierend-Locker keine durchgehende Beprobung). Im Jahr

2001 konnten in der Variante Direktsaat stark erhöhte Werte festgestellt werden. Der Anstieg des N-min-Gehaltes in den Jahren 1999 und 2000 scheint auf die mineralisationsfördernde Wirkung des Pflugeinsatzes zurückzuführen sein. Diese Wirkung konnte aber im Jahr 2001 nach Getreidevorfrucht nicht bestätigt werden. Der hohe N-min-Gehalt in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 lässt sich eindeutig auf Probleme beim Feldaufgang im Bereich der Messparzellen in diesem Jahr zurückführen. Vermutlich aufgrund einer Störung beim Sägerät liefen in diesem Bereich keine Pflanzen auf, so dass eine Teilfläche im Dezember nachgesät wurde. Jedoch wurde der Bereich, der direkt an die Tensiometer und Saugkerzen angrenzte, dabei ausgespart. Dies führte zu einem fehlenden Pflanzenentzug und erklärt die hohe Abweichung beim Nmin-Gehalt. Verdeutlicht wird hierdurch aber die Auswirkung einer Schwarzbrache im Hinblick auf die Nitrataustragsgefährdung.
Aus den N-min Gehalten in 0 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 32) kann noch kein Verlagerungsrisiko abgeleitet werden, da der Stickstoff aus diesem Bodenbereich noch von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

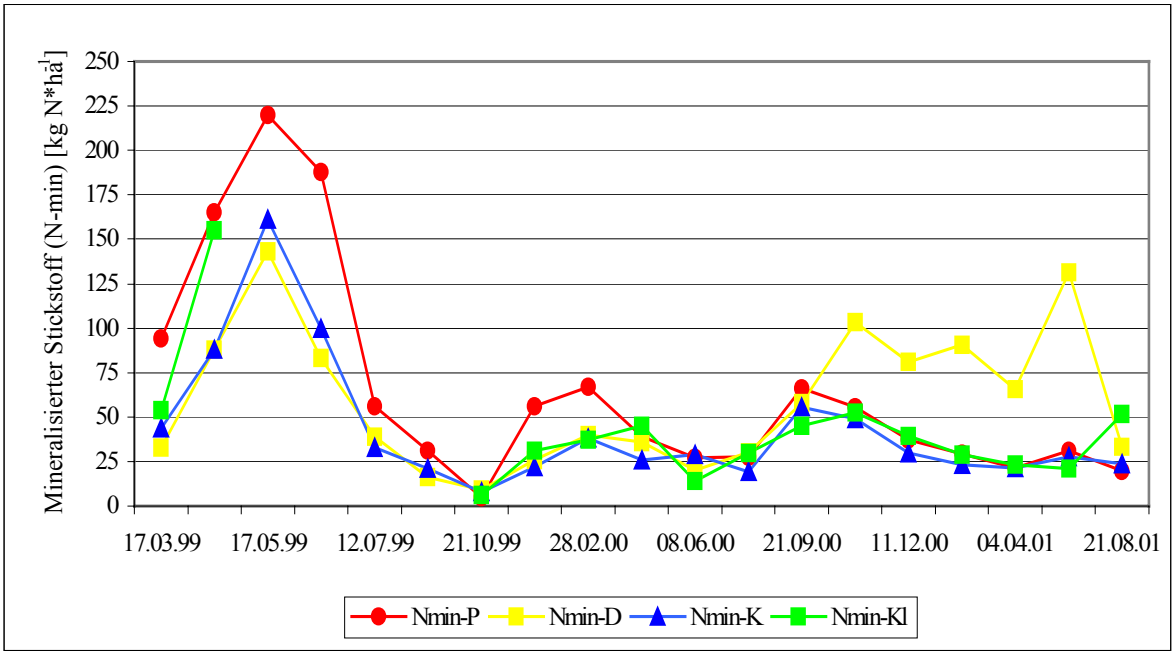

Abbildung 32: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 0 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002), P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

Die N-min-Gehalte in 60 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 33) zeigen dagegen schon deutlicher eine Austragsgefährdung an. Im zeitigen Frühjahr ist mit geringen Pflanzenentzügen, besonders in dieser Bodentiefe zu rechnen, so dass Nitrat bei Auftreten von Sickerwasser stark austragsgefährdet ist. Die Messwerte in dieser Tiefe spiegeln die Werte im gesamten Profil wider, allerdings auf geringerem Niveau. Deutlich zeigen sich die höheren Gehalte in

der gepflügten Variante im Frühjahr und Sommer 1999 und im Winter und Frühjahr 2000. Es ist zu vermuten, dass der durch die Bodenbearbeitung mineralisierte Stickstoff z.T. bereits in diese Bodentiefe verlagert wurde. Auch im Jahr 2001 konnte wieder der sehr hohe N-min-Gehalt in der Variante Direktsaat festgestellt werden, der auf die bereits beschriebenen Probleme mit der Bestandesetablierung zurückzuführen ist.

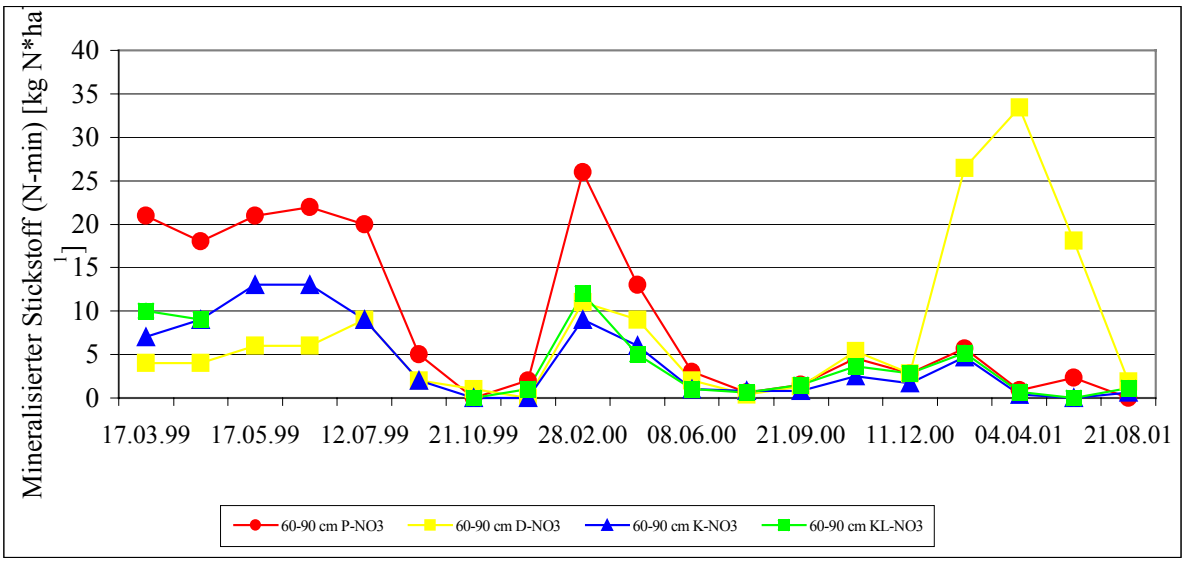

Abbildung 33: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 60 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

In den Jahren 2000 und 2001 wurde die N-min-Beprobung durch die Entnahme von Bodenlösung mit Hilfe von Saugkerzen ergänzt (Entnahmetiefe: 90 cm) und eine anschließende Nitratbestimmung in der gewonnenen Bodenlösung durchgeführt. Als Unterdruck wurde an die Saugkerzen eine Spannung entsprechend einem pF-Wert von 1,8 angelegt, um das Wasser in den schnell dränenden Poren zu gewinnen und so Aussagen über die Nitrat-Austragsgefährdung anstellen zu können.

Leider können die Messwerte der beiden Methoden nur indirekt verglichen werden, da die Bezugsgröße jeweils eine andere ist. In dem einen Fall (N-min-Methode) wird aus dem N-min-Gehalt im Boden auf die N-Menge je Hektar hochgerechnet, im Fall der Saugkerzenmethode ergibt sich eine N-Konzentrationsangabe in der Bodenlösung. Letzterer Wert kann bei Kenntnis der auftretenden Sickerwassermengen jedoch zu einer relativ genauen Bewertung der tatsächlichen Nitrat-Auswaschung dienen, wogegen der N-min-Gehalt im Boden nur eine Abschätzung der Austragsgefährdung zulässt.

Die Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung (Abbildung 34) zeigt ähnliche Unterschiede wie der N-min-Gehalt in 60 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 33). Im Jahr 2000 weicht der Gehalt in der Variante Pflug von den Gehalten in allen anderen Varianten ab, im Jahr 2001 zeigt die

Variante Direktsaat deutlich höhere Werte als die anderen Varianten. Die Ursachen hierfür wurden bereits dargestellt. Im Zeitraum Mitte März bis Mitte April 2001 konnten aber auch in der Variante Pflug im Vergleich zu beiden konservierend bearbeiteten Varianten leicht erhöhte Nitratgehalte in der Bodenlösung festgestellt werden.
Die in Abbildung 34 dargestellten Wertereihen weisen teilweise Lücken auf bzw. betreffen z.T. unterschiedliche Zeiträume. Grund hierfür ist, dass nicht zu jedem Termin in jeder Variante mit der angelegten Saugspannung Bodenwassergewonnen werden konnte. Besonders auffällig ist dies im Jahr 2001. In der Variante Direktsaat konnte über einen weitaus längeren Zeitraum Bodenlösung abgesaugt werden. Auch hierfür ist der fehlende bzw. schwache Pflanzenbestand im Bereich der Saugkerzen verantwortlich, der zu einem weitaus geringeren Bodenwasserentzug geführt hat.

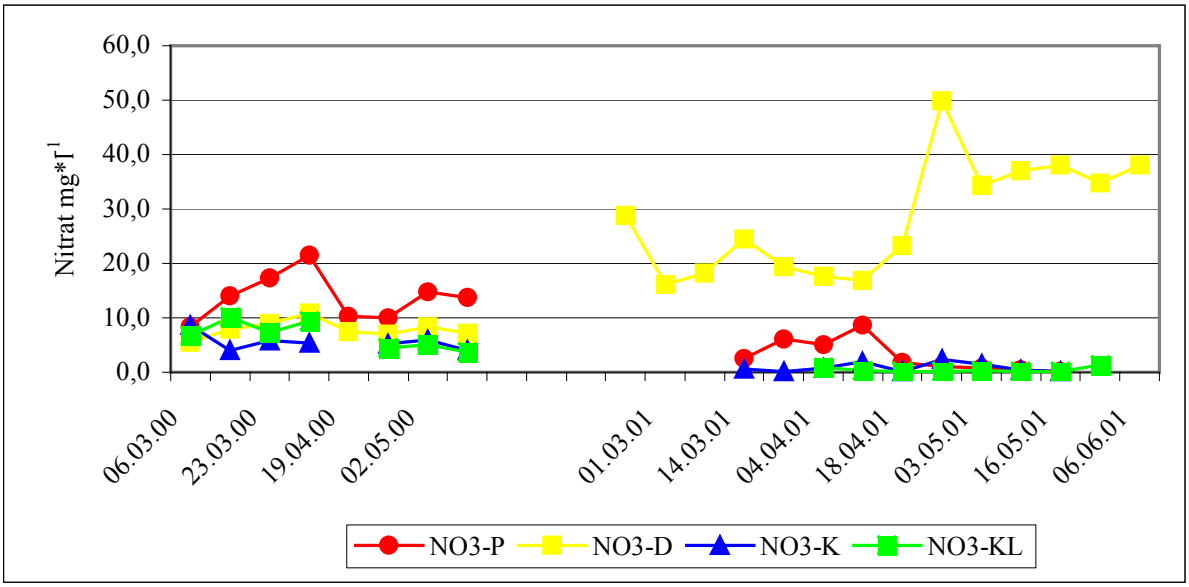

Abbildung 34: Zeitliche Dynamik des Nitrat-Gehaltes in der Bodenlösung (Saugkerzenmethode) in 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

6.2 Bodenwasserhaushalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Der Wassergehalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefe wurde an allen Lößstandorten in den drei Untersuchungsjahren erfasst. In Abbildung 35 ist die Dynamik des Wasserhaushaltes am Beispiel des Standortes Lüttewitz dargestellt. Als Interpolationsmethode wurde das Verfahren "Inverse Distance to a Power" verwendet. Bei Betrachtung der Abbildung 35 ist auf die angegebenen Zeiträume auf der Abzisse zu achten, da die Messungen i.d.R. zwischen der Ernte und der Aussaat der Folgekultur unterbrochen wurden, was in der Darstellung zu Verzerrungen führt. In Zeiten fehlender Messwerte wurden die Werte

interpoliert, was zu Werten führt, die für diese Zeiträume i.d.R. nicht den realen Verhältnissen entsprechen. Jedoch eignet sich die Darstellungsart sehr gut zur Verdeutlichung der zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten auftretenden Unterschiede im Bodenfeuchteregime.

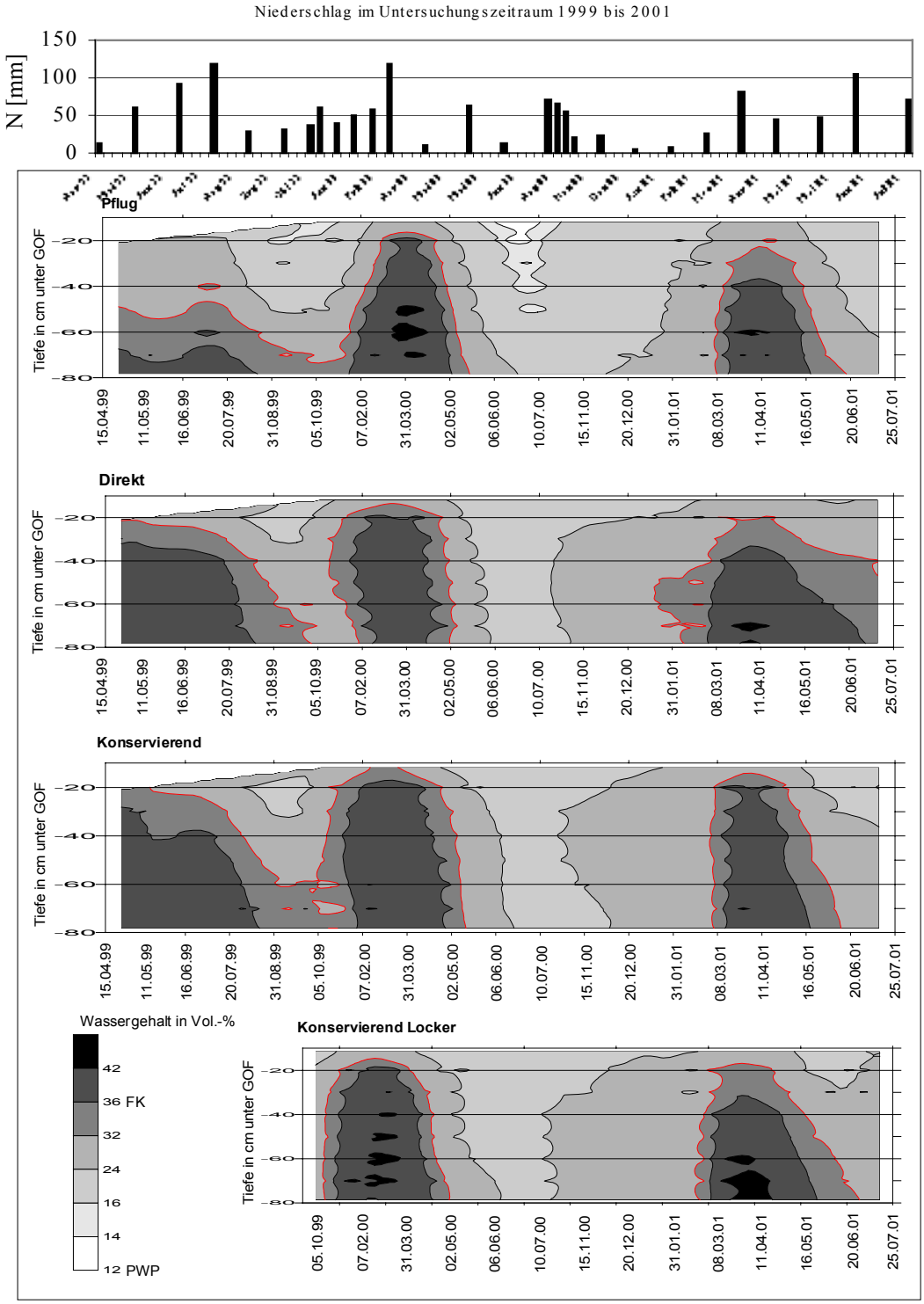

Abbildung 35: Niederschlagsverteilung (Monatssummen) und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 0 bis 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002), GOF: Geländeoberfläche

In den Varianten Pflug, Konservierend und Direkt wurde in einem Zeitraum zwischen April 1999 und Juli 2001 gemessen, in der Variante Konservierend Locker wurde erst im Oktober 1999 mit den Messungen begonnen (Abbildung 35).
Aus Abbildung 35 wird deutlich, dass der Wassergehalt in den nicht gepflügten Parzellen in einem Großteil des Messzeitraumes höher war als in der Variante Pflug. Dies gilt insbesondere für den Frühsommer 1999, den Sommer und Herbst 2000 und den Frühsommer 2001. Im letztgenannten Zeitraum fällt der hohe Wassergehalt in der Direktsaatvariante auf, der wahrscheinlich auf den bereits beschriebenen schlechten Feldaufgang und damit geringen Wasserentzug durch die Pflanzen in dieser Variante zurückzuführen ist.
Die Unterschiede in den übrigen Zeiträumen lassen sich auf mehrere Ursachen zurückführen, deren Anteil aber schwer zu quantifizieren ist.
Aus Feldbeobachtungen erscheint als wichtigster Unterschied zwischen der gepflügten und den anderen drei Varianten das Auftreten von Oberflächenabfluss. In der Variante Pflug trat auf einem Großteil der Fläche und auch im Bereich der Messparzellen in jedem Jahr Oberflächenabfluss auf. Dies konnte an Abflussbahnen und Erosionserscheinungen festgemacht, aber nicht quantifiziert werden. Das Auftreten von Oberflächenabfluss war nicht an unbedeckten Boden gebunden. Auch bei hohem Deckungsgrad durch den Pflanzenbestand floss in der Pflug-Variante Wasser oberflächlich ab. In der Variante Direktsaat konnten in keinem Fall Indizien für das Auftreten von Oberflächenabfluss festgestellt werden, in den konservierend bearbeiteten Varianten beschränkte sich dies auf geringe Ausprägungen in wenigen Fahrspuren. Diese Beobachtungen auf der Fläche werden durch die Beregnungs- und Abtragsversuche gestützt (vgl. Kap. 5). Insbesondere die Unterschiede im Wassergehalt in den Monaten April bis Juli lassen sich auf diesen Unterschied zurückführen, da in diesem Zeitraum ein Großteil der Oberflächenabfluss auslösenden, erosiven Niederschläge auftrat.
Ein weiterer für den Wasserhaushalt relevanter Unterschied zwischen den Varianten ist in der Mulchbedeckung zu sehen. Diese kann die unproduktive Verdunstung reduzieren. Dies könnte im Zeitraum Oktober bis Dezember 2000 (Strohreste der Vorfrucht Winterweizen) eine größere Rolle gespielt haben.
Die ausreichende Verfügbarkeit des Wassers für den Pflanzenbestand war in den nicht gepflügten Varianten an diesem Standort in den drei Untersuchungsjahren gegeben. In der Variante Pflug konnte im August 1999 für wenige Tage bei den Zuckerrüben eine deutliche Blattwelke beobachtet werden, die in keiner der anderen Varianten auftrat. Dieser Wassermangel konnte anhand der in Abbildung 35 dargestellten Messwerte nur bedingt nachvollzogen werden. Bevor sich dieser Unterschied stärker ausprägen konnte, trat wieder Niederschlag auf (Abbildung 35).
Im Juni 2000 zeigten die Messwerte einen deutlichen Mangel an pflanzenverfügbaren Wasser in der Variante Pflug im Gegensatz zu den anderen Varianten an. Auswirkungen auf den

Ertrag ließen sich nicht feststellen (vgl. Tabelle 47). In der Variante Pflug wurde in diesem Jahr sogar der höchste Ertrag erzielt. Denkbar ist eine stärkere Ausschöpfung des Bodenwasservorrates zur Bildung des leicht erhöhten Ertrages.

In Abbildung 36 ist der Wassergehalt in 30 cm Tiefe für die Messzeiträume dargestellt. Die Darstellung bestätigt die vorangehenden Ausführungen. Es wird deutlich, dass in der Variante Pflug z.T. ein erheblich niedrigerer Wassergehalt als in den anderen Varianten auftrat. Die Unterschiede betrugen bis zu 16 Vol-% (Dezember 99). In den Zeiträumen der maximalen Wassersättigung (Wintermonate) traten dagegen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Varianten auf.

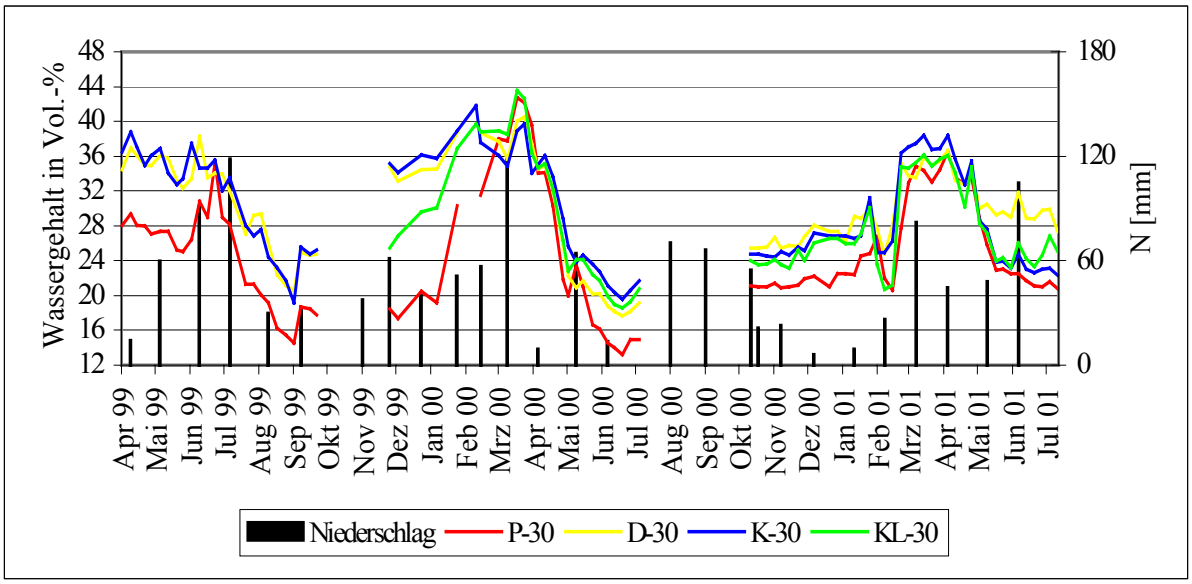

Abbildung 36: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

Abbildung 37 zeigt den Wassergehalt in 60 cm Tiefe. Deutlich wird, dass die Unterschiede zwischen den Varianten tendenziell wie in der Tiefe 30 cm auftreten, allerdings in sehr viel geringerer Ausprägung.

Der Verlauf des Wassergehaltes in 80 cm Tiefe zeigt demgegenüber nur noch geringe, scheinbar unspezifische Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten (Abbildung 38).

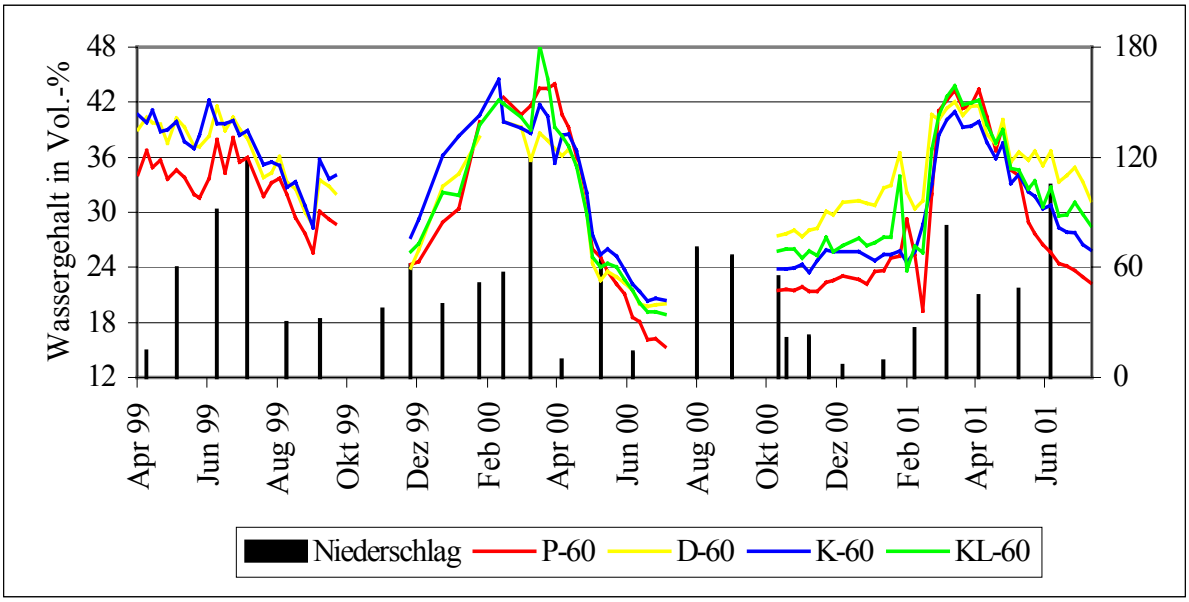

Abbildung 37: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 60 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

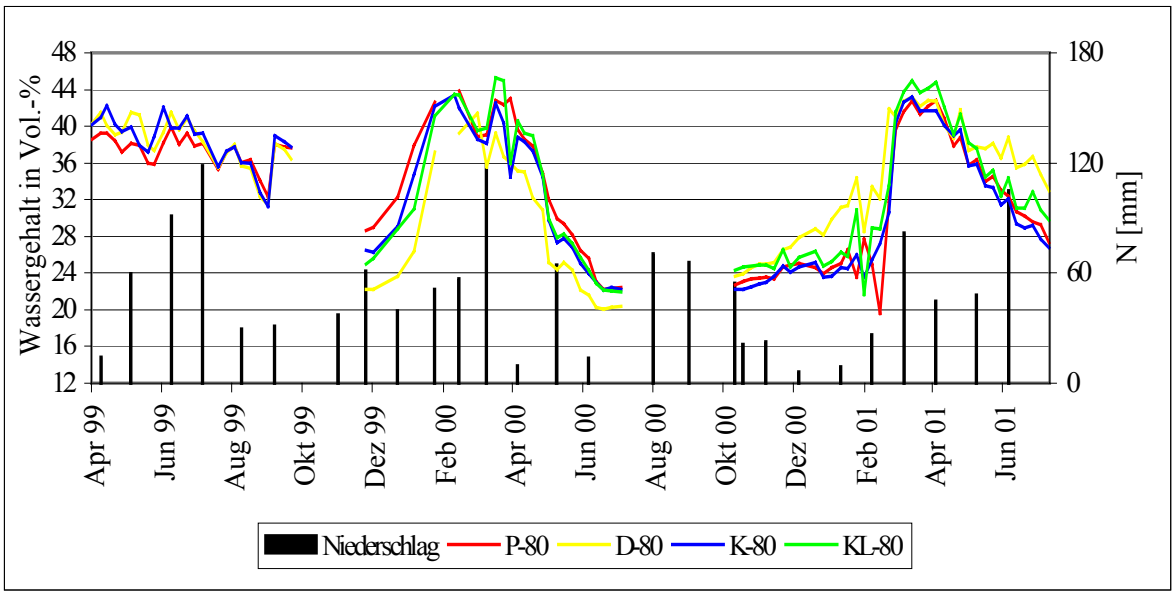

Abbildung 38: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

In Abbildung 39 und Abbildung 40 ist die Dynamik der Saugspannung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in der Tiefe 30 und 80 cm dargestellt. Die Unterschiede, die mit Hilfe der TDR-Technik für den volumetrischen Wassergehalt dargestellt werden konnten, kommen

bei der Anwendung der Saugkerzenmethode nicht so deutlich zum Ausdruck. Da ein Großteil der Differenzierung zwischen den Varianten in Bereichen oberhalb eines pF-Wertes von 2,6 auftritt, ist dies nachvollziehbar, da dieser Saugspannungsbereich aufgrund des Abreißens der Wassersäule durch die verwendeten Tensiometer nicht mehr erfasst werden kann. Die Ergebnisse der Tensiometermessungen eigneten sich aber sehr gut zur Ermittlung des hydraulischen Potenzials zwischen den beprobten sechs Tiefenstufen.

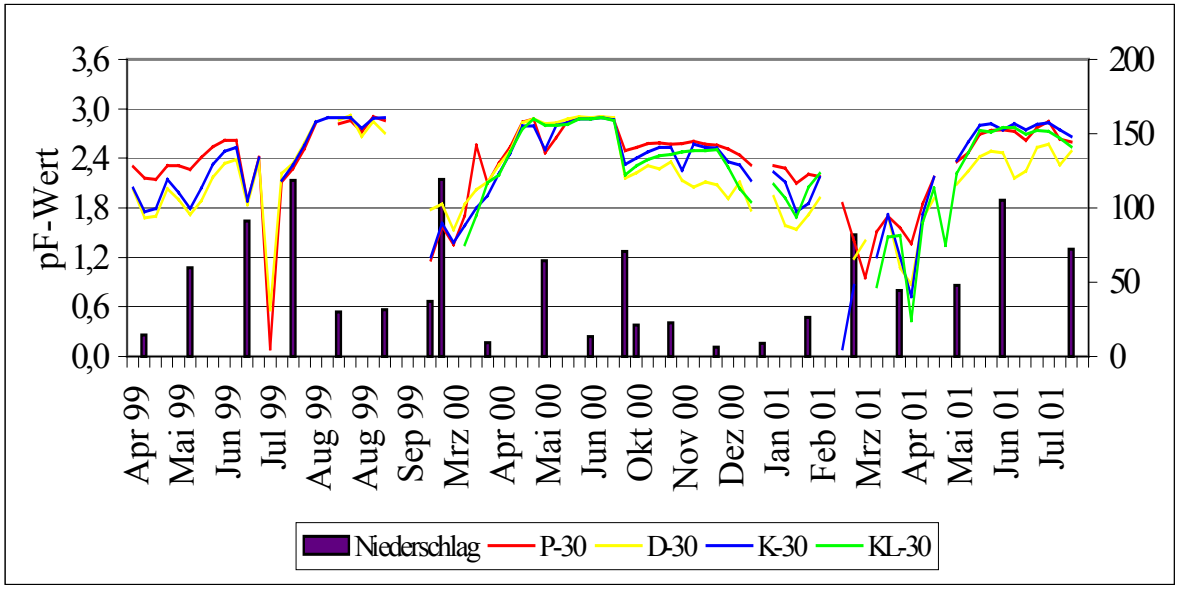

Abbildung 39: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

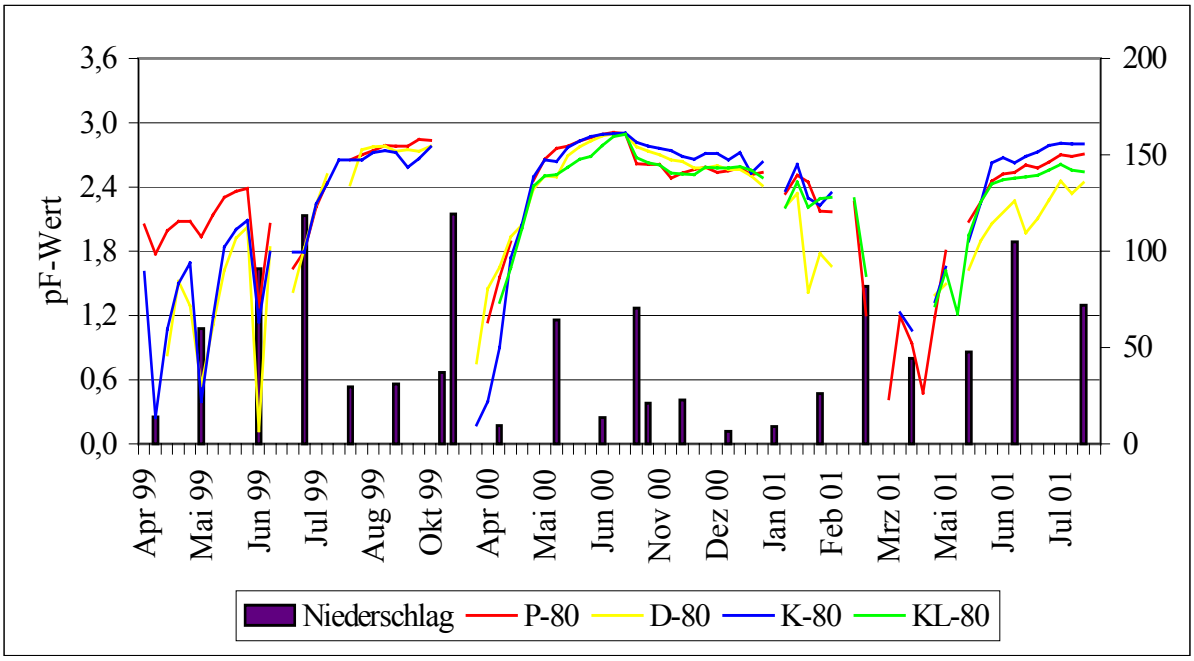

Abbildung 40: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

6.3 Sickerwasserbildung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Die dargestellten Ergebnisse verdeutlichen die Unterschiede im Stickstoff- und Wasserhaushalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Um aus diesen Werten zu einer Berechnung der Sickerwassermenge, und darauf basierend der Nitratverlagerung, zu kommen, wurde die klimatische Wasserbilanz (KWB) für den Standort berechnet.

Darüber hinaus erfolgte anhand eines Abgleiches der Messungen zum volumetrischen Wassergehalt (TDR-Messungen) mit den Messungen zur Wasserspannung (Tensiometer-Messungen) eine Bestimmung des Wassergehaltes für den pF-Wert 1,8 (Grenze zum schnell dränenden Wasser, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Dies ist beispielhaft für die Tiefenstufe 80 cm in Abbildung 41 dargestellt.

In dieser Bodentiefe konnte für die Variante Direktsaat bei pF 1,8 ein Wassergehalt von 38 Vol-% und für alle anderen Varianten ein Wert von 39 Vol-% ermittelt werden. Vergleichbar wurden diese Werte für die Tiefenstufe 30 cm und 60 cm ermittelt. Die so ermittelten Wassergehalte bei pF 1,8 stimmten nicht immer mit den Werten für die Feldkapazität nach Stechzylinderbeprobung überein (vgl. Tabelle 11), was insbesondere auf eine trotz homogener Textur stark ausgeprägte kleinräumige Heterogenität der Bodeneigenschaften zurückzuführen ist.

Die tageweise ermittelte KWB wurde für die Bodenfeuchteänderung im Boden veranschlagt. Bei Bilanzüberschüssen wurde die Wassermenge dem Bodenwassergehalt zugerechnet. Dezimeterweise konnte so eine näherungsweise Bewertung des Sickerwasserauftretens errechnet werden (d.h. das Überschreiten der für pF 1,8 ermittelten Wassergehalte). Dieses Wasser wurde rechnerisch dem nächsten Bodenkompartiment zugeschlagen. Bei negativer Bilanz wurden die Werte entsprechend verringert. Diese Methodik wird u.a. bei WATULLA (1987), RIEß (1993) und TEEBKEN ET AL. (1994) beschrieben. Verbessert wurde die Genauigkeit der erhaltenen Werte durch die wöchentliche Möglichkeit zur "Kalibrierung" anhand der jeweils aktuellen Messwerte.

Zusätzlich wurde für die Beurteilung ob Sickerwasser auftreten kann aus den Tensiometermessungen der hydraulische Gradient bestimmt, der die Aussage erlaubt, ob und in welche Richtung eine Wasserbewegung erfolgt.

Ein kapillarer Aufstieg konnte aufgrund des hohen Grundwasserflurabstandes für die Berechnungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Das Auftreten von Oberflächenabfluss ist ein Parameter, der für die betrachteten Wasserhaushaltsparameter von Bedeutung ist. Mit Hilfe des Erosionssimulationsmodells EROSION 2D, das auch ein Infiltrationsmodul enthält, wurde für die im Untersuchungszeitraum gemessenen Starkniederschläge eine Abschätzung durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation wiesen nur für das Jahr 1999 (Zuckerrüben) für drei Ereignisse Oberflächenabfluss aus. Für die Variante Pflug wurden insgesamt 17,3 mm Oberflächenabfluss errechnet, für die Variante Direktsaat 4,2 mm. In den beiden konservierend bearbeiteten Varianten trat nach Modellergebnissen kein Oberflächenabfluss auf. Diese Werte entsprechen offensichtlich nicht vollständig den realen Verhältnissen, da, wie bereits dargestellt, auch in den Jahren 2000 und 2001 in der Variante Pflug Symptome für das Auftreten von Oberflächenabfluss festgestellt wurden. Da diese Mengen jedoch nicht genauer bestimmt werden konnten, wurden die Modellergebnisse als Näherungswert angenommen und in den Wasserhaushaltsberechnungen berücksichtigt.

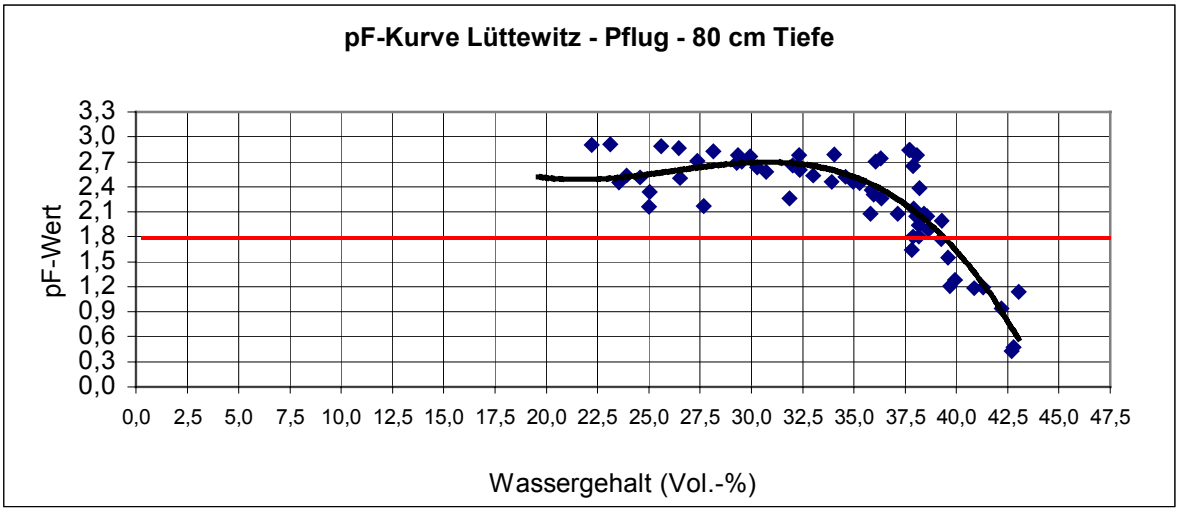

Abbildung 41: Ermittlung des Volumetrischen Wassergehaltes in 80 cm Bodentiefe bei pF 1,8 am Beispiel der Variante Pflug auf Grundlage von TDR- und Tensiometermessungen, Darstellung: THIEL (2002)

Das vorgestellte Vorgehen bei der Sickerwasserermittlung führte zu den in Tabelle 40 dargestellten berechneten Sickerwassermengen für die Tiefe 80 cm in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Die errechneten Sickerwassermengen in 80 cm Tiefe werden vereinfachend gleichgesetzt mit einem Austrag aus der Bodenzone und als Grundlage für die Ermittlung der Nitratverlagerung genutzt, auch wenn die Durchwurzelungstiefe an diesem Standort z.T. deutlich höher war.

Die Messungen zeigen, dass in den Jahren 1999 und 2001 (Zeitraum nur bis 25.07.2001) in der Variante Pflug die geringste Sickerwassermenge anfiel. Besonders deutlich ist der Unterschied im Jahr 1999 aufgrund der Berücksichtigung des Oberflächenabflusses. Der hohe Wert in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 resultiert aus dem bereits beschriebenen schlechten Feldaufgang und der damit verbundenen geringen Wasseraufnahme durch den Pflanzenbestand.

Tabelle 40: Sickerwasserbildung (80 cm Tiefe) [mm] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
Summe 1999	125,2	-	159,0	166,4
Summe 2000	223,7	216,3	210,0	189,5
Summe 2001*	99,2	156,1	127,7	164,8
Summe 1999 bis 2001*	448,1	-	496,8	520,7
Summe 2000 + 2001	322,9	372,4	337,8	354,3

*: Messung nur bis 25.07.2001

Die dargestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass bei Umstellung der Bodenbearbeitung hin zu pfluglosen Verfahren eine Steigerung der Sickerwassermenge und damit eine höhere

Grundwasserneubildung auftritt. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die Ergebnisse auf Lößböden erzielt wurden. Eine Übertragbarkeit auf andere Bodenarten bleibt zu überprüfen.
Der in der Pflugvariante aufgetretene Oberflächenabfluss hatte einen erheblichen Einfluss auf die Differenzierung der Sickerwassermengen. Dies bedeutet, dass die erzielten Ergebnisse insbesondere auf geneigte Flächen zu übertragen sind.
Die durchgeführten Beregnungssimulationen (vgl. Kapitel 5, Tabelle 36) zeigten, dass die Verhinderung bzw. Verminderung des Oberflächenabflusses durch konservierende Bodenbearbeitung auch auf den Verwitterungsböden im Festgesteinsbereich erzielt werden kann. Analog zu den Ergebnissen im Lößgebiet ist also auch im Festgesteinsbereich mit einem höheren Sickerwasseranfall bei konservierender Bodenbearbeitung zu rechnen.

6.4 Nitratverlagerung aus der Bodenzone in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Anhand der Nitratgehalte in der Bodenlösung, die mit Hilfe von Saugkerzen gewonnen wurde und der berechneten Sickerwassermenge in den entsprechenden Zeiträumen wurde die Verlagerung von Stickstoff aus der Bodenzone ermittelt. Vereinfachend wurden die Messwerte dabei auf die Fläche von einem Hektar hochgerechnet. Dabei wurden zwei verschiedene Ansätze gewählt, die beide im Hinblick auf die tatsächlichen N-Austräge gewisse Nachteile aufweisen.
Die N-Gehalte in der Bodenlösung wurden anhand von Proben bestimmt, die durch Saugkerzen gewonnen wurden. In den Saugkerzen wurde ein Unterdruck von 200 cm WS eingestellt, der einem pF-Wert von 2,3 entspricht. Die Saugkerzen wurden wöchentlich kontrolliert und ggf. das gespeicherte Bodenwasser entnommen und erneut Unterdruck angelegt.
Im ersten Berechnungsansatz wurden die N-Gehalte mit den jeweils für die Messspanne errechneten Sickerwassermengen verrechnet und so der N-Austrag bestimmt (Tabelle 41). Dabei wurde davon ausgegangen, dass nur in den Zeiträumen in denen bei einer Saugspannung von 200 cm WS in den Saugkerzen Bodenwasser gewonnen wurde, auch Sickerwasser auftrat. Jedoch war der Zeitraum, für den das Sickerwasserauftreten wie beschrieben berechnet wurde in fast allen Fällen länger, so dass bei diesem Ansatz ein Teil des Sickerwassers nicht berücksichtigt wurde.
Aus diesem Grund wurde im zweiten Ansatz die gesamte berechnete Sickerwassermenge berücksichtigt und die N-Austräge unter Zuhilfenahme der durchschnittlichen N-Gehalte in der Bodenlösung ermittelt. Dieser Ansatz ergab in der Regel gleiche oder höhere Werte für den N-Austrag (Tabelle 42). In einem Fall wurde eine geringere ausgetragene N-Menge

errechnet (Variante Pflug, Jahr 2001, Tabelle 42). Diese Unplausibilität ergab sich aufgrund der z.T. großen Schwankung der N-Gehalte.

Die errechneten Werte waren für beide Jahre in allen Varianten bei beiden Berechnungsansätzen mit Werten zwischen 0,1 und 10,3 kg*ha^{-1} recht gering (Tabelle 41 und Tabelle 42). Der erhöhte Wert in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 resultierte wiederum aus dem schwachen Pflanzenbestand im Bereich der Messparzelle. Ansonsten spiegelt sich in den Austragswerten der in der Bodenlösung der Pflugvariante erhöhte Nitratgehalt im Vergleich zu den konservierend bestellten Varianten wieder (vgl. Abbildung 34). Dieser führte in der Pflugvariante hinsichtlich des N-Austrages offenbar zu einer Überkompensierung des erhöhten Sickerwasseranfalls bei Pflugverzicht.

Durch den Einsatz von Saugkerzen wurden wahrscheinlich nicht alle Verlagerungsprozesse erfasst. Die Verlagerung von Stoffen in Makroporen ist mit dieser Methode nicht sicher zu erfassen. Hierfür wäre der Einsatz von Saugplatten zu präferieren, was jedoch einen weitaus höheren Aufwand bedeutet. Darüber hinaus ist der Einbau der Saugplatten oftmals mit erheblichen methodischen Schwierigkeiten verbunden.

Tabelle 41: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
2000	3,1	1,8	1,7	1,5
2001	1,1	0,1	0,2	8,9

*: Unter Berücksichtigung ausschließlich der Zeiträume, in denen mit Hilfe von Saugkerzen bei Saugspannung von 200 cm WS Bodenlösung gewonnen werden konnte. Verwendung von berechneten Sickerwassermengen und gemessenen Nitrat-Gehalten in diesem Zeitraum

Tabelle 42: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
2000	6,9	3,3	2,6	3,3
2001	0,9**	0,2	0,3	10,3

*: Unter Berücksichtigung der gesamten berechneten Sickerwassermenge. Verwendung der in der Bodenlösung durchschnittlich gemessenen Nitratgehalte

**: der geringere N-Austrag bei Berücksichtigung der gesamten Sickerwassermenge in der Variante Pflug resultiert aus der sehr stark schwankenden Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung. In den Zeiträumen mit erhöhter Sickerwasserbildung wurde auch eine hohe Nitratkonzentration gemessen. Aufgrund der Durchschnittsbildung werden diese Zeiträume untergewichtet

6.5 Modellierung des Wasserhaushaltes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Bei den vorab dargestellten Daten handelt es sich um die Ergebnisse aus Punktmessungen auf Praxisschlägen. Die Ergebnisse belegen die infiltrationsfördernde sowie boden- und

nährstoffabtragsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung. Um Aussagen zu den Auswirkungen bei flächenhafter Anwendung dieser Bodenbearbeitungsverfahren z.B. auf den Landschaftswasser- und -stoffhaushalt zu treffen, muss auf Modelle zurückgegriffen werden.
Wie verschiedene Arbeiten auch im Rahmen des Forschungsverbundes "Elbe-Ökologie" belegen, ist die Modellierung für den Bodenwasser- und -stoffhaushalt für konventionell bearbeitete Ackerflächen mit bestimmten Einschränkungen und Ungenauigkeiten in der Regel möglich. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die dargestellten Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung von keinem bisher verfügbaren Modell in ausreichender Genauigkeit vorausgesagt werden können. Bei Eingabe der entsprechenden Parameter berechnen manche Modelle sogar die den vorhandenen Messergebnissen genau widersprechenden Auswirkungen. So wird z.B. von vielen Modellen bei einer Erhöhung der Bodendichte eine verminderte Wasserleitfähigkeit abgeleitet. Ursache ist in diesem Fall, dass insbesondere der Makroporenfluss und die erhöhte Funktionalität der Makroporen modelltechnisch bislang nicht nachvollzogen werden.
Neben der Makroporosität können die Unterschiede in der Verschlämmungsanfälligkeit der Bodenoberfläche sowie die Wasserspeicherung und die Verdunstungsminderung durch die Mulchauflage bislang nicht ausreichend gefasst werden.
Das Erosionssimulationsmodell EROSION 2D/3D ist in der Lage, die Bodenerosion in Abhängigkeit von der Art der Bodenbearbeitung sehr exakt zu berechnen (SCHMIDT ET AL. 1996). Dies wurde durch zahlreiche Abtragsversuche mit einer Großberegnungsanlage auf unterschiedlichen Böden in Sachsen in den Jahren 1994 bis 1996 sichergestellt. Aus diesen Abtragsversuchen wurde u.a. ein an die jeweiligen Bodenverhältnisse angepasster Korrekturfaktor (Skinfaktor) ermittelt, der die auf Grundlage des Infiltrationsansatzes nach GREEN UND AMPT (1911) erechneten Werte korrigiert. Jedoch geben die Werte zum Oberflächenabfluss oftmals nicht die in den Beregnungsversuchen ermittelten großen Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren wider.

Auch andere überprüfte Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle können dies offenbar nicht leisten. So konnten die gemessenen Effekte mit Hilfe des Modells ARCEGMO nicht nachgebildet werden (MARSCHALL 2000). Gleiches gilt offenbar für die Modelle AKWA-M, MINERVA bzw. MESO-N (mündliche Mitteilung SCHWARZE 2001 und BEBLIK 2001).

Aufgrund der Neuartigkeit der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung liegen wenig Untersuchungsergebnisse über die Auswirkungen dieser Bewirtschaftungsverfahren auf den Wasserhaushalt vor. Die bestehende Datengrundlage zur Unterstützung der Modellentwicklung im Hinblick auf eine Abbildung der Effekte konservierender Bodenbearbeitungsverfahren ist noch nicht annähernd ausreichend. Erschwerend kommt

hinzu, dass die konservierende Bodenbearbeitung sich durch eine sehr große Variabilität auszeichnet und kein Leit- bzw. Standardgerät für die konservierende Bearbeitung vorliegt, wie es mit dem Pflug im Rahmen der wendenden Bodenbearbeitung gegeben ist. Diese hohe Variabilität ist aber gerade gewünscht und wesentliches Kennzeichen der konservierenden Bodenbearbeitung, da sie eine stetige Anpassung der Bodenbearbeitung als Reaktion auf die Bodenart, die Witterung, den Strukturzustand, die Bodenfeuchte, die Anforderungen der folgenden Kulturpflanze, die Menge an Pflanzenresten der Vorfrucht etc. erlaubt (KTBL, 1998). Die Variation der Bodenbearbeitung erfolgt z.B. in Form der Gerätewahl (Grubber, Scheibenegge, Kreiselegge...), der Bearbeitungstiefe, der Häufigkeit der Bearbeitungsgänge etc. Jede Kombination kann unterschiedlichen Einfluss auf wesentliche, den Wasser- und Stoffhaushalt bestimmende Eigenschaften des Bodens nehmen. Dies veranschaulicht die Bedeutung der vorab vorgestellten Untersuchungen z.B. hinsichtlich der bodenphysikalischen und bodenchemischen Auswirkungen der unterschiedlichen konservierenden Bestellverfahren.

Dies bedeutet, dass zukünftig weitere Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt für unterschiedliche konservierende Bodenbearbeitungsverfahren auf unterschiedlichen Standorten in verschiedenen Fruchtfolgen durchgeführt werden müssen, um die Grundlage zu schaffen, die relevanten Auswirkungen dieser Verfahren modelltechnisch abzusichern.

7 Erhebungen zu pflanzenbaulichen Parametern und zum Krankheits- und Schädlingsauftreten

Die Erhebungen zu pflanzenbaulichen Parametern sowie zur Pflanzen- und Wurzelentwicklung, zum Auftreten von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern und zum Pflanzenertrag sowie zu Inhaltsstoffen im Erntegut hatten zum Ziel, wichtige, noch unbekannte bodenbearbeitungsspezifische Effekte aufzuspüren bzw. bekannte Effekte zu überprüfen. Unter Nutzung dieser Ergebnisse erfolgte die Ableitung und Überprüfung von Handlungsstrategien im Sinne einer Minderung von möglichen negativen Ausprägungen bei Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung und einer Akzeptanzsteigerung für diese neuartigen Bodenbearbeitungsverfahren.

7.1 Feldaufgang und Bestandesdichte

Die Parameter Feldaufgang bzw. Bestandesdichte wurden auf allen Flächen untersucht. Dabei traten zwischen den konventionell und konservierend bearbeiteten Parzellen keine absicherbaren Unterschiede auf. Aus diesem Grund wird auf eine Darstellung der Ergebnisse an dieser Stelle verzichtet.

Faktoren die auf den Feldaufgang Einfluss nehmen können sind z.B. eine ungünstige Wasserversorgung im Saatbett (zu nass, zu trocken), zu niedrige Temperaturen im Saatbett, eine ungleichmäßige Ablage des Saatgutes (vertikal und horizontal), eine Ablage in z.B. Strohreste der Vorfrucht, Schädlingsbefall (z.B. Schnecken, Pilzkrankheiten etc.). Da alle Betriebe, bei denen die Versuchsparzellen angelegt wurden, bereits Erfahrung mit der konservierenden Bodenbearbeitung gesammelt haben und über eine geeignete Sätechnik verfügen, konnten gravierende Fehler bei der Aussaat vermieden werden.

Nur in den Direktsaatvarianten war teilweise ein geringerer Feldaufgang zu beobachten. Dies betraf insbesondere den Winterweizen im Jahr 2000/2001 nach Vorfrucht Winterweizen am Standort Lüttewitz und die Zuckerrüben an den beiden Standorten Lüttewitz und Zschortau. An diesen Standorten wurden die Bonituren durch das Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen durchgeführt. Da auch in der Vergangenheit meist ein geringerer Feldaufgang der Zuckerrüben in der Direktsaatvariante zu verzeichnen war, wurde bereits bei der Aussaat reagiert und die Aussaatstärke erhöht. In den Varianten Konservierend, Konservierend Locker und Pflug wurde eine Ablageentfernung in der Reihe von 19 cm gewählt, in der Direktsaat-Variante lag diese bei 17 cm. Dies entspricht bei einer Reihenentfernung von 45 cm einer Aussaatstärke von ca. 117.000 bzw. 131.000 Samen*ha^{-1}. Aber auch die höhere Aussaatstärke in der Variante Direktsaat konnte eine geringere Bestandesdichte und insbesondere einen ungleichmäßigeren Bestand im Vergleich zu allen anderen Varianten nicht ausgleichen (WEGENER 2001).

7.2 Auftreten von Unkräutern bzw. -gräsern, Pflanzenkrankheiten und Schädlingen

7.2.1 Auftreten von Unkräutern und Ungräsern in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Auf allen Versuchsstandorten wurden Bonituren zum Auftreten von Unkräutern und Ungräsern durchgeführt. Dabei stellten sich z.T. die bereits bekannte Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten heraus. In den dauerhaft pfluglos bearbeiteten Varianten konnte z.T. ein leicht erhöhtes Auftreten von Gräsern festgestellt werden, in den gepflügten Parzellen dominierte die zweikeimblättrige Begleitflora.

Aus Sicht der Umsetzung eines Bodenbearbeitungssystems ist es jedoch interessanter, ob sich nach den "üblichen" Herbizidapplikationen aufgrund der Bodenbearbeitung Unterschiede ergeben bzw. Probleme auftreten, die in der Folge zu erhöhten Aufwendungen führen bzw. Ertragseinbußen nach sich ziehen. Dies war auf keiner Untersuchungsfläche der Fall.

Vor Zuckerrüben wurde in den konservierend bestellten Varianten eine zusätzliche Behandlung mit einem nicht selektiven Herbizid durchgeführt. Zur Maisaussaat am Standort Niederstriegis erfolgte in der Variante Konservierend eine sehr intensive (drei Grubbergänge) nicht wendende Bodenbearbeitung, so dass hier keine Anwendung eines nicht selektiven Herbizides erfolgte. Nach der Ernte von Getreide wurde auf der Fläche Niederstriegis in Abhängigkeit von der Witterung und vom Feldzustand sowohl bei nachfolgender konservierender als auch bei konventioneller Bodenbearbeitung eine Behandlung mit einem nicht selektiven Herbizid durchgeführt. Die Behandlungen im Nachauflauf mit selektiven Herbiziden wurden entsprechend den Vorgaben der guten fachlichen Praxis für den Pflanzenschutzeinsatz unter Berücksichtigung des Auftretens von Unkräutern und Ungräsern durchgeführt. Hier ergaben sich zwischen den Bearbeitungsvarianten keine Unterschiede in den Bekämpfungsentscheidungen.

Dies bedeutet: Der Unterschied im Herbizidaufwand im Untersuchungszeitraum auf den Untersuchungsflächen bestand lediglich in einem Einsatz eines nicht selektiven Herbizids (Glyphosat) vor Zuckerrüben.

Auf dem Standort Lüttewitz konnte in den Varianten Direktsaat und Pflug nesterweise ein verstärktes Auftreten von Disteln beobachtet werden. Dies lag jedoch nach Aussagen des Betriebsleiters nicht an der Form der Bodenbearbeitung, sondern resultierte aus einem Distelauftreten bereits vor der Versuchsanlage (1992). Dieses Problem trat im gesamten Versuchszeitraum in den Varianten Pflug und Direktsaat auf. In den Varianten Konservierend und Konservierend-Locker wurden Disteln nicht zum Problem.

Ein ähnliches Phänomen zeigte sich am Standort Zschortau. Hier wurde bis 1998 vor der Versuchsanlage, eine Maisfruchtfolge angebaut. Entsprechend trat in den Folgejahren

verstärkt Hirse auf. Insbesondere galt dies für die Zuckerrüben. Der Schwerpunkt des Hirseproblemes lag in Teilbereichen der Varianten Pflug und Direktsaat. Auch hier ist also eher ein "altes" Fruchtfolgeproblem ausschlaggebend für das Auftreten der Hirse.
Am Standort Littdorf konnte im Jahr 2001 ein leicht erhöhtes Auftreten von Trespen beobachtet werden. Diese Pflanze gilt als das dominierende Problemungras der konservierenden Bodenbearbeitung. Es zeigte sich jedoch, dass bei einer zielgerichteten Stoppelbearbeitung und einer Gräserbehandlung in der Blattfrucht (Zuckerrübe) die Trespe selbst bei einem Wintergetreideanteil von 66 % weitgehend beherrschbar bleibt. Sicherer ist jedoch im Hinblick auf die Trespenbekämpfung eine Änderung der Fruchtfolge mit dem Ziel eines höheren Anteils von Blattfrüchten bzw. Sommerungen.

7.2.2 Auftreten von Krankheiten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Das Auftreten von Krankheiten wurde an den Standorten Zschortau und Lüttewitz seitens des Institutes für Zuckerrübenforschung, Göttingen untersucht. Auf allen anderen Standorten erfolgte im Rahmen der eigenen Untersuchungen eine Kontrolle bzw. Bonitur hinsichtlich des variantenspezifischen Auftretens von Pflanzenkrankheiten. Der Schwerpunkt wurde hierbei auf die Getreidekrankheiten gelegt.

Für bestimmte Erreger ist eine Beeinflussung des Auftretens in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem bekannt. Dies gilt besonders für die Krankheiten, deren Infektion vom abgestorbenen Pflanzenmaterial an der Bodenoberfläche ausgeht. Im Getreide sind die beiden wichtigsten hier zu nennenden Pathogene die Drechslera-Blattdürre (DTR-*Drechslera tritici repentis*) (KREYE ET AL. 1998) und die Ährenfusariosen (insb. *Fusarium graminearum* und bedingt *F. culmorum*).
Für die DTR-Blattdürre ist als wichtigster Risikofaktor der pfluglose Anbau von Winterweizen nach Winterweizen bekannt. Dieser Selbstfolge kommt in Sachsen nur eine untergeordnete Bedeutung zu, da bei Teilnahme an der Grundförderung des Agrarumweltprogrammes "Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)" keine Selbstfolgen gestattet sind. Insgesamt werden etwa 70 % der sächsischen Ackerfläche nach den Vorgaben der UL-Grundförderung bewirtschaftet. Im Untersuchungszeitraum wurde nur am Standort Lüttewitz diese Selbstfolge von Winterweizen nach Winterweizen praktiziert. In der Variante Direktsaat konnte im Stoppelweizen nach eigenen Beobachtungen ein deutlich höherer DTR-Befall als in der gepflügten und den konservierend bearbeiteten Varianten beobachtet werden, eine eigene gezielte Bonitur erfolgte hier allerdings, wie dargestellt, nicht.

Dem Befall von Winterweizen durch Ährenfusariosen kommt eine sehr hohe Bedeutung zu, da die relevanten Fusarium-Arten in der Lage sind, Toxine zu bilden, die sowohl

humantoxisch sind aber auch in der Viehfütterung zu großen Problemen führen können. Neben Weizen sind auch Hafer, Roggen und Triticale anfällig für den Fusariumbefall (AUFHAMMER ET AL. 1999). Das wichtigste, durch die Fusarium-Erreger *F. graminearum* und *F. culmorum* gebildete Toxin ist das Deoxynivalenol (DON), jedoch treten auch weitere toxische Pilzgifte aufgrund des Fusariumbefalls auf. Neben der Toxinbildung wird durch einen Befall mit Fusariosen der Ertrag sowie die Qualität des Erntegutes gemindert (PAWELZIK ET AL. 1998).
Nach Untersuchungen der Bayrischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau besteht die größte Infektionsgefahr bei den Vorfruchten Körnermais und Silomais. Darüber hinaus ist auch nach Feldgras mit einer hohen Infektionsgefahr zu rechnen (GEBHART 1998). Aber auch nach anderen Vorfrüchten kann immer wieder ein erhöhter Fusariumbefall beobachtet werden.
Als eine der wichtigsten vorbeugenden Maßnahmen gegen den Fusariumbefall wird in der Literatur vielfach die wendende Bodenbearbeitung angegeben, mit dem Ziel der Beseitigung der infektiösen (Mais-)Rückstände von der Bodenoberfläche. Dies hat zur Folge, dass aufgrund des Fusariumrisikos oftmals die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung unterbleibt, bzw. nur teilweise konservierend gewirtschaftet wird. Um den scheinbaren Zielkonflikt Boden- und Gewässerschutz einerseits und Erzeugung von unbelastetem Qualitätsgetreide andererseits aufzulösen, bedarf es also einer nachhaltigen Strategie gegen das Auftreten der Ährenfusariosen im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung.
Aus diesem Grund wurde ein Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Fusariumbefall gelegt.
Einerseits erfolgte in allen drei Untersuchungsjahren ein Screening von Winterweizen-Partien verschiedener Betriebe aus ganz Sachsen. Die Kornproben wurden unter Berücksichtigung verschiedener Weizensorten, Vorfrüchte und Bodenbearbeitungsverfahren genommen. Für alle Proben erfolgte eine Analyse auf den Gehalt an DON.
Über das Screening hinaus wurde im sächsischen Lößhügelland in den Jahren 1999/2000 und 2000/2001 in Zusammenarbeit mit einem Landwirtschaftsbetrieb ein gezielter Versuch zur Fusariumproblematik angelegt. Nach der Vorfrucht Körnermais wurden die Faktoren Sorte (stark anfällig versus wenig anfällig) und Bodenbearbeitung (Pflug, Konservierend und Direktsaat) geprüft.
Aus den erhaltenen Daten wurde eine Vorsorgestrategie gegen Fusariumbefall sowohl für konventionelle als auch für konservierende Bodenbearbeitungsverfahren abgeleitet, die bereits Eingang in die Empfehlungen der sächsischen Offizialberatung gefunden hat.

Die Ergebnisse des Screenings der Kornproben sind in Tabelle 43 zusammengefasst. Deutlich wird, dass in allen drei Jahren sowohl Weizenpartien mit sehr niedriger Belastung als auch Partien mit ausgesprochen hoher Belastung auftraten. In allen drei Jahren war der höchste

Befall bei Anbau einer anfälligen Weizensorte nach Vorfrucht Körnermais aufgetreten, in den Jahren 1999 und 2001 nach Winterweizendirektsaat und 2000 nach konservierender Bodenbearbeitung (ebenfalls nach Körnermais). In allen Fällen handelte es sich bei den sehr hoch befallenen Proben um anfällige Winterweizensorten. Aber auch nach einer Pflugfurche wurden 1999 bis 2001 bei der Vorfrucht Körnermais und Silomais sehr hohe DON-Gehalte im Winterweizen ermittelt. Diese Ergebnisse bestätigen die allgemein hohe Gefährdung von Winterweizen, der nach Körnermais angebaut wird. Deutlich wird aber auch, dass das Unterpflügen der Maisrückstände i.d.R. nicht ausreicht, um das Befallsrisiko gänzlich auszuschliessen. Ursache hierfür ist, dass insbesondere nach Körnermais sehr viel Pflanzenrückstände anfallen, die oftmals nicht sauber in den Boden eingepflügt werden können, so dass auch nach dem Pflügen noch infektiöses Material an der Bodenoberfläche verbleibt. Gleiches gilt für die Rückstände von Silomais, der zunehmend sehr hoch geschnitten wird, so dass die langen Rückstände beim Pflügen nicht sauber in den Boden eingearbeitet werden können.

Auch nach anderen Vorfrüchten (Zuckerrüben, Kartoffeln, Getreide etc.) konnten z.T. sehr hohe DON-Gehalte im Winterweizen festgestellt werden. Meist handelte es sich bei diesen Proben um stark fusariumanfällige Weizensorten.

Das geometrische Mittel der DON-Gehalte lag in den Jahren 2000 und 2001 deutlich niedriger als im Jahr 1999. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Probenauswahl nicht repräsentativ erfolgte. So stand im Jahr 1999 bei 18 von 28 Proben (64 %) als Vorfrucht Mais, im Jahr 2000 in 30 % und im Jahr 2001 in 31 % der Fälle. Dagegen steht im Durchschnitt in Sachsen nur etwa 10 % des Weizens nach der Vorfrucht Mais.

Bei einem erheblichen Teil der Proben konnte mittels des DON-ELISA Verfahrens keine Toxinbelastung festgestellt werden. Die Nachweisgrenze dieses Verfahrens liegt bei 110 ppb.

Tabelle 43: Minimaler und maximaler Gehalt an Deoxynivalenol (DON) in Winterweizen-Proben der Jahre 1999 bis 2001 von sächsischen Betrieben nach unterschiedlichen Vorfrüchten, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und bei verschiedenen Weizensorten (DON-ELISA, Nachweisgrenze: 110 ppb)

Jahr	Probenanzahl	min. DON-Gehalt [ppb]	geom. Mittel [ppb]*	max. DON-Gehalt [ppb]
1999	28	< 110	1490	4600
2000	95	< 110	350	3800
2001	97	< 110	520	> 6000

*: Die Auswahl der Proben erfolgte nicht repräsentativ. Der Anteil an Winterweizenproben, z.B. nach Vorfrucht Körnermais war in allen Jahren höher als der tatsächlich in Sachsen nach Körnermais angebaute Winterweizenanteil. Darüber hinaus erfolgte ein großer Teil der Probenauswahl durch die Landwirte, so dass nicht auszuschließen ist, dass bevorzugt Verdachtsproben abgegeben wurden.

Mit der Winterweizenaussaat 1999 und 2000 wurde an einem Standort im Sächsischen Lößhügelland jeweils ein Versuch zur Bedeutung der Faktoren Winterweizensorte und Bodenbearbeitung auf den Fusariumbefall nach der Vorfrucht Körnermais angelegt.
Die Ergebnisse zur DON-Belastung in Tabelle 44 verdeutlichen den starken Einfluss der Sorte. Die anfällige Sorte Bandit wies im Erntejahr 2000 unabhängig von der Bodenbearbeitung einen DON-Gehalt von 940 bis 1600 ppb auf. Im Jahr 2001, unter extremen Befallsbedingungen, lag der Befall dieser Sorte in allen Fällen sogar über 6000 ppb. In diesem Fall wurde bei der Analyse keine weitere Verdünnung durchgeführt. Es kann aufgrund des Zustandes der Kornproben nur vermutet werden, dass der DON-Gehalt ein Vielfaches der bestimmten Belastung ausmachte.
In beiden Jahren konnte durch den Anbau einer wenig anfälligen Sorte eine deutliche Reduktion des DON-Gehaltes erreicht werden. Dies galt für alle Bodenbearbeitungsvarianten. Im Erntejahr 2000 wurden bei Anbau der Sorte Petrus sowohl nach wendender als auch nach konservierender Bodenbearbeitung DON-Gehalte nahe der Nachweisgrenze ermittelt. Nach Direktsaat stieg jedoch im Jahr 2000 auch bei dieser Sorte der DON-Gehalt auf 960 ppb an (Tabelle 44). Im Jahr 2001 wies die Sorte Petrus bei wendender Bodenbearbeitung Werte zwischen 720 und 1150 ppb auf, bei konservierender Bodenbearbeitung lagen die Werte zwischen 1050 und 1250 ppb. Nur bei Direktsaat kam es wiederum zu einem deutlichen Anstieg. Die Sorte Vergas wies im Durchschnitt einen leicht höheren DON-Gehalt auf.
Die Ergebnisse des Jahres 2001 zeigen sehr klar, dass die Minderung des Fusariumbefalls mit einer Fungizidbehandlung (Tebuconazol) im Infektionszeitraum (Blüte des Weizens) trotz optimaler Bedingungen nur sehr geringe bzw. unzuverlässige Erfolgsaussichten bietet. In keinem Fall konnte der DON-Gehalt durch diese Behandlung in einen unkritischen Bereich gesenkt werden.
Insbesondere die Ergebnisse des Jahres 2001 zeigen, dass selbst unter extremen Befallsbedingungen (Witterung, Vorfrucht), allein durch den Anbau einer wenig anfälligen Sorte der DON-Gehalt deutlich gesenkt werden kann. Allerdings wird auch deutlich, dass in diesem Jahr weder durch den Einsatz des Pfluges noch durch konservierende Bodenbearbeitung ein Gehalt im "unbedenklichen" Bereich erreicht wurde, d.h. ein DON-Gehalt <500 ppb, dem derzeit diskutierten Grenzwert für Getreide. Sicher abzuleiten ist jedoch, dass eine Direktsaat von Weizen nach Körnermais auch bei Anbau einer wenig anfälligen Sorte ein nicht zu beherrschendes Risiko in Bezug auf einen hohen DON-Gehalt birgt und somit in jedem Fall vermieden werden sollte.
Die Ergebnisse legen nahe, dass auf eine weitere Minderung des Inokulums in Form von Pflanzenresten hingearbeitet werden sollte. Aus diesem Grund sollte unabhängig von der folgenden Bodenbearbeitung eine Förderung der Rotte der Maisrückstände erreicht werden. Die hierzu entwickelten Empfehlungen sind am Ende dieses Abschnittes dargestellt.

Tabelle 44: Gehalt an Deoxynivalenol (DON) in Winterweizenproben in den Jahren 2000 und 2001 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Sorte und einer Fungizidapplikation (nur 2001)

Bodenbearbeitung	Weizensorte*	DON-Gehalt (2000)	DON-Gehalt (2001) ohne Ährenbehandlung	DON-Gehalt (2001) mit Ährenbehandlung
Pflug	Bandit	940	>6000	>6000
	Petrus	210	720	1150
	Vergas	-	1550	1250
Konservierend	Bandit	1050	-	-
	Petrus	220	1250	1050
	Vergas	-	-	-
Direktsaat	Bandit	1600	>6000	>6000
	Petrus	960	2200	1600
	Vergas	-	3800	1050

*: Sorte Bandit: stark fusariumanfällig, Sorten Petrus und Vergas: gering fusariumanfällig

Die in Tabelle 45 dargestellten Erträge des Winterweizens zeigen, dass die stark fusariumanfällige Sorte in beiden Jahren bei wendender Bodenbearbeitung im Ertrag um etwa 10 % über der wenig anfälligen Sorte Petrus liegt. Gleiches gilt für die Konservierende Bodenbearbeitung im Jahr 2000. Deutlich wird aber auch, dass bei dem extremen Befall nach Direktsaat im Jahr 2001 die Sorte Bandit im Ertrag stärker einbricht als die beiden wenig anfälligen Sorten.

Der scheinbare Ertragsanstieg aufgrund der Fungizidbehandlung ist kritisch zu hinterfragen, da aufgrund der Großparzellenanlage die Fläche ohne Blütenbehandlung etwa 300 m von der Fläche mit Ährenbehandlung entfernt lag, so dass trotz sehr homogener Bodenbedingungen auch der Standort einen Anteil an den Ertragsunterschieden gehabt haben könnte.

Die bisher verfügbaren, wenig fusariumanfälligen Weizensorten liegen im Ertrag i.d.R. unterhalb der stark anfälligen Sorten. Die geringere Ertragserwartung wird aber durch eine größere Sicherheit ausgeglichen, Getreide zu produzieren, welches aufgrund geringer Toxinbelastung gut zu vermarkten ist. Jedoch sind in diesem Zusammenhang auch die Pflanzenzüchter gefordert, größeres Augenmerk auf die Bereitstellung ertragreicher, wenig anfälliger Sorten zu legen, wie dies in den letzten Jahren auch zunehmend zu beobachten ist.

Tabelle 45: Winterweizenertrag in den Jahren 2000 und 2001 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Sorte und einer Fungizidapplikation (nur 2001)

Bodenbearbeitung	Weizensorte*	Ertrag [dt*ha^{-1}]	Ertrag [dt*ha^{-1}] ohne Ährenbehandlung	Ertrag [dt*ha^{-1}] mit Ährenbehandlung
Erntejahr		2000	2001	2001
	Bandit	87,52	90,04	103,19
Pflug	Petrus	78,44	82,47	94,00
	Vergas	-	81,29	90,28
	Bandit	86,09	-	-
Konservierend	Petrus	79,79	93,59	94,07
	Vergas	-	-	-
	Bandit	89,69	61,98	69,16
Direktsaat	Petrus	80,57	73,73	80,15
	Vergas	-	70,01	86,02

*: Sorte Bandit: stark fusariumanfällig, Sorten Petrus und Vergas: gering fusariumanfällig

Aus den vorab dargestellten Ergebnissen lassen sich wesentliche Anknüpfungspunkte für eine Strategie zur nachhaltigen Minderung des Fusariumbefallsrisikos bei Gtreide unabhängig von der Form der Bodenbearbeitung ableiten, die im Folgenden dargestellt werden.

1. Verzicht auf die Vorfrucht Mais.

Durch einen Verzicht des Winterweizenanbaus nach Mais lässt sich das Infektionsrisiko beträchtlich senken. Jedoch kann auch bei anderen Vorfrüchten ein hoher Befall nicht ausgeschlossen werden.

2. Anbau wenig anfälliger Winterweizensorten.

Grundlage jeder Strategie gegen das Fusariumauftreten sollte der Anbau wenig anfälliger Getreidesorten sein. Dies ist die beste Absicherung gegen extreme DON-Werte. Hoch anfällige Sorten sollten auf keinen Fall nach Maisvorfrucht angebaut werden (unabhängig von der Bodenbearbeitung). Aber auch nach anderen ("ungefährlichen") Vorfrüchten bergen die stark anfälligen Sorten in Befallsjahren ein hohes Risiko.

3. Die Bekämpfung der Fusariosen mit Fungiziden stellt keine sichere Maßnahme dar.

Aufgrund der nur kurzen Infektionsphase durch den Erreger, die außerdem nur schwer zu bestimmen ist, kann die Bekämpfung durch Fungizide nicht als Maßnahme gegen den Fusariumbefall empfohlen werden. I.d.R. wird von einem maximalen Bekämpfungserfolg von 50 % ausgegangen, teilweise traten nach Ährenbehandlung sogar höhere Befallswerte auf.

4. Reduzierung des Mulchmaterials und Förderung der Rotte.

Eine wichtige Voraussetzung zur Minderung des Befallsrisikos ist die Verminderung des Fusarium-Inokulumpotenzials an der Bodenoberfläche zum Zeitpunkt der Infektion (Blüte des

Weizens). Wie dargestellt, geht die höchste Gefährdung vom Mais aus. Neben der guten Eignung des Maises als Substrat für den Pilz, hat dies seine Ursache auch darin, dass die Maisrückstände (Strünke, Stängel, Spindeln) aufgrund ihrer Größe nur sehr schlecht aufgeschlossen werden und in Folge dessen nur langsam verrotten. Das bedeutet, um einen schnellen Abbau zu gewährleisten, müssen die großen Rückstände zunächst kleingeschlegelt werden und dann in den umsetzungsaktivsten Bodenbereich eingearbeitet werden. Dies ist in der Regel die Oberkrume. Insbesondere bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung ist das Abbaupotenzial in diesem Bodenbereich mit seiner höheren biologischen Aktivität stark erhöht (vgl. Kapitel 4.3). Aus diesem Grund bietet insbesondere die konservierende Bodenbearbeitung eine gute Voraussetzung, das Fusariumproblem nachhaltig zu lösen.

Auf den Untersuchungsflächen konnte bei keiner weiteren Krankheit ein differenzierter Befall in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung festgestellt werden.

7.2.3 Auftreten von Schädlingen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Das Auftreten von Schädlingen wurde auf allen Untersuchungsflächen regelmäßig beobachtet. In mehreren Fällen wurden Insektizide eingesetzt (z.B. im Winterraps (gegen Kohltriebrüssler und Rapsglanzkäfer) und Winterweizen (gegen Blattläuse)). Daher kam es nicht zu erheblichen Ertragseinbussen, die sich auf den Schädlingsbefall zurückführen ließen. In keinem Fall konnten Unterschiede im Auftreten von Schädlingen beobachtet werden, so dass aufgrund der unterschiedlichen Bodenbearbeitung auch keine unterschiedliche Bekämpfungsentscheidungen getroffen werden mussten.
Oftmals wird das verstärkte Auftreten von Schnecken mit der konservierenden Bodenbearbeitung in Verbindung gebracht. Aus Kapazitätsgründen wurde das Schneckenauftreten auf den Untersuchungsflächen nicht exakt erfasst. Jedoch wurde während des Projektzeitraumes in keinem Fall ein deutlicher Einfluss von Schnecken auf den Feldaufgang der Bestände beobachtet. In der Direktsaatparzelle am Standort Lüttewitz kam es zu großen Fehlstellen beim Weizenaufgang im Herbst 2000. Dies konnte jedoch nicht auf Schneckenfraß zurückgeführt werden. Hier war offenbar eine schlechte Saatgutablage und eine daraus resultierende ungenügende Wasserversorgung die Ursache.
Auf allen Untersuchungsflächen wurde nach der Bodenbearbeitung und der Aussaat eine gute Rückverfestigung durch den Einsatz einer Walze durchgeführt, mit dem Ziel Bodenhohlräume zu reduzieren und die Bewegungs- sowie Eiablagemöglichkeiten für Schnecken einzuschränken. Es kann vermutet werden, dass diese Maßnahme erheblich dazu beigetragen hat, Schäden durch Schnecken auf den Untersuchungsflächen zu minimieren.

7.3 Durchwurzelung des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Im Jahr 1999 wurden an den Standorten Lüttewitz, Niederstriegis und Littdorf und im Jahr 2000 an den Standorten Lüttewitz und Niederstriegis Untersuchungen zur Durchwurzelung des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung durchgeführt.
Neben der Anwendung der Bohrkernmethode an allen drei Standorten wurde am Standort Lüttewitz im Jahr 1999 eine Profilwandaufnahme der Durchwurzelung durchgeführt.

Die Abbildung 42 zeigt, dass die Durchwurzelungsintensität am Standort Lüttewitz im Jahr 1999 in der Oberkrume (Bodentiefe: 0-10 cm) bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat höher war als bei wendender Bodenbearbeitung. In der Unterkrume (Bodentiefe: 20-30 cm) war dagegen die Durchwurzelung in der gepflügten Variante höher. Unterhalb der Pflugtiefe (> 30 cm) ließ sich dann in dieser Variante ein plötzlicher Rückgang der Wurzellängendichte feststellen. In den beiden anderen, pfluglos bestellten Varianten war dieser abrupte Rückgang der Durchwurzelungsdichte nicht festzustellen. In diesen beiden Varianten erfolgte ein allmählicher Rückgang der Wurzellängendichte bis in den Unterboden, der zu einer stärkeren Durchwurzelung in dem Bereich zwischen 60 und 100 cm Tiefe führte. Viele Wurzeln wuchsen gerade in den pfluglos bestellten Varianten in vertikalen Makroporen (Regenwurmgänge) in den Unterboden ein und breiteten sich dort wieder in die Bodenmatrix aus.

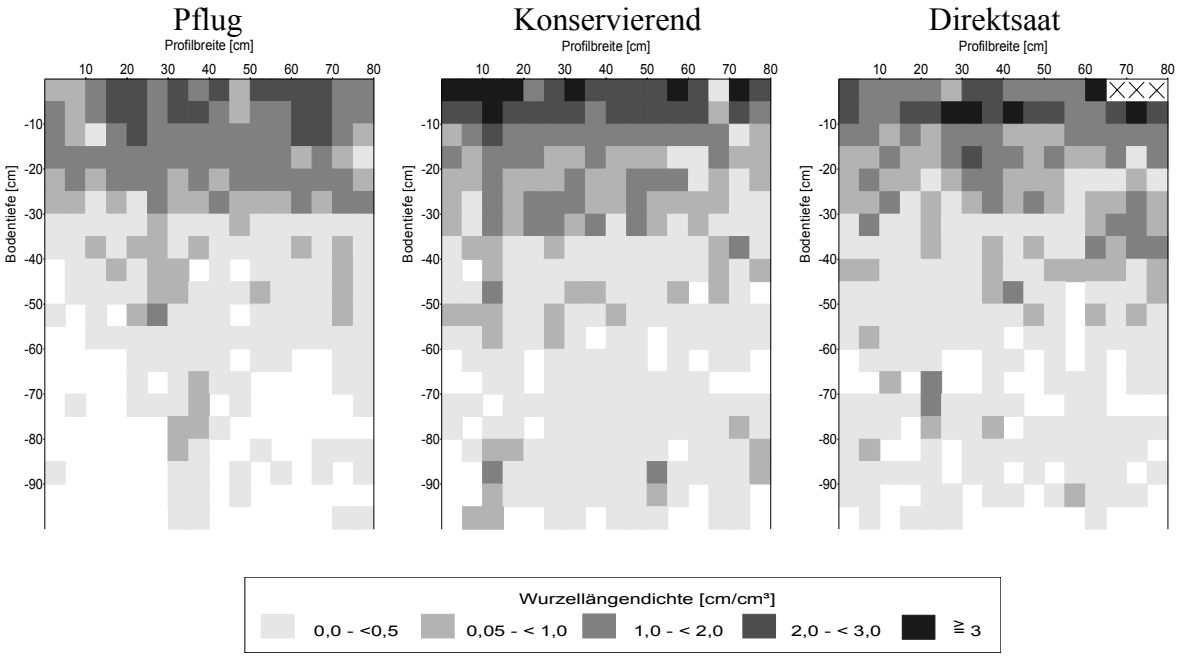

Abbildung 42: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im August 1999, Kultur: Zuckerrüben, Profilwandmethode

Die Ergebnisse der Durchwurzelungsuntersuchung mittels Profilwandmethode konnten mit Hilfe der Bohrkernmethode nur zum Teil bestätigt werden (Abbildung 43). Die Varianten Direktsaat und Pflug zeigten eine fast gleichlaufende Durchwurzelung. In der Variante Konservierend konnte eine geringere Durchwurzelung in der Mittelkrume und eine stärkere Durchwurzelung zwischen 30 und 80 cm im Vergleich zu beiden anderen Varianten festgestellt werden.

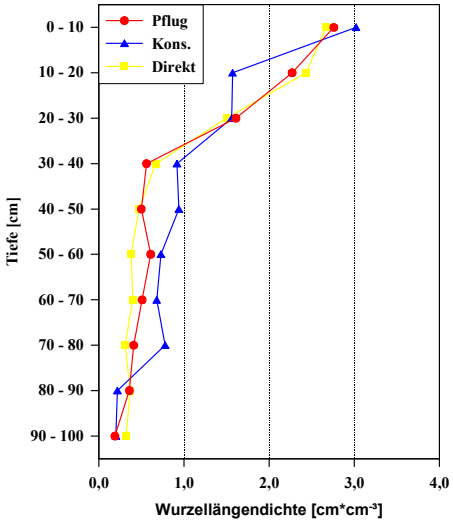

Abbildung 43: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im August 1999, Kultur: Zuckerrüben, Bohrkernmethode

Am Standort Niederstriegis konnten im Jahr 1999 nur in der Krume Unterschiede hinsichtlich der Durchwurzelung festgestellt werden. In der Oberkrume zeigte die Variante Pflug eine etwas geringere und in der Mittelkrume eine deutlich höhere Wurzellängendichte als die Variante Konservierend. Die Proben wurden aus Befahrbarkeitsgründen erst direkt nach der Maisernte im Oktober 1999 entnommen, unter der Annahme, dass die Wurzeln zu diesem Zeitpunkt noch weitestgehend erhalten sind. Zu beachten ist, das es sich im Jahr 1999 um das erste Jahr der konservierenden Bearbeitung an diesem Standort handelte.

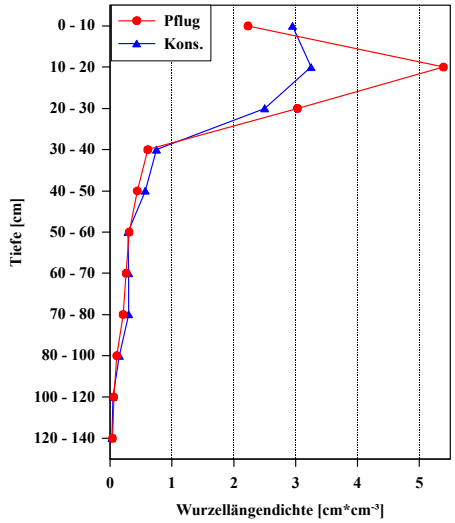

Abbildung 44: Wurzellängendichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Oktober 1999, Kultur: Körnermais, Bohrkernmethode

Auch am Standort Littdorf konnte im Jahr 1999 (dem erstmaligen Pflugeinsatz nach 8-jährig konservierender Bearbeitung) nur in der Krume ein Unterschied in der Durchwurzelung festgestellt werden. Sowohl in der Ober- als auch in der Mittelkrume war die Durchwurzelung nach Pflugeinsatz höher (Abbildung 45).

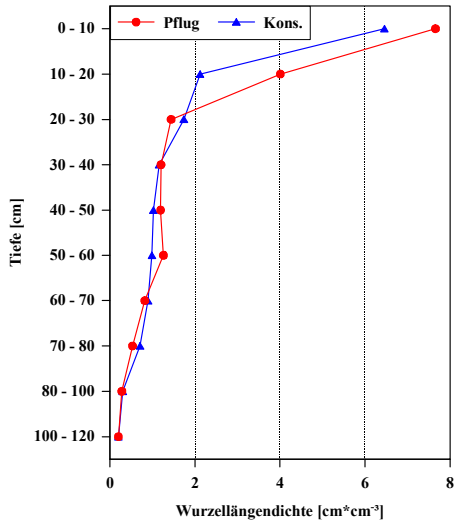

Abbildung 45: Wurzellängendichte am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 1999, Kultur: Winterweizen, Bohrkernmethode

Im Jahr 2000 konnten am Standort Lüttewitz zwischen der Variante Pflug einerseits und den Varianten Konservierend und Konservierend-Locker andererseits wieder deutliche Unterschiede in der Durchwurzelung festgestellt werden (Abbildung 46). Deutlich zeigte sich eine sehr intensive Durchwurzelung in der Krume der Pflugvariante und dann ein starker

Rückgang im Bereich der Pflugsohle. Dagegen nahm die Durchwurzelung in den Konservierend bearbeiteten Varianten stetig von der Oberkrume bis in den Unterboden ab. Insbesondere im Bereich zwischen 30 und 70 cm zeigte sich eine erheblich höhere Wurzellängendichte als bei Pflugeinsatz (Abbildung 46). In der Variante Direktsaat wurde in nahezu allen Tiefenstufen die niedrigste Durchwurzelungsintensität festgestellt. Die Ursache hierfür konnte nicht sicher bestimmt werden.

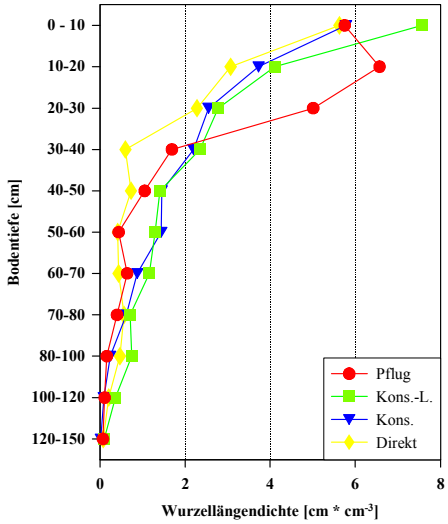

Abbildung 46: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 2000, Kultur: Winterweizen, Bohrkernmethode

Am Standort Niederstriegis zeigte sich bereits im zweiten Jahr nach Anlage der Bodenbearbeitungsvarianten eine deutliche Differenzierung in der Durchwurzelung. In der Variante Konservierend konnte sowohl in der Krume als auch im Unterboden eine höhere Durchwurzelungsintensität als in der Variante Pflug festgestellt werden (Abbildung 47). Die höhere Durchwurzelung auch in der Mittel- und Unterkrume widerspricht den Beobachtungen auf den anderen Standorten. Eine sichere Erklärung für dieses Ergebnis kann nicht gegeben werden. Es steht aber zu vermuten, dass die intensive, nichtwendende Einarbeitung der Körnermaisrückstände bis in 20 cm Tiefe mit einem Grubber zu einem starken Abbau dieses organischen Materials und zu einer Förderung des Bodenlebens geführt hat. Dies kann sich positiv auf die Durchwurzelung in der Krume ausgewirkt haben. In der Variante Pflug wurde die große Masse an organische Substanz in die Unterkrume eingepflügt. Hierdurch kann es zu anaeroben Bedingungen in der Unterkrume gekommen sein, die die Durchwurzelung beeinträchtigt haben könnte.

Darüber hinaus wurde in der konservierend bearbeiteten Variante eine erhebliche Regenwurmaktivität, insbesondere der anektischen Arten, beobachtet. Dies hat wahrscheinlich zu einer guten Durchporung der Krumenbasis und des Unterbodens beigetragen und somit die Durchwurzelung in diesem Bereich gefördert.

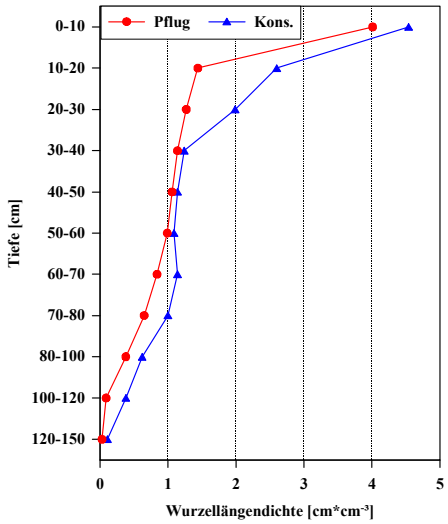

Abbildung 47: Wurzellängendichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 2000, Kultur: Sommergerste, Bohrkernmethode

Insbesondere bei langjährig konservierender Bodenbearbeitung zeigte sich eine intensivere Durchwurzelung der Oberkrume und des Unterbodens im Vergleich zu den langjährig gepflügten Flächen. Auf den gepflügten Flächen war die Hauptwurzelmasse i.d.R. in der Krume anzutreffen. An der Krumenbasis trat dann ein plötzlicher Rückgang der Durchwurzelungsintensität auf. Möglicherweise ist hierfür eine Pflugsohlenverdichtung verantwortlich. Außerdem spielt die an den Standorten Lüttewitz und Zschortau nachgewiesene bessere Porenkontinuität eine wichtige Rolle für ein ungestörtes Wurzelwachstum am Übergang von der humosen Ackerkrume zum Unterboden. Die bessere Durchwurzelungsintensität im Unterboden stellt für die Pflanzen insbesondere bei sehr trockenen Bedingungen eine wichtige Möglichkeit dar, auf Wasserreserven in diesem Bereich zurückzugreifen. Dagegen muss auf langjährig gepflügten Flächen ein Großteil des Wasserbedarfes aus dem stärker von Austrocknung betroffenen Oberboden gedeckt werden.
Auch eine verstärkte Ausschöpfung von Nährstoffen aus dem Unterboden ist bei besserer Durchwurzelung in diesem Bereich zu vermuten. Dies konnte jedoch im Rahmen der Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Zu prüfen wäre, ob hierdurch einer Verlagerung von Nährstoffen aus der durchwurzelten Zone aktiv begegnet werden kann, bzw. Nährstoffe, die bereits in tiefere Bodenhorizonte verlagert wurden, verstärkt für den Pflanzenbestand nutzbar gemacht werden können.
Im Untersuchungszeitraum trat an keinem Standort ein extremer Wassermangel auf, so dass dieser Effekt nicht ertragswirksam wurde.

7.4 Erträge auf den Untersuchungsflächen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

In den Untersuchungsjahren wurden auf allen Standorten der jeweilige Ertrag in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung ermittelt. Bei den Druschfrüchten geschah dies entweder mit einem Parzellenmähdrescher oder durch eine Ertragsmesseinrichtung am Mähdrescher. Auf den Betrieben Lüttewitz und Zschortau wurde z.T. auch der gesamte Parzellenertrag getrennt abgefahren und gewogen. Nähere Angaben zu der jeweiligen Art der Ertragsermittlung sind den folgenden Tabellen (Tabelle 46 bis Tabelle 48) zu entnehmen.

Im Durchschnitt der Jahre konnten keine Abweichungen im Ertrag zwischen der konservierenden und der wendenden Bodenbearbeitung festgestellt werden. Auch in den Einzeljahren waren die Abweichungen nur gering. Nur in einem Fall waren diese Unterschiede statistisch absicherbar (Littdorf 2000, Triticale, Tabelle 47). Bei einem erheblichen Teil der Ertragsermittlungen ließ die Ganzflächenbeerntung jedoch keine statistische Auswertung zu.

Die Erträge nach konservierender Bodenbearbeitung lagen teilweise über und teilweise unter den Vergleichserträgen nach Pflugeinsatz. Dies entspricht auch den Beobachtungen auf Betrieben, die nach Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung lediglich in den Anfangsjahren vereinzelt über Ertragsdepressionen berichten, die meist auf Managementfehler zurückzuführen sind. Wird das System der konservierenden Bodenbearbeitung acker- und pflanzenbaulich beherrscht, sind im Schnitt der Jahre keine Ertragsdepressionen zu erwarten.

Die Erträge in den Direktsaat-Varianten fielen in allen Jahren gegenüber den anderen Bodenbearbeitungsverfahren ab. Besonders galt dies für die Zuckerrüben im Jahr 1999 (Tabelle 46) und für die fusariumanfällige Winterweizensorte (Bandit) am Standort Lüttewitz im Jahr 2001 (Tabelle 48).

Tabelle 46: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 1999 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Standort*	Kulturart	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
Lüttewitz*	Zuckerrübe	674,4	733,2	656,5	631,3
Zschortau	Zuckerrübe	561,9	561,9	518,2	471,8
Niederstriegis*	Körnermais	107,5	-	107,9	-
Littdorf	Winterweizen	97,9 a	-	96,0 a	-
Lippersdorf**	Silomais	-	-	-	-

*: Ertragsermittlung durch Beerntung der gesamten Versuchsparzellen ohne Wiederholungen (Lüttewitz und Zschortau: Bereitstellung der Daten durch Südzucker AG, Niederstriegis: Beerntung mit Ertragsmesseinrichtung durch den Betrieb).

**: Am Standort Lippersdorf konnte im Jahr 1999 keine repräsentative Versuchsanlage etabliert werden, so dass eine Beerntung nicht sinnvoll war.

Tabelle 47: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 2000 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Standort	Kulturart	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
Lüttewitz*	Winterweizen	89,2	84,1	83,2	79,8
Zschortau*	Winterweizen	82,9	87,4	86,7	82,8
Niederstriegis	Sommergerste	59,7 a	-	56,4 a	-
Littdorf	Triticale	99,5 a	-	104,5 b	-
Lippersdorf*	Sommergerste	28,6	-	30,2	-
Krumhermersdorf	Wintergerste	64,1 a	-	61,5 a	-

*: Ertragsermittlung durch Beerntung der gesamten Versuchsparzellen ohne Wiederholungen (Lüttewitz und Zschortau: Bereitstellung der Daten durch Südzucker AG, Lippersdorf: Beerntung mit Ertragsmesseinrichtung durch den Betrieb).

Tabelle 48: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 2001 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Standort	Kulturart	Pflug	Kons.-L	Kons.	Direkt
Lüttewitz	WW-Sorte Petrus	80,6 a	82,1 a	79,9 a	62,9 b
Lüttewitz	WW-Sorte Bandit	96,3 a	86,5 a	91,8 a	56,9 b
Zschortau*	Wintergerste	97,7	100,5	99,4	95,5
Niederstriegis	Winterraps	30,8 a	-	31,3 a	-
Littdorf	Zuckerrübe	654,2 a	-	643,1 a	-
Lippersdorf***	-	-	-	-	-
Krumhermersdorf**	Erbsen	-	-	-	-

*: Ertragsermittlung durch Beerntung der gesamten Versuchsparzellen ohne Wiederholungen (Bereitstellung der Daten durch Südzucker AG).
**: Durch einen Spritzfehler wurde die Variante Pflug so stark beeinträchtigt, dass eine vergleichende Beerntung nicht sinnvoll war.
***: Am Standort Lippersdorf wurde im Jahr 2001 keine Pflugvariante angelegt, der Betrieb hat seine Bodenbearbeitung vollständig auf kons. Bodenbearbeitung umgestellt.

7.5 Qualitätsparameter des Erntegutes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Anhand von Ernteproben wurden verschiedene Qualitätsparameter und Inhaltsstoffe des Erntegutes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung bestimmt.

Für Getreide waren dies: die Tausendkornmasse, der Protein- bzw. Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalt. Bei den Zuckerrüben wurde seitens der Südzucker AG der Zuckergehalt, der Natrium-, Kalium- und Amino-N-Gehalt, der Standardmelasseverlust und daraus der Bereinigte Zuckerertrag bestimmt.

Beim Getreide ergaben sich keine Unterschiede zwischen der konservierenden und der wendendenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der untersuchten Parameter.

Die Zuckerrüben zeigten sehr geringe Unterschiede im Standardmelasseverlust. Dieser war am Standort Zschortau in der Pflugvariante leicht erhöht. Zurückzuführen ist dies auf geringfügig erhöhte Amino-N- und Natrium-Gehalte. Leicht erhöhte Amino-N-Gehalte konnten auch in der Variante Pflug am Standort Lüttewitz festgestellt werden. Diese Ergebnisse werden auch von WEGENER (2001) bestätigt, der neben den Standorten Lüttewitz und Zschortau acht weitere Untersuchungsflächen mit vergleichbarer Versuchsanlage

auswertete. Weitergehende Unterschiede bezüglich der Inhaltsstoffe wurden nicht nachgewiesen.

8 Acker- und Pflanzenbauliche Empfehlungen zur Förderung der Umsetzung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren

Die sichere Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung für einen vorsorgenden und wirksamen Erosionsschutz wird von Landwirten i.d.R. anerkannt. Jedoch werden bei der Umsetzung dieser Verfahren vielfach wirtschaftliche Einbußen befürchtet bzw. nicht beherrschbare acker- und pflanzenbauliche Probleme erwartet, die dann ihrerseits wieder zu wirtschaftlichen Einbußen führen können. Darüber hinaus wird vielfach die Umstellung der Technik aufgrund der damit verbundenen Investitionskosten gescheut.
Alle genannten Bereiche bilden Hinderungsgründe, die einer raschen Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung entgegenstehen. Dies ist auf verschiedene Unsicherheiten zurückzuführen, die bei Befragung von Landwirten immer wieder genannt werden. Im Folgenden sollen die wesentlichen Unsicherheiten und Fragen aufgegriffen und ihnen jeweils in kurzer Form mögliche Lösungsstrategien gegenübergestellt werden.

Die erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung ist neben der Schaffung einer Mulchbedeckung auf eine stabile Bodenstruktur und die Bildung eines sehr funktionalen Porenraumes zurückzuführen. Vielfach wird von Landwirten die notwendige Bodenbearbeitungsintensität im Rahmen der konservierenden Bestellverfahren überschätzt. So werden oftmals zu viele Bodenbearbeitungsgänge durchgeführt, um eine Bodenstruktur zu schaffen, die derjenigen nach Pflugeinsatz zumindest optisch vergleichbar ist. Dies führt einerseits zu einem reduzierten Erosionsschutz auf den Flächen und bedeutet andererseits zusätzliche Kosten, die den ökonomischen Vorteil der konservierenden Bodenbearbeitung verringern. Die Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen zeigen genau so wie Praxiserfahrungen, dass auch bei geringer Bodenbearbeitungsintensität und hohem Mulchbedeckungsgrad gleichmäßige Bestände erreicht werden können, und keine Ertragsminderung zu befürchten ist. Insbesondere die in den letzten Jahren weiter entwickelte Sätechnik erlaubt es, auch bei hoher Mulchbedeckung eine sichere Saatgutablage zu erzielen. Allgemeingültige Empfehlungen sind hierzu aber nur schwer möglich, da die Auswahl der idealen Geräte u.a. stark von den jeweiligen Bodenzuständen abhängig ist.
Oftmals wird die Aussaat auf konservierend bestellten Flächen durch eine Saatbettbereitung vorbereitet. Diese ist sicher nicht in jedem Fall notwendig. Über einen Verzicht auf diese Maßnahme muss in Abhängigkeit von den aktuellen Bedingungen im Einzelfall entschieden werden. In jedem Fall sollten aber passiv arbeitende Geräte (wie z.B. Flachgrubber) für diese Maßnahme zum Einsatz kommen, da bei aktiv arbeitenden Geräten (z.B. Kreiseleggen) mit einer starken Zerstörung von Bodenaggregaten zu rechnen ist. Dies fördert besonders auf

schluffreichen Böden die Verschlämmungsanfälligkeit. Darüber hinaus verursachen aktiv angetriebene Geräte höhere Kosten und eine geringere Flächenleistung.
Wichtig ist im Zusammenhang mit der Bodenbearbeitung der Hinweis, dass Geräte zum Einsatz kommen, die eine sehr genaue Tiefenführung ermöglichen. Dies ist notwendig, um gezielt auf vorhandene Bedingungen reagieren zu können. So ist oftmals eine besonders flache Bearbeitung von nur wenigen Zentimetern Tiefe sinnvoll. Durch die Entwicklung neuartiger Flachgrubber und tiefengeführter Scheibeneggen in den letzten Jahren ist die Umsetzung dieser Anforderung möglich.
Die vorgestellten Ergebnisse verdeutlichen ebenfalls, dass ein starres Bearbeitungssystem zu Problemen führen kann. So ist bei dauerhaft gleichmäßig flacher Bearbeitung mit einer Ausprägung von Bearbeitungssohlen zu rechnen. Dies legt nahe, die Bearbeitungstiefe von Jahr zu Jahr bzw. im Fruchtfolgeverlauf zwischen 0 und 20 cm zu variieren.
Vielfach wird in der Praxis ein temporärer Pflugverzicht durchgeführt (z.B. ein bis zwei mal in einer Rotation). Dies ist nur im Hinblick auf ein "Herantasten" an die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung als sinnvoll zu erachten, da sich die wesentlichen Vorteile des Pflugverzichtes bezüglich biologischer Aktivität, Wasserhaushalt, Durchwurzelbarkeit etc erst nach mehreren Jahren ergeben. Außerdem muss bei einer nur teilweisen Umstellung eine doppelte Mechanisierung, sowohl für den Pflugeinsatz als auch für die konservierende Bodenbearbeitung, vorgehalten werden, die wiederum erhebliche Kosten verursacht.
Die dauerhafte Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung erfordert z.B. bei sehr hohem Wintergetreideanteil eine Umstellung der Fruchtfolge. In welchem Maße dies sinnvoll und möglich ist, hängt insbesondere auch wieder von der jeweiligen betrieblichen Struktur und von den ökonomischen Rahmenbedingungen ab. In Zukunft sollte die ökonomische Bewertung der einzelnen Fruchtfolgeglieder aber verstärkt hin zu einer ökonomischen Bewertung ganzer Fruchtfolgen entwickelt werden. So können geringere Erlöse einzelner Kulturen durch die generellen Einsparmöglichkeiten bei der Bodenbearbeitung bzw. durch ihre spezifischen Vorfruchtwirkungen, die der folgenden Kultur zugute kommen, meist sogar überkompensiert werden.

Oftmals werden von Landwirten Probleme mit Wurzelunkräutern und Ungräsern sowie mit Krankheiten und Schädlingen befürchtet, die nur durch den Pflug wirksam zu bekämpfen seien.
Die Erfahrungen auf allen untersuchten Betrieben zeigen, dass das Unkraut- und Ungrasauftreten beherrschbar bleibt, wenn der Wintergetreideanteil nicht zu hoch ist. Bei 66 % Anteil ist langfristig sicherlich schon von einer Zunahme insbesondere der Ungräser auszugehen. Das bedeutet, dass die Lösung dieses Problems hauptsächlich in der Fruchtfolge zu suchen ist, wie es im Sinne eines integrierten Pflanzenbaues sowieso anzustreben ist. Darüber hinaus gewinnt auch die zielgerichtete Stoppelbearbeitung an Bedeutung. Viele

Ungräser oder Unkräuter treten auch bei konventioneller Bodenbearbeitung auf (Quecke, Windhalm, Ackerfuchsschwanz, Ackerkratzdistel) und legen nahe, dass auch durch den Pflugeinsatz nicht alle Probleme (z.B. einer engen Fruchtfolge) ausgeglichen werden können.

Ähnliches gilt auch für das Auftreten von Krankheiten und Schädlingen. Hier ist im Einzelfall genau auf die Entwicklungszyklen der jeweiligen Erreger zu achten. In Verbindung mit der konservierenden Bodenbearbeitung werden von Landwirten hauptsächlich die Getreidekrankheiten Drechslera-Blattdürre an Weizen und Ährenfusariosen genannt. Beide infizieren die Kulturpflanzen ausgehend von Pflanzenresten an der Bodenoberfläche. Die Drechslera-Blattdürre tritt meist nur dann verstärkt auf, wenn Winterweizen in Selbstfolge angebaut wird. Das bedeutet, dass auch in diesem Zusammenhang alles gilt, was für den integrierten Pflanzenbau und insbesondere für die Fruchtfolge gesagt wurde. Für das Auftreten der Ährenfusariosen ist das Problem etwas differenzierter zu beurteilen, da sie ein ausgesprochen breites Wirtsspektrum haben und sich auf den Rückständen fast aller Kulturpflanzen vermehren können. Aus diesem Grund wurde das Problem der Ährenfusariosen gezielt in den Untersuchungen aufgegriffen. Für mögliche Minderungsstrategien sei auf das Kapitel 7.2.2 verwiesen.
Weiterhin wird im Zusammenhang mit der konservierenden Bodenbearbeitung oftmals auf das verstärkte Auftreten von Schnecken hingewiesen. Auch hier gilt, dass das Problem durch eine Vielzahl von Maßnahmen gelöst werden muss. Am wichtigsten ist das konsequente Walzen nach der Bodenbearbeitung und insbesondere nach der Aussaat. Darüber hinaus sollte den Schnecken in bestimmten Zeiträumen die Nahrung entzogen werden (Unterbrechung der so genannten "grünen Brücke", das bedeutet, dass nach dem Auflaufen von Ausfallgetreide bzw. Ausfallraps eine Einarbeitung des Materials durch einen mechanischen Arbeitsgang bzw. ein Abspritzen mit einem nicht selektiven Herbizid erfolgen sollte). Weitere Maßnahmen sind in der direkten Bekämpfung der Schnecken oder der Förderung der natürlichen Gegenspieler zu suchen, um nur einige zu nennen. Ähnliches gilt für das Auftreten von Mäusen auf Ackerflächen.

Die oben geschilderten Aspekte, die es bei der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung zu berücksichtigen gilt verdeutlichen: Bei Umstellung auf dieses neuartige Bodenbearbeitungsverfahren handelt es sich nicht nur um den Austausch eines Bodenbearbeitungsgerätes, sondern um einen Systemwechsel, der dem Landwirt erhebliche Managementfähigkeiten abverlangt. Insofern ist insbesondere in der Umstellungszeit mit Rückschlägen und Verlusten zu rechnen, die wiederum konstruktiv zur Anpassung des Systems an den Betrieb genutzt werden müssen. Darüber hinaus ist von einem erhöhten Beratungsaufwand zur Umsetzung dieser ökonomisch und ökologisch sinnvollen Bearbeitungsverfahren auszugehen.

Den oben genannten Hinderungsgründen für bzw. Problemen bei der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren stehen viele Vorteile gegenüber, die weit über den Erosionsschutz und die Gewässerentlastung hinausgehen. An dieser Stelle sollen nur einige Aspekte aus Sicht des landwirtschaftlichen Betriebes genannt werden. An erster Stelle ist die mögliche Kosteneinsparung zu nennen, die bei einem Verzicht auf das sehr arbeits- und energieaufwändige Pflügen möglich wird. Darüber hinaus werden Arbeitsspitzen gebrochen und es kann eine termingenauere Durchführung notwendiger Bestellmaßnahmen erfolgen. So ist z.B. bei einer begrenzten Anzahl von günstigen Tagen für die Bestellung von verschiedenen Kulturen der geringere Zeitbedarf bei konservierender Bodenbearbeitung dafür verantwortlich, dass besser auf die günstigsten Feldzustände gewartet werden kann. Dies bedeutet eine schonendere Befahrung des Bodens, was seinerseits zu gleichmäßigeren Feldbeständen mit günstigeren Entwicklungsbedingungen führt. Außerdem ist auf langjährig konservierend bearbeiteten Flächen eine bessere Wasserzügigkeit zu beobachten, so dass diese Flächen nach Niederschlägen oftmals schneller bzw. im Frühjahr früher befahrbar sind. Dies bedeutet besonders in Mittelgebirgslagen eine effizientere Nutzung der dort kurzen Vegetationszeit.

Über die genannten betrieblichen Vorteile hinaus, bestehen zudem gesellschaftliche Vorteile bei Umstellung auf die konservierende Bodenbearbeitung. Einige Aspekte wurden im Rahmen der Untersuchungen bearbeitet (z.B. Erosionsminderung, bodenbiologische Aspekte, Grundwasserneubildung). Darüber hinaus ist in diesem Zusammenhang auf die Punkte Energieeinsparung (durch den Verzicht auf das energieintensive Pflügen), dezentraler Hochwasserschutz durch die Verminderung des Oberflächenabflusses und den Wasserrückhalt im Einzugsgebiet (SIEKER 2002) hinzuweisen.

9 Modellierung der Bodenerosion

Für die beiden Gebiete Talsperre Saidenbach und Niederstriegis wurden mit Hilfe des Modells EROSION 3D Simulationsrechnungen zum Bodenabtrag unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsszenarien und Niederschlagsereignisse durchgeführt.

Bei der Simulation für das Einzugsgebiet der Trinkwasser-Talsperre Saidenbach handelt es sich um ein vollständiges, in sich geschlossenes Einzugsgebiet mit einem Gebietsauslass an der Talsperrenmauer und einer Größe von 6076,6 ha. Dieses Einzugsgebiet wurde wiederum in sieben Teileinzugsgebiete unterteilt (Abbildung 48). Die Fläche Lippersdorf liegt innerhalb dieses Einzugsgebietes im Teileinzugsgebiet 2 (Abbildung 48). Der Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche geht aus den folgenden Tabellen hervor (Tabelle 49 bis Tabelle 51)

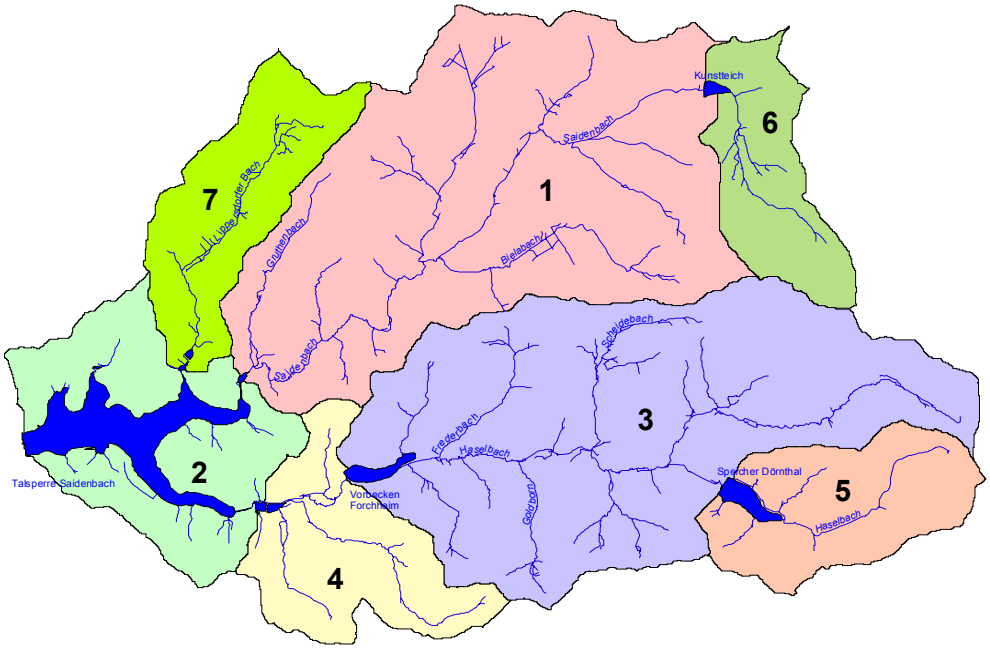

Abbildung 48: Teileinzugsgebiete des Gesamteinzugsgebietes der Talsperre Saidenbach, Erzgebirge

Zunächst wurde für die tatsächliche Nutzung im Jahr 1996 der Bodenabtrag im Talsperreneinzugsgebiet für ein extremes Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrdauer von zehn Jahren simuliert (Tabelle 49). Darauf aufbauend wurden zwei weitere Simulationen unter der Annahme durchgeführt, dass die gesamte Ackerfläche im Einzugsgebiet in einem Jahr mit Mais bestellt ist. Eine Simulation erfolgte hierbei unter der Annahme, dass die gesamte Ackerfläche konventionell mit dem Pflug bearbeitet wird ("worst-case") (Tabelle 50, Abbildung 49), die zweite Simulation nimmt für die gesamte Ackerfläche die Durchführung

von konservierender Bodenbearbeitung an (Tabelle 51, Abbildung 50). In beiden Szenarien wurde als Zeitpunkt ein Termin im Mai vor dem Auflaufen des Pflanzenbestandes (Saatbettzustand) bei hoher Bodenfeuchte (Feldkapazität) gewählt und ein 10-jähriges Niederschlagsereignis simuliert. Diese "worst-case"-Bedingungen erlauben es, besonders erosionsanfällige Bereiche eines Einzugsgebietes auszugrenzen, für die dann ggf. weitere Erosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden können.

In Abbildung 49 und Abbildung 50 sind die Netto-Schlagausträge für die zwei berechneten Szenarien dargestellt. Diesen Werten liegt eine Modellrechnung auf Basis eines 25-Meter-Rasters zugrunde. Die Gesamtausträge aus den Teileinzugsgebieten für den Iststand des Jahres 1996 und die zwei gewählten Szenarien sind in Tabelle 49, Tabelle 50 und Tabelle 51 dargestellt.

Entsprechend Abbildung 49 (Erosionsbereiche sind in gelben bis roten Farben dargestellt, Depositionsbereiche in grünen bis blauen Farben) erreichen die Bodenverluste unter den voranstehenden Bedingungen (d. h. Saatbettzustand nach flächenhaft praktizierter konventioneller Bodenbearbeitung mit dem Pflug) Größenordnungen bis über 250 $t*ha^{-1}$. Ein Großteil der Ackerschläge zeigt Bodenverluste von über 25 bis 250 $t*ha^{-1}$. Im Durchschnitt verlassen das Einzugsgebiet unter den getroffenen Annahmen 91.470 t Boden, bzw. 15,05 $t*ha^{-1}$ oder 49,69 $t*ha^{-1}$, wenn der Bodenabtrag nur auf die Ackerflächen bezogen wird (Tabelle 50).

Unter der Annahme einer flächendeckend konservierenden Bestellung von Mais fällt auf, dass selbst bei dem simulierten Extremereignis auf einem Großteil der Ackerschläge nur noch mit Bodenabträgen unter 2,5 $t*ha^{-1}$ zu rechnen ist (Tabelle 51, Abbildung 50). Im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung ergibt sich somit eine Austragsminderung von 95 %. Die durchschnittlichen Abträge dieses Szenarios liegen i.d.R. sogar unter den für den Iststand mit nur geringer Mais- und erheblicher Getreidenutzung simulierten Abträgen (Tabelle 49). Bei der gegebenen Kulturartenverteilung und flächenhaft konservierender Bodenbearbeitung wären also noch deutlich geringere Austräge zu erwarten. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass bei konsequenter Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung selbst auf stark erosionsgefährdeten Standorten ausgesprochen große Abtragsminderungen erreichbar sind und dies auch den Anbau von Reihenkulturen wie Mais oder Zuckerrüben nicht in Frage stellt.

Tabelle 49: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei Ist-Nutzung des Jahres 1996, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai

Teilgebiet (vgl.Abbildung 48)	Name	Sediment-volumen [t]	Fläche [ha]	Nettaustrag [t*ha^{-1}]	Ackerfläche [ha]	Nettoaustrag Acker [t/ha]
1	Vorsperre Saidenbach	3222,8	1879,18	1,72	667,32	4,83
2	Talsperre Saidenbach	833,0	712,65	1,17	139,78	5,96
3	Vorbecken Forchheim	1716,0	1785,06	0,96	448,65	3,82
4	Vorsperre Haselbach	743,0	458,87	1,62	156,44	4,75
5	Dörnthaler Teich	415,0	447,93	0,93	107,91	3,85
6	Kunstteich	663,2	339,00	1,96	153,10	4,33
7	Vorsperre Lippersdorf	1354,0	444,91	3,04	167,70	8,37
Gesamtgebiet	**EZG Saidenbach**	**8947,0**	**6076,60**	**1,47**	**1840,9**	**4,86**

Tabelle 50: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei vollständigem Maisanbau, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai, Saatbettzustand, konventionelle Bodenbearbeitung (worst-case)

Teilgebiet (vgl. Abbildung 48)	Name	Sediment-volumen [t]	Fläche [ha]	Nettaustrag [t*ha^{-1}]	Ackerfläche [ha]	Nettoaustrag Acker [t/ha]
1	Vorsperre Saidenbach	41440,0	1879,18	22,05	667,32	62,10
2	Talsperre Saidenbach	3720,0	712,65	5,22	139,78	26,61
3	Vorbecken Forchheim	24329,0	1785,06	13,63	448,65	54,23
4	Vorsperre Haselbach	4880,0	458,87	10,63	156,44	31,19
5	Dörnthaler Teich	1741,0	447,93	3,89	107,91	16,13
6	Kunstteich	3560,0	339,00	10,50	153,10	23,25
7	Vorsperre Lippersdorf	11800,0	444,91	26,52	167,70	72,97
Gesamtgebiet	**EZG Saidenbach**	**91470,0**	**6076,60**	**15,05**	**1840,9**	**49,69**

Tabelle 51: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei vollständigem Maisanbau, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai, Saatbettzustand, konservierende Bodenbearbeitung

Teilgebiet (vgl.Abbildung 48)	Name	Sediment-volumen [t]	Fläche [ha]	Nettaustrag [t*ha^{-1}]	Ackerfläche [ha]	Nettoaustrag Acker [t/ha]
1	Vorsperre Saidenbach	1373,6	1879,18	0,73	667,32	2,06
2	Talsperre Saidenbach	978,8	712,65	1,37	139,78	7,00
3	Vorbecken Forchheim	861,8	1785,06	0,48	448,65	1,92
4	Vorsperre Haselbach	113,0	458,87	0,25	156,44	0,72
5	Dörnthaler Teich	210,2	447,93	0,47	107,91	1,95
6	Kunstteich	99,4	339,00	0,29	153,10	0,65
7	Vorsperre Lippersdorf	941,2	444,91	2,12	167,70	5,82
Gesamtgebiet	**EZG Saidenbach**	**4578,0**	**6076,60**	**0,75**	**1840,9**	**2,49**

Die mit dem Modell Erosion 3D berechneten Gebietsausträge entsprechen den Einträgen in das Gewässernetz bzw. in diesem Fall in die Talsperre Saidenbach und ihre Vorsperren. Die potenzielle Entlastung durch Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung (selbst unter "worst-case" Bedingungen, d. h. flächenhafter Maisanbau) wird deutlich, wenn die absoluten Bodenausträge für das Gesamtgebiet gegenüber gestellt werden. Bei konventioneller Bodenbearbeitung und vollständigem Maisanbau wurden für das zehnjährige Ereignis 91.470 t Gebietsaustrag errechnet (Tabelle 50), bei konservierender Bodenbearbeitung nur noch 4.578 t (Tabelle 51). Selbst unter der Ist-Nutzung des Jahres 1996 waren die errechneten Austräge mit 8.947 t bei sehr viel geringerer Maisanbaufläche deutlich höher (Tabelle 49).
Im Jahr 2001 wurden bereits ca. 80 % der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach konservierend bewirtschaftet. Damit dürfte der aktuelle Gebietsaustrag unter Berücksichtigung des tatsächlichen Kulturartenverhältnisses sogar unterhalb des in Tabelle 51 ausgewiesenen niedrigen Niveaus liegen.

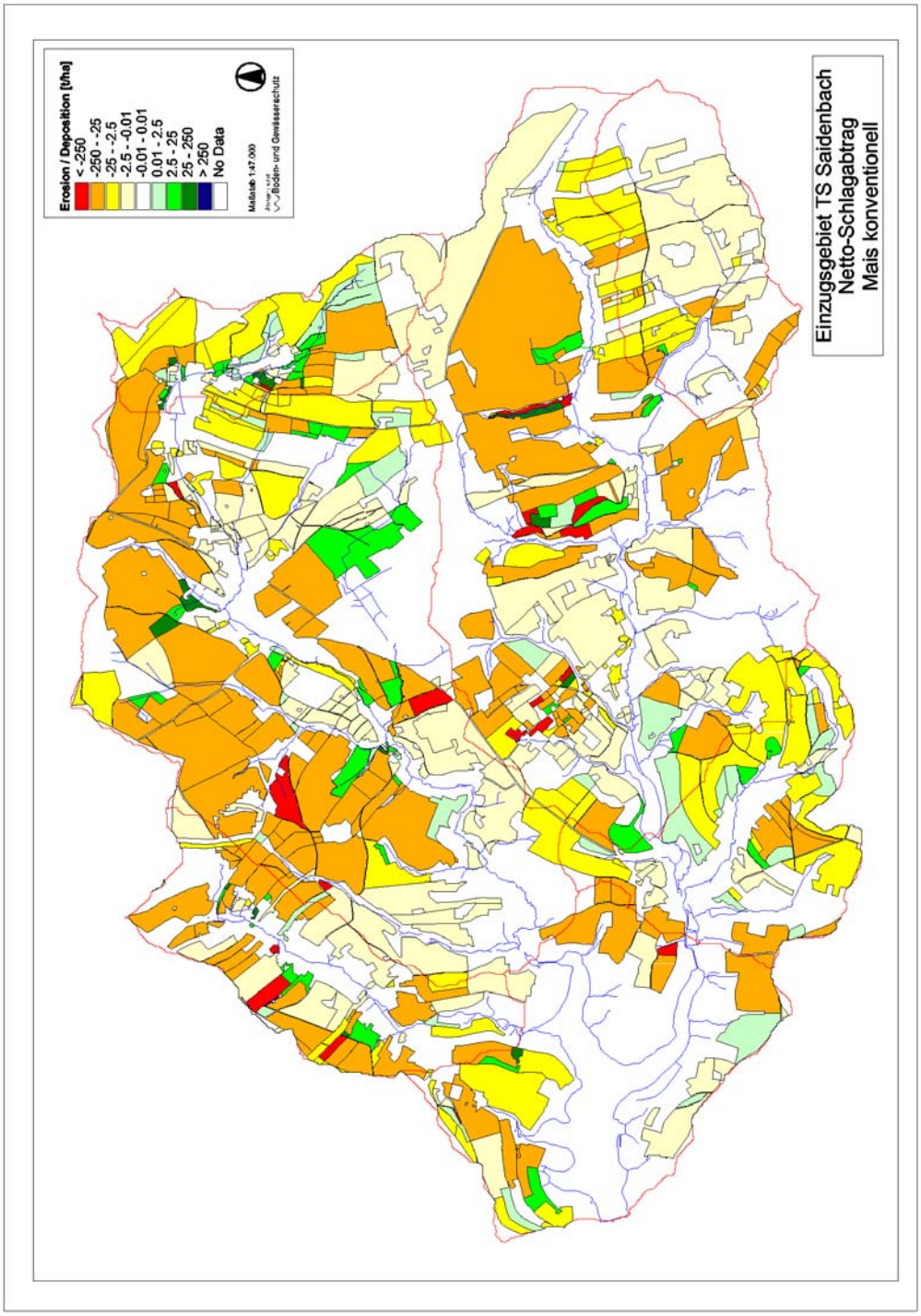

Abbildung 49: Erosion und Deposition im Gebiet Talsperre Saidenbach nach 10jährigem Extremereignis Mitte Mai, Alle Ackerflächen mit Mais bestellt, Saatbettzustand bei Feldkapazität, konventionelle Bodenbearbeitung ("worst-case")

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

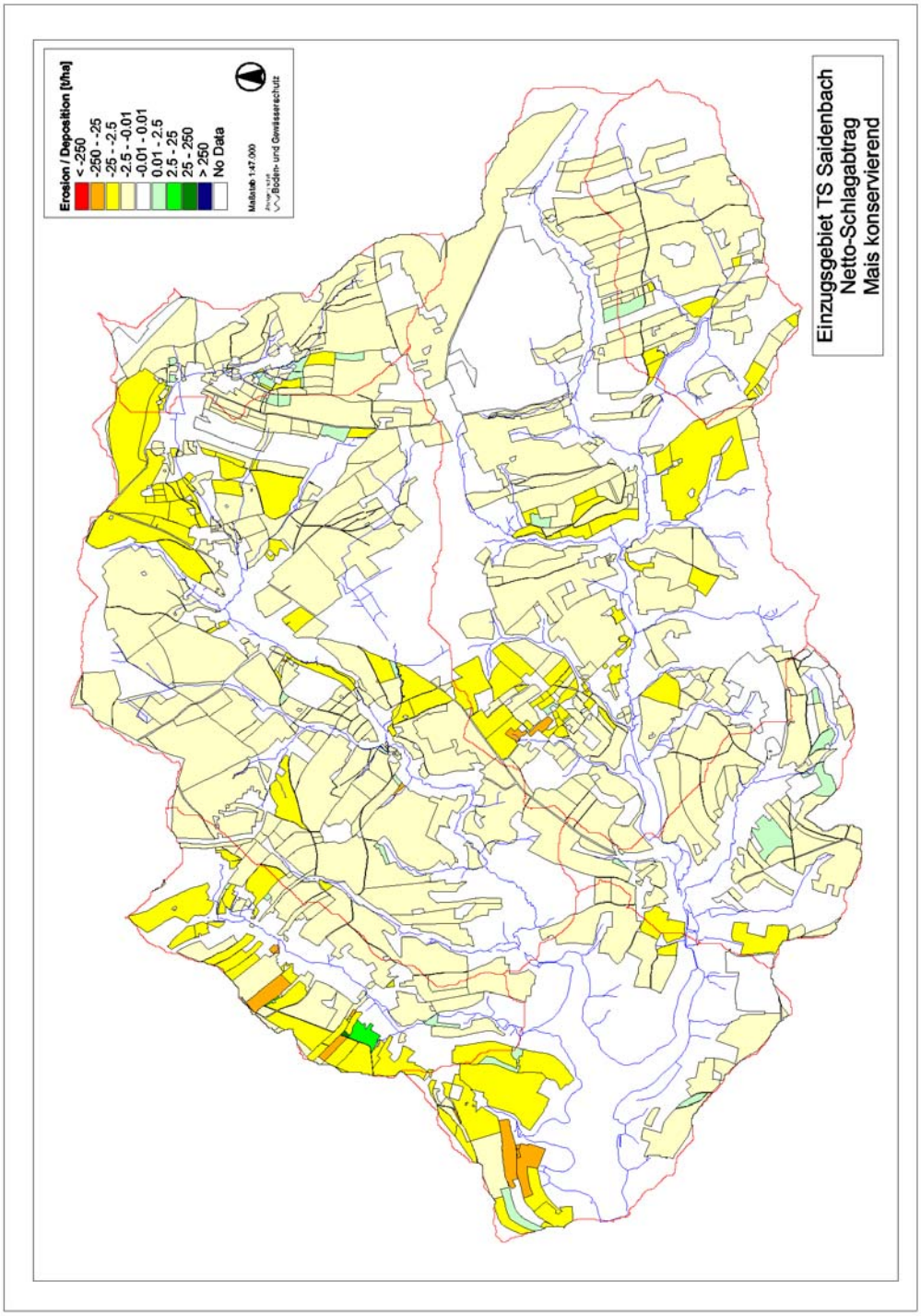

Abbildung 50: Erosion und Deposition im Gebiet Talsperre Saidenbach nach 10jährigem Extremereignis Mitte Mai, alle Ackerflächen mit Mais bestellt, Saatbettzustand bei Feldkapazität, konservierende Bodenbearbeitung

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

Neben dem Einzugsgebiet der Talsperre Saidenbach wurde der Bodenabtrag für ein Teileinzugsgebiet der Striegis simuliert. Das Gebiet liegt im Bereich der Einmündung der Striegis in die Freiberger Mulde und umschließt die beiden Untersuchungsflächen Niederstriegis und Littdorf. Die Grenzen des simulierten Gebietes stellen kein vollständiges Einzugsgebiet dar, so dass bei der Bestimmung der Gebietsausträge mehrere Gebietsauslässe berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus entsprechen die ermittelten Gebietsausträge nicht direkt den Einträgen in das Gewässer, da mögliche Ablagerungsprozesse zwischen den Grenzen des simulierten Ausschnittes und dem Eintritt in das Gewässer nicht berücksichtigt werden können.

Die Größe des simulierten Gebietes umfasst ca. 1.370 ha. Die ackerbauliche Nutzung macht ca. 70 % des Gebietes aus, 20 % der Fläche stellen Grünland dar (Abbildung 51).

Neben der Form der Bodenbearbeitung wurden zwei unterschiedliche Niederschlagsintensitäten simuliert (10-jähriges und 2-jähriges Niederschlagsereignis). Als "worst-case"-Variante wurde angenommen, dass alle Flächen konventionell bearbeitet wurden, mit Mais bestellt sind (3-4 Knoten-Stadium im Mai) und ein 10-jähriges Niederschlagsereignis (22,2 mm, 40 Minuten Dauer, 1,98 $mm*min^{-1}$ max. Intensität) auftritt. Darüber hinaus wurden für dieselbe Kulturart und dasselbe Niederschlagsereignis der Einsatz der konservierenden Bodenbearbeitung simuliert. Unterteilt wurden diese Simulationen noch hinsichtlich des Mulchbedeckungsgrades (10, 30 und 50 %), der unterschiedliche Bearbeitungsintensitäten repräsentiert (Tabelle 52).

Zudem wurde der Bodenabtrag bei konventioneller Bodenbearbeitung und bei konservierender Bearbeitung (mit 30 % Bodendeckung) für ein 2-jähriges Niederschlagsereignis (20,0 mm, 40 Minuten Dauer, 1,29 $mm*min^{-1}$ max. Intensität) simuliert (Tabelle 52).

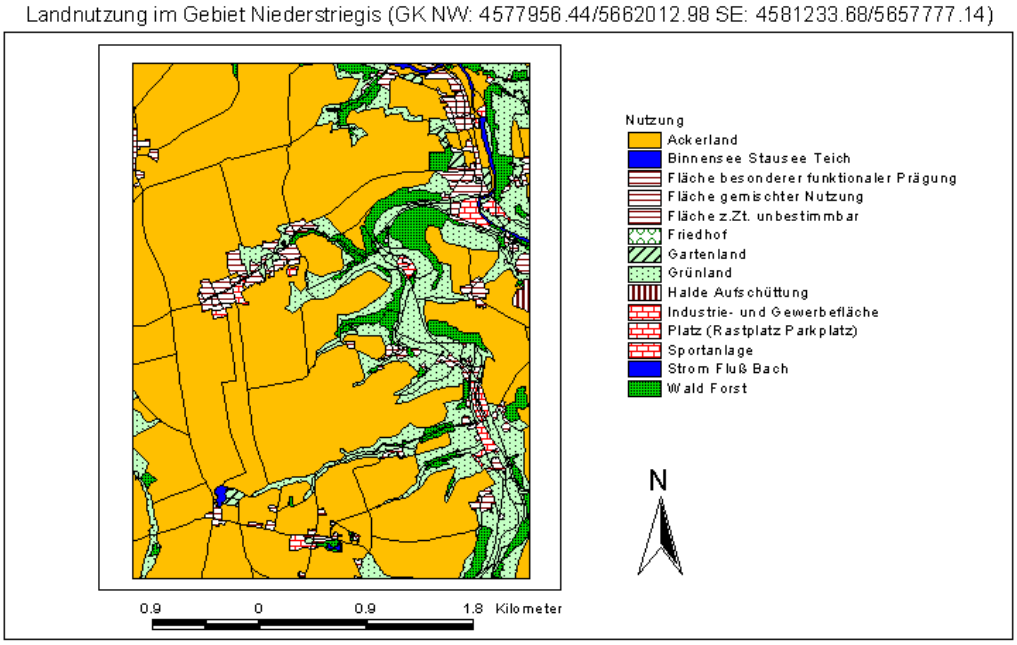

Abbildung 51: Landnutzung im Gebiet Niederstriegis

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

Die Simulationsergebnisse in Tabelle 52 zeigen deutlich die erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung. Werden bei konventioneller Bodenbearbeitung und einem 10-jährigen Niederschlagsereignis über 70 to Boden*ha^{-1} abgetragen (Abbildung 52), so reduziert sich dies auf 3,9 to*ha^{-1} bei konservierender Bodenbearbeitung mit durchschnittlicher Intensität (30 % Mulchbedeckung, Abbildung 54). Ähnliches gilt für das 2-jährige Niederschlagsereignis. Dieses erlaubt eine Senkung der Bodenabträge von 28,7 auf 2,1 to*ha^{-1} bei konservierender Bodenbearbeitung (Tabelle 52, Abbildung 56, Abbildung 57).
Die Simulationsergebnisse für das Gebiet Niederstriegis verdeutlichen, dass auch auf lössbedeckten Flächen durch die flächendeckende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung eine Abtragsminderung um über 90 % zu erzielen ist.
Die dargestellten Szenarios mit einer vollständigen Maisnutzung eignen sich sehr gut, um besonders erosionsgefährdete Bereiche in Einzugsgebieten auszugrenzen. Flächen, die trotz konservierender Bodenbearbeitung noch verstärkten Bodenabtrag zeigen sollten bei weiteren Erosionsschutzmaßnahmen verstärkt berücksichtigt werden. Oftmals handelt es sich bei diesen Bereichen z.B. um präferierte Abflussbahnen, die durch eine dauerhafte Begrünung stärker geschützt werden könnten. Außerdem könnte eine Verkürzung von Abflussbahnen durch Schlagunterteilungen auf Basis der Erosionssimulationen eine weitere Verminderung der Bodenabträge bewirken. Es bleibt aber festzuhalten, dass es sich bei diesen Maßnahmen

nur um ergänzende Maßnahmen handeln darf, da sie nie die Effektivität der konservierenden Bodenbearbeitung (> 90 % Erosionsminderung) erreichen.

Tabelle 52: Simulierter Bodenabtrag [t*ha^{-1}] im Gebiet Niederstriegis in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität, der Bodenbearbeitung und der Mulchbedeckung

	Konventionelle Bodenbearbeitung	Konservierende Bodenbearbeitung 10% Mulchdeckung	Konservierende Bodenbearbeitung 30% Mulchdeckung	Konservierende Bodenbearbeitung 50% Mulchdeckung
10-jähriger Niederschlag	70,2 Abbildung 52	4,8 Abbildung 53	3,9 Abbildung 54	2,9 Abbildung 55
2-jähriger Niederschlag	28,7 Abbildung 56	-	2,1 Abbildung 57	-

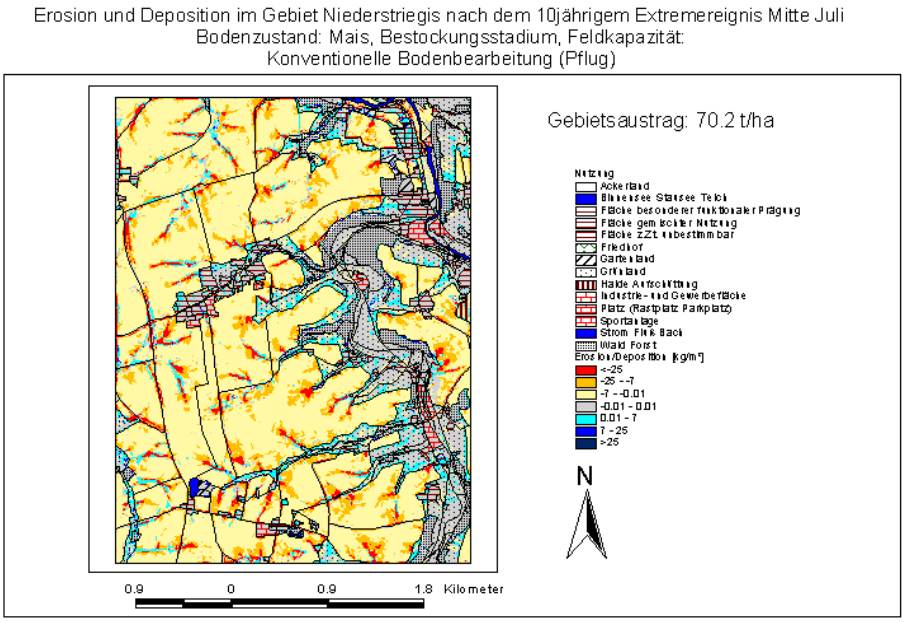

Abbildung 52: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Pflug

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

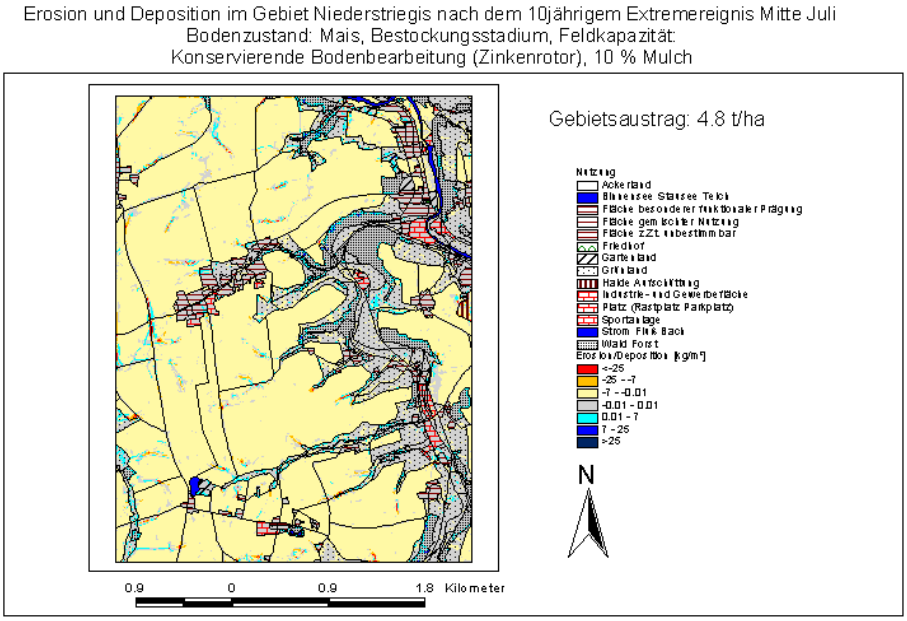

Abbildung 53: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 10 % Mulchbedeckung

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

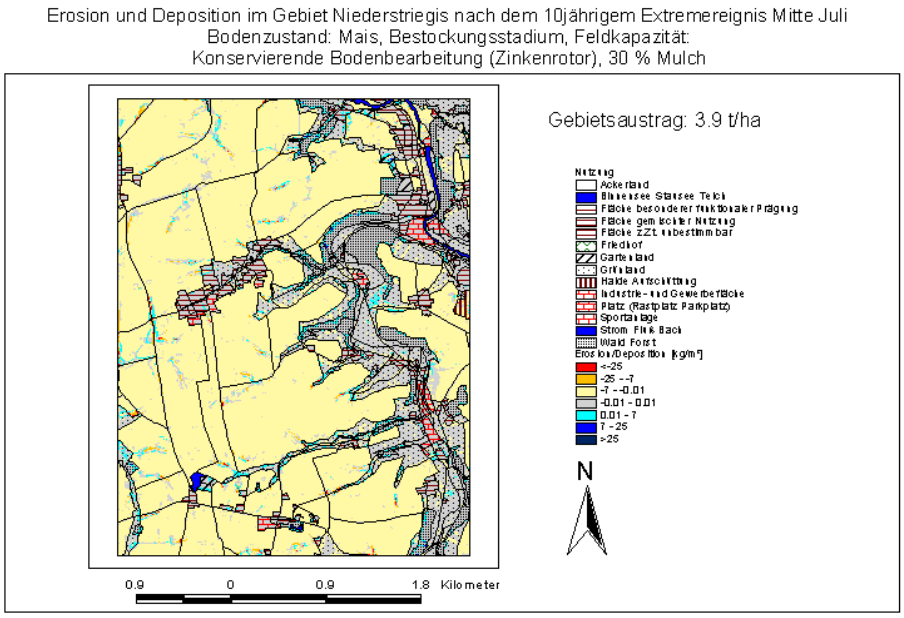

Abbildung 54: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 30 % Mulchbedeckung

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

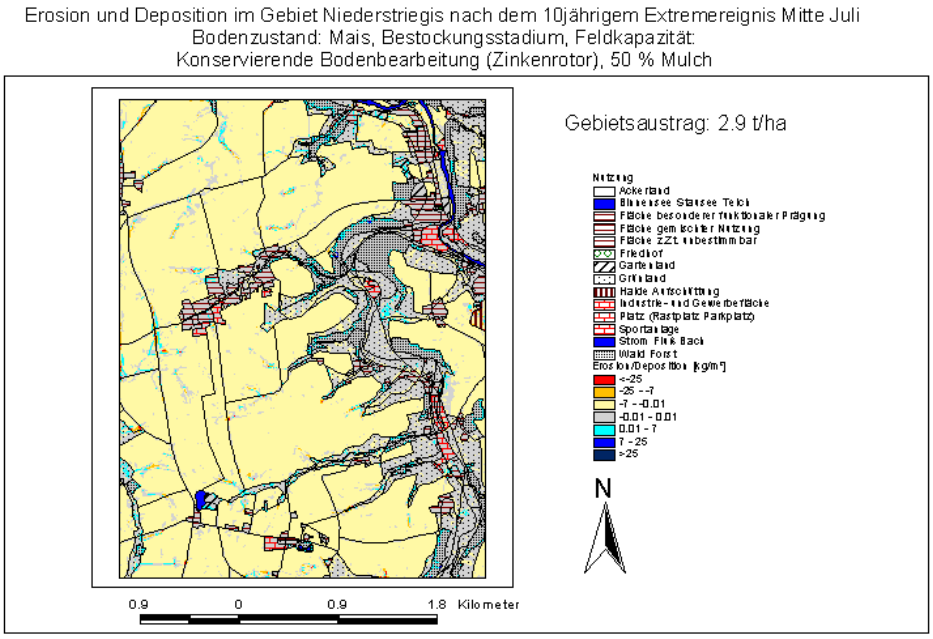

Abbildung 55: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 50 % Mulchbedeckung

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

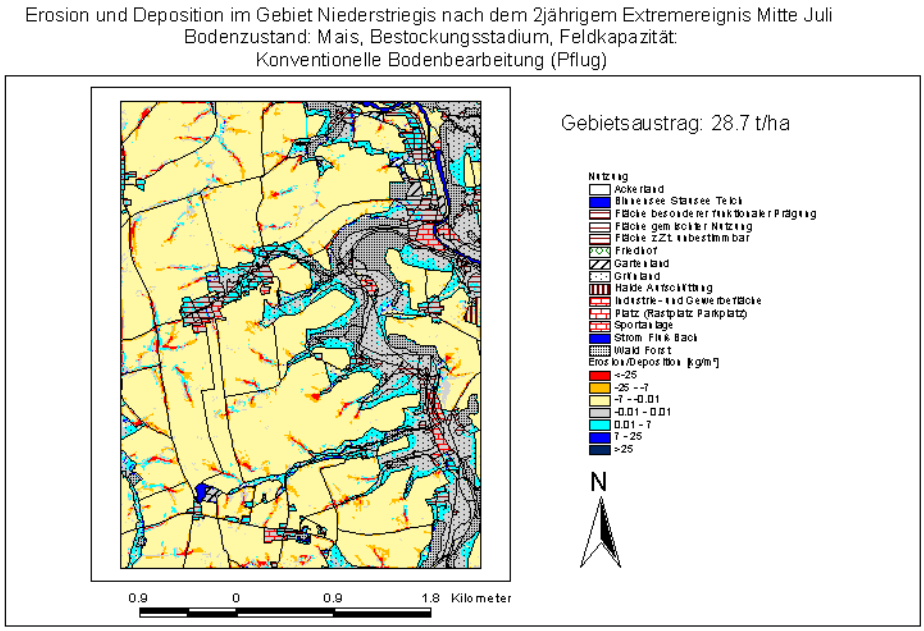

Abbildung 56: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 2jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Pflug

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

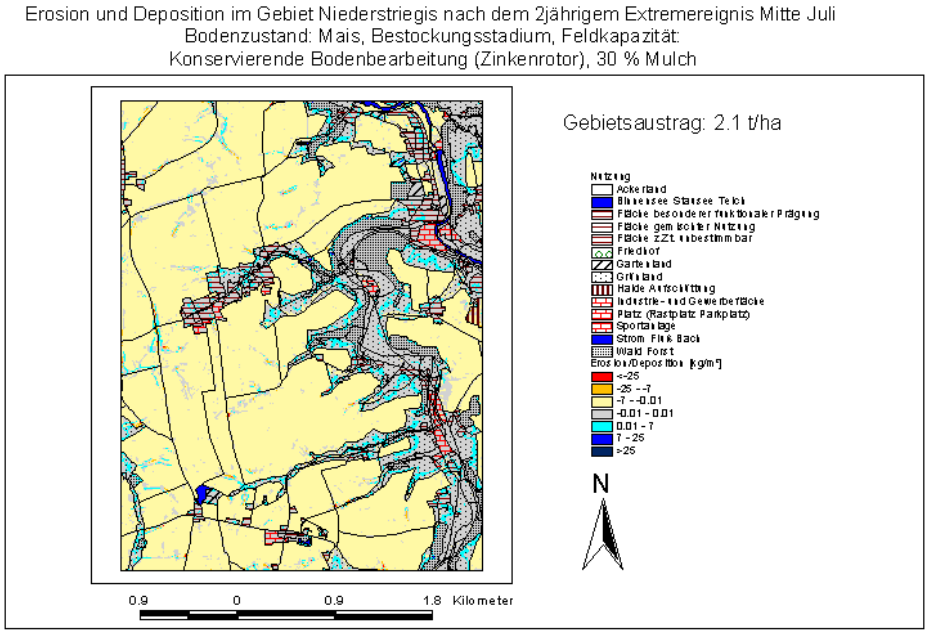

Abbildung 57: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 2jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 30 % Mulchbedeckung

Darstellung auf Grundlage der Topographischen Karte 1 : 10000 mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN R 01/01, Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber. Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Sachsen.

Die in den beiden Gebieten durchgeführten Simulationen zeigen, dass die bei Beregnungssimulationen gewonnenen Abtragsminderungen durch die Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung auch auf große Flächeneinheiten übertragbar sind. Das bedeutet, dass durch die um über 90 % verminderten Bodenabträge bei flächenhafter konservierender Bodenbearbeitung eine drastische Reduzierung der P-Einträge, die über den Erosionspfad in die Gewässer gelangen, erzielt werden kann.

10 Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung in Sachsen

Die Möglichkeiten zur Minderung von Bodenerosion durch konservierende Bodenbearbeitung haben dazu geführt, dass sie im Rahmen der Grundsätze der guten fachlichen Praxis zum landwirtschaftlichen Bodenschutz als wichtigste Maßnahme genannt wird, um die Forderungen, die in § 17, Bundes-Bodenschutz-Gesetz genannt sind, zu erfüllen (SOMMER 1999, SOMMER & KLOEPFER 1999, FRIELINGHAUS ET AL 2001). In Sachsen wird seitens der Offizialberatung bereits seit 1993 auf die Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung hingewiesen und deren Anwendung im Rahmen des Agrarumweltprogrammes "Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)" gezielt gefördert. Die Förderung beträgt gegenwärtig 25 €*ha^{-1} für die Durchführung konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat.

Seit Beginn der Förderung hat sich die konservierend bearbeitete Fläche deutlich erhöht und erreichte im Jahr 2001 einen Anteil von 20,2 % an der gesamten Ackerfläche Sachsens (Tabelle 53). Da die Förderung der Mulchsaat als Aufbauförderung angeboten wird, welche die Teilnahme an der Grundförderung des Programmes "UL" voraussetzt, nehmen viele Betriebe die Förderung nicht in Anspruch, obwohl sie konservierend wirtschaften. Das bedeutet, dass die tatsächlich konservierend bewirtschaftete Fläche in Sachsen höher liegt als der geförderte Flächenanteil. Schätzungen der sächsischen Agrarverwaltung gehen gegenwärtig von einem Anteil der konservierend bearbeiteten Fläche von annähernd 40 % an der gesamten Ackerfläche aus (SCHMIDT ET AL. 2001).

Tabelle 53: Förderumfang (Flächenumfang und Anteil an der Ackerfläche) der Maßnahme Konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat in Sachsen im Rahmen des Förderprogrammes "Umweltgerechte Landwirtschaft" seit 1993

Jahr	geförderte Fläche	Anteil an der Ackerfläche*
1993/1994	1.638	0,2 %
1994/1995	26.176	3,6 %
1995/1996	44.585	6,1 %
1996/1997	57.716	7,9 %
1997/1998	75.970	10,4 %
1998/1999	78.910	10,8 %
1999/2000	104.672	14,4 %
2000/2001	151.832	20,2 %

*: bezogen auf 728.000 ha Ackerfläche

Bei den genannten Flächenumfängen zur Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung wird nicht zwischen teilweise und dauerhaft konservierender Bearbeitung unterschieden. Sichere Zahlen zum Anwendungsumfang der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung liegen nicht vor. Aus Befragungen in einzelnen Bezirken der Ämter für Landwirtschaft geht jedoch hervor, dass ein steigender Teil der Betriebe mittlerweile vollständig pfluglos

wirtschaftet. So verzichten z.B. im Bereich des Amtes für Landwirtschaft in Freiberg/Zug bereits 19,5 % der Betriebe vollständig auf den Einsatz des Pfluges.
Die genannten Flächenanteile zum Pflugverzicht sind auf die gesamte Ackerfläche in Sachsen bezogen. In vielen Regionen ist der Anteil bereits deutlich höher und in anderen Regionen niedriger als die Durchschnittszahlen erkennen lassen.
Für das Einzugsgebiet der Trinkwasser-Talsperre Saidenbach erreichte der Anteil konservierend bearbeiteter Fläche im Jahr 2001 etwa 80 %. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass seitens der im Trinkwassereinzugsgebiet beteiligten Akteure (Landestalsperrenverwaltung, Landwirte, land- und forstwirtschaftliche Behörden, Gemeinden) eine Interessengemeinschaft gegründet wurde, die gemeinsam die möglichen Handlungsoptionen zur Erzielung einer hohen Trinkwasserqualität berät. Neben der Sicherung der Trinkwassergewinnung ist auch die Absicherung einer weiteren ackerbaulichen Nutzung im Talsperreneinzugsgebiet Ziel der Interessengemeinschaft. Die konservierende Bodenbearbeitung wird seitens der Landestalsperrenverwaltung als wichtigste Maßnahme gegen den Bodeneintrag in den Talsperrenkörper betrachtet und entsprechend gefördert. Da im Einzugsgebiet relativ wenige Landwirte einen erheblichen Flächenanteil bewirtschaften, hat die Umstellung der Bodenbearbeitung auf den drei größten Betrieben (einschließlich Agrargenossenschaft Lippersdorf) zu dieser starken Ausweitung der konservierenden Bodenbearbeitung geführt.
Seitens der Ämter für Landwirtschaft Riesa-Großenhain und Döbeln wird für den besonders stark erosionsgefährdeten Bereich der Lommatzscher Pflege ein Anteil von über 50 % konservierend bearbeiteter Fläche geschätzt. In dieser Region hat sich auf Initiative der beteiligten Landwirte und der Ämter für Landwirtschaft ein Beratungsring gegründet, der die Förderung der erosionsmindernden Bewirtschaftung zum Ziel hat. Wichtige Tätigkeiten des Beratungsringes sind regelmäßige Feldtage, die bestimmte Problembereiche der konservierenden Bodenbearbeitung aufgreifen und Lösungsmöglichkeiten präsentieren. Darüber hinaus ist durch die enge Zusammenarbeit der Landwirte ein sehr guter Erfahrungsaustausch gewährleistet, der zu einer weiteren Umsetzung der konservierenden Bodenbearbeitung führt.
Das regionale Vorhandensein von Betrieben, die mit Erfolg vollständig auf den Einsatz des Pfluges verzichten, ist eine wichtige Basis zur Überzeugung weiterer Betriebsleiter. Derzeit nimmt die Anzahl der Betriebe die sich mit der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung befassen weiter stark zu, so dass auch in den Folgejahren mit einer weiteren Ausdehnung dieser Bewirtschaftungsform zu rechnen ist.

11 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Vorhaben erzielten Ergebnisse belegen die erosionsmindernden und damit boden- und gewässerschonenden Wirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung. Die Ursachen für die Infiltrationssteigerung und die Minderung des Oberflächenabflusses konnten nachgewiesen werden. Insbesondere der starke Einfluss der Bodenbearbeitungsverfahren auf wesentliche bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter wurde deutlich.

Die Minderung der Bodenerosion kann bei großflächiger, d.h. einzugsgebietsweiter Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung zu einer Minderung der Nährstoffeinträge in die Gewässer über diesen Pfad bis zu über 95 % führen. Das bedeutet, dass durch diese Form der Landnutzungsänderung besonders die Phosphor-Einträge in die Elbe drastisch reduziert werden können.

Die steigende Wasserinfiltration auf geneigten Ackerflächen führt zu einer stärkeren Sickerwasserbildung. Gleichzeitig ist durch die i.d.R. geringere Bodenbearbeitungsintensität mit einer geringeren Stickstoffmineralisation zu rechnen. Die Auswirkungen auf die Verlagerung von Stickstoff können bislang nicht genau quantifiziert werden. Jedoch ist aufgrund der höheren Sickerwassermengen zumindest von einer Verdünnung der Nitratkonzentration im Sickerwasser auszugehen.

Die Umstellung der Bodenbearbeitung von wendenden zu konservierenden Verfahren, bedeutet nicht nur den Austausch eines Bodenbearbeitungsgerätes, sondern bringt einen Systemwechsel mit sich. Dieser erfordert die Anpassung verschiedener acker- und pflanzenbaulicher sowie pflanzenschützerischer Maßnahmen an die veränderten Bedingungen, insbesondere bei einem dauerhaften Pflugverzicht, um dieses Anbausystem langfristig erfolgreich zu gestalten.

Im Rahmen des Vorhabens konnte gezeigt werden, dass bei Beachtung des Anpassungsbedarfes nicht von einer Ertragsminderung bei konservierender Bodenbearbeitung auszugehen ist. Gleichzeitig lassen sich aufgrund der geringeren Bodenbearbeitungsintensität und der dadurch schnelleren Arbeitserledigung vorhandene ökonomische Reserven erschließen. Jedoch bedeutet die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung, dass dem Landwirt ein besserer acker- und pflanzenbaulicher Kenntnisstand und erhöhte Managementqualitäten abverlangt werden. Wie bei jedem neuen Verfahren, müssen auch

beim Einstieg in die konservierende Bodenbearbeitung Erfahrungen gesammelt und die Verfahren an den jeweiligen Standort und die regionalen Bedingungen angepasst werden.

Für wesentliche Problembereiche, die bei der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung zu beachten sind, wurden im Rahmen des Vorhabens Handlungsstrategien erarbeitet, wie z.B. für die Beherrschung der Fusariuminfektion in Winterweizen. Diese praxisgerechten Empfehlungen werden von der landwirtschaftlichen Beratung aufgegriffen und vermittelt. Durch die zielgerichtete Beratung der Flächenbewirtschafter entsteht eine steigende Akzeptanz für dieses moderne boden- und gewässerschonende Konzept der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Dabei zeigt sich, dass der gewählte Ansatz praxisgerecht und Erfolg versprechend ist, da er dynamisch ist und nicht auf ein angeordnetes, sondern auf ein aktives und bewusstes Handeln der Landwirte setzt. Gleichzeitig ermöglicht die konservierende Bodenbearbeitung die weitere landwirtschaftliche und ackerbauliche Nutzung der Flächen, so dass eine Umsetzung sehr viel bessere Chancen hat, als andere häufig diskutierte gewässerschonende Strategien, wie z.B. die Umwandlung von Ackerflächen in Grünland oder die Aufforstung bzw. Stillegung von Ackerland.

Wird die Umstellung auf diese boden- und gewässerschonenden Verfahren neben einer fundierten Beratung durch zielgerichtete Förderprogramme unterstützt, so kann, das zeigen Erfahrungen in Sachsen, innerhalb kurzer Zeit auf großen Flächenumfängen eine Landnutzungsänderung bewirkt werden. Gegenwärtig werden in Sachsen bereits annähernd 40 % der Ackerfläche konservierend und damit gewässerschonend bewirtschaftet.

12 Zusammenfassung

Bodenerosion und Nährstoffab- sowie -austrag stellen auf einem Großteil der Ackerflächen im Einzugsgebiet der Elbe (und anderer Ströme) ein Problem dar und sind eine Quelle für die stoffliche Belastung der Elbe. Die Minderung dieser Belastung muss direkt am Ort ihres Entstehens (d.h. auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche) erfolgen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Auswirkungen von Nutzungsänderungen im Hinblick auf den Wasser- und Stoffhaushalt auf der Ackerfläche untersucht. Im Mittelpunkt standen dabei neuartige, dauerhaft pfluglose (konservierende) Verfahren der Bodenbearbeitung. Diese wurden der konventionellen (wendenden) Bodenbearbeitung gegenübergestellt. Gemeinsam mit Landwirtschaftsbetrieben wurden in Sachsen auf Ackerflächen in der Lößregion und im Erzgebirge Bodenbearbeitungsversuche angelegt, bzw. geeignete vorhandene Versuchsanlagen genutzt. Auf diesen Flächen erfolgten Erhebungen zu den Auswirkungen der neuartigen Bewirtschaftungsverfahren auf wichtige bodenphysikalische, -biologische und -chemische Parameter, auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie auf die Erosionsanfälligkeit und den Nährstoffabtrag in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung. Basierend auf den erhobenen Daten erfolgte eine einzugsgebietsbezogene Simulation der Bodenerosion für verschiedene Nutzungs- und Niederschlagsszenarien für ein Festgesteins- und ein Lockergesteinsgebiet.

In Zusammenarbeit mit den beteiligten Landwirten erfolgte im Sinne einer breiten Akzeptanzsteigerung für diese neuartigen Bestellverfahren eine Erfassung des Anpassungsbedarfes bei acker- und pflanzenbaulichen sowie pflanzenschützerischen Maßnahmen sowie die Erarbeitung von entsprechenden Anpassungsstrategien.

Im folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse und Ergebnisse in kurzer Form dargestellt.

- Die stark erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung konnte belegt werden. Diese Wirkung wird sowohl in der Lößregion als auch auf den Verwitterungsböden im Erzgebirge erzielt.
- Die Erosionsminderung bei Umstellung der Bodenbearbeitung basiert im wesentlichen auf zwei Faktoren. Einerseits wird die Wasserversickerung durch den dauerhaften Pflugverzicht stark erhöht, so dass auch bei erosiven Niederschlägen nur noch wenig oder kein Oberflächenabfluss auftritt. Andererseits wird die Struktur der Bodenaggregate an der Oberfläche stabiler, so dass weniger Bodenmaterial abgelöst und erodiert werden kann.
- Die Steigerung der Wasserversickerung bei konservierender Bodenbearbeitung hat verschiedene Ursachen. Durch den Verzicht auf die wendende Bodenbearbeitung bleibt eine schützende Mulchauflage erhalten, die in Verbindung mit einer erhöhten

Aggregatstabilität zu einer geringeren Verschlämmung der Bodenoberfläche führt und so eine verbesserte Infiltration durch die Bodenmatrix gewährt. Darüber hinaus bilden sich bei dauerhaftem Pflugverzicht in stärkerem Maße vertikal kontinuierliche Makroporen, die für eine Ableitung des Wassers in den Unterboden zur Verfügung stehen.

- Die geringere Verschlämmungsanfälligkeit des Bodens bei konservierender Bodenbearbeitung basiert hauptsächlich auf einer Anreicherung von organischer Substanz in der Oberkrume, einer stark gesteigerten mikrobiellen Aktivität und einer verstärkten Regenwurmtätigkeit.
- Die bis zu vierfach höhere vertikale Makroporosität hat ihre Ursache ebenfalls in der höheren Regenwurmaktivität und in der i.d.R. verringerten Bodenbearbeitungsintensität und -tiefe, die zu einer besseren Erhaltung der gebildeten Makroporen beiträgt.
- Bei Beregnungssimulationen wurde bei konservierender Bodenbearbeitung ein verzögertes Einsetzen des Oberflächenabflusses festgestellt. Darüber hinaus konnte eine im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung erhöhte Gleichgewichts-Endinfiltration festgestellt werden.
- Die Minderung der Bodenabträge war im Verhältnis zur Minderung des Oberflächenabflusses i.d.R. überproportional.
- Die wasserlöslichen- und Gesamt-Phosphor-Abträge bei Beregnungssimulation waren bei konservierender Bodenbearbeitung um 48 bis 97 % vermindert.
- Die einzugsgebietsbezogene Simulation von erosiven Niederschlägen (2-jähriges und 10-jähriges Ereignis) für ein Festgesteins- und ein Lockergesteinsgebiet mit dem Modell EROSION 3D ergab eine Minderung der Bodenerosion bei vollständiger Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung auf allen Ackerflächen um 93 bis 97 %.
- Auf geneigten Flächen konnte aufgrund des geringeren Oberflächenabflusses bei konservierender Bodenbearbeitung eine höhere Sickerwasserbildung festgestellt werden.
- Die Folge der i.d.R. verringerten Bodenbearbeitungsintensität bei Pflugverzicht war eine geringere N-Mineralisation, die zu geringeren Nitratgehalten in der Bodenlösung während der Sickerwasserperiode führte.
- Geringere Nitratgehalte in der Bodenlösung bei konservierender Bodenbearbeitung bewirkten trotz erhöhter Sickerwasserbildung eine verringerte Nitratverlagerung aus der durchwurzelten Bodenzone.
- Bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung wurde eine höhere und gleichmäßigere Durchwurzelung des Unterbodens bis in Tiefen zwischen 60 und 100 cm festgestellt. Dies trägt insbesondere in Jahren mit starkem Wassermangel zu einer besseren Wasserverfügbarkeit für den Kulturpflanzenbestand bei.
- Die Umstellung auf dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung ist als Systemumstellung zu begreifen und erfordert i.d.R. einen erheblichen Anpassungsbedarf im Hinblick auf acker- und pflanzenbauliche sowie pflanzenschützerische Maßnahmen. Dies betrifft z.B.

eine geeignete Fruchtfolgegestaltung, den richtigen Einsatz geeigneter Bodenbearbeitungstechnik, genaue Feldbeobachtungen zum Unkraut- und Schädlingsauftreten, eine zielgerichtete Sortenwahl und viele weitere Maßnahmen, die im Rahmen eines integrierten Pflanzenbaues zur Verfügung stehen.

- Für wichtige Anpassungsmaßnahmen, die bei Umstellung der Bodenbearbeitung notwendig sind, wurden im Rahmen des Projektes Praxisempfehlungen erarbeitet. Dies betrifft z.B. eine nachhaltige Strategie gegen das Auftreten von Fusariumbefall im Getreide.
- Bei konservierender Bodenbearbeitung wurden im Durchschnitt der Untersuchungsjahre keine Ertragseinbußen im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung gemessen.
- Die konservierende Bodenbearbeitung erlaubt eine schlagkräftigere Bearbeitung der Flächen und ermöglicht so die bessere Berücksichtigung von Feldzuständen, die sowohl unter ackerbaulichen als auch unter bodenschützerischen Gesichtspunkten als günstig anzusehen sind.
- Aufgrund der sehr guten Wirkung gegen Bodenerosion, dem geringeren Aufwand an Arbeitszeit und Energie sowie der Ertragsgleichheit im Vergleich mit wendenden Systemen erlangt die konservierende Bodenbearbeitung in der Praxis eine hohe und rasch steigende Akzeptanz.
- Die Akzeptanz für die konservierende Bodenbearbeitung ist im Vergleich zu anderen gewässerschonenden Landnutzungsänderungen (z.B. Umwandlung von Ackerland in Grünland oder Wald oder die Stillegung von Ackerland) deutlich höher, da die Beibehaltung der ackerbaulichen Nutzung gewahrt bleibt.
- In Verbindung mit einer zielgerichteten Förderung (z.B. in Sachsen im Rahmen des Programmes "Umweltgerechte Landwirtschaft" (UL)) kann eine beschleunigte Ausbreitung der Anwendungsumfänge dieser erosionsmindernden und gewässerschonenden Bewirtschaftungsverfahren erreicht werden.

13 Literaturverzeichnis

ALEF, K. (1991): Methodenbuch Bodenmikrobiologie. Ecomed Verlagsgesellschaft mbh, Landsberg/Lech.

ANDERSON, T.-H. & K.H. DOMSCH (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem., 10, 215-221.

ANDERSON, T.-H. & K.H. DOMSCH (1989): Ratios of mikrobial biomass carbon to total organic carbon in arable soil. Soil Biol. Biochem., 21 (4), 471-479.

ANDERSON, T.-H. (2000): Bewertung bodenmikrobiologischer Kennwerte nach langjähriger Beobachtung von Waldstandorten - Vergleich zu Agrarböden. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 93, 120-123.

AUFHAMMER, W., HERRMANN, W., KÜBLER, E., LAUBER, U., SCHOLLENBERGER, M. (1999): Ährenbefall mit Fusarium graminearum und Mykotoxingehalt des Kornguts von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von Sorte und Anbauintensität. Pflanzenbauwissenschaften 3 (1), 32-39.

BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau, 3. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart, 544 S.

BALOGH, J. (1958): Lebensgemeinschaften der Landtiere - Ihre Erfassung unter besonderer Berücksichtigung der Zoozönologischen Arbeitsmethoden. Akademie-Verlag Berlin, S. 560.

BARNES, B.T. & F.B. ELLIS (1979): The effect of different methods of cultivation and direct drilling, and disposal of straw residues, on populations of earthworms. J. Soil Sci., 30, 669-679.

BARTH, N.; PÄLCHEN, W.; RANK, G. & H. HEILMANN (1996): Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in landwirtschaftlich genutzten Böden.

BECK, TH. (1984): Der Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf bodenmikrobiolo-gische Eigenschaften und die Stabilität der organischen Substanz in Böden. Kali-Briefe, 17 (5), 331-340.

BECK, TH. (1985): Einfluß der Landbewirtschaftung auf das Bodenleben. VDLUFA-Schrifftenreihe, 16, Kongreßband, 31-47.

BECK, TH. (1990): Der Einfluß langjähriger Bewirtschaftungsweise auf bodenmikrobiologische Eigen-schaften. Kali-Briefe, 20 (1), 17-29.

BECK, TH. & R. BECK (1994): Die mikrobielle Biomasse in landwirtschaftlich genutzten Böden. 1. Mitteilung: Die räumliche Verteilung der Biomasse in Böden. Agribiol. Res., 47 (3-4), 284-294.

BECKER, C. (1997): Dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgröße - eine pflanzenbaulich-ökonomische Analyse. Dissertation, Universität Göttingen.

BERNHARDT, A.; HAASE, G.; MANNSFELD, K.; RICHTER, H. & R. SCHMIDT (1986a): Naturräume der sächsischen Bezirke. Sächsische Heimatblätter, 4, 145-192.

BERNHARDT, A.; HAASE, G.; MANNSFELD, K.; RICHTER, H. & R. SCHMIDT (1986b): Naturräume der sächsischen Bezirke. Sächsische Heimatblätter, 5, 193-228.

BIERI, M. & G. CUENDET (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. Landw. Fo., 28 (2), 81-96.

BÖHM, W. (1978): Die Bestimmung des Wurzelsystems am natürlichen Standort. KALI-BRIEFE (Büntehof), 14 (2), 91-101.

BOUCHE, M.B. (1977): Strategies lombricienne. In: Lohm, U. & T. Persson (Eds.) Soil organisms as components of ecosystems. Ecol. Bull. (Stockholm), 25, 122-132.

BRADFORD, J.M., HUANG, C. (1992): Mechanisms of Crust Formation: Physical Components. In: Soil Crusting, Chemical and Physical Processes. SUMNER, M.E., STEWART, B.A. (Eds.), Lewis Publishers, Boca Raton.

BRUNOTTE, J. (1993): Mulchsaat zu Reihenfrüchten. KTBL-Arbeitspapier 190, S. 83-89.

DALAL, R.C.; HENDERSON, P.A. & J.M. GLASBY (1991): Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 yr of zero-tillage. Soil Biol. Biochem., 23 (5), 435-441.

DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. [Hrsg.] (2000): Handbuch der Bodenuntersuchungen: Terminologie, Verfahrensvorschriften und Datenblätter; physikalische, chemische, biologische Untersuchungsverfahren; gesetzliche Regelwerke. Beuth; Berlin, Wien, Zürich.

DORAN, J.W. (1992): Einfluß verschiedener Bewirtschaftungs- und Bearbeitungssysteme auf die organische Bodensubstanz und die Bodenfruchtbarkeit. Ber. Ldw., SH Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, 206, 155-167.

EASTON, E.G. (1983): A guide to the valid names of Lumbricidae (Oligochaeta) In: Satchell, J.E. (Ed.): Earthworm Ecology - From Darwin to Vermiculture. - Chapmann and Hall, London and New York, , 475-485.

EDWARDS, C.A. & P.J. BOHLEN (1996): Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hall, London, Third edition, 426 S.

EDWARDS, C.A. & J.R. LOFTY (1982): The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. Journal of applied Ecology, 19, 723-734.

ENGELMANN, H-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia 18, 378-380.

FRIELINGHAUS, M., BRANDHUBER, R. GULLICH, P., SCHMIDT, W. (2001): Vorsorge gegen Bodenerosion. In: BMVEL (Hrsg.), Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. 43-92.

GEBHART, C. (1998): Fusariumbelastung im sächsischen Weizenanbau. Mitt. a. d. Biol. Bundesanst. 357, 84-85.

GEWÄSSERGÜTEBERICHT ELBE (1995): Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg), Radebeul.

GRAFF, O. (1953): Die Regenwürmer Deutschlands. M. u. H. Schaper Verlag, Hannover.

GRAFF, O. (1983): Unsere Regenwürmer. Lexikon für Freunde der Bodenbiologie. M. u. H. Schaper Verlag, Hannover, 112 S.

GRANATSTEIN, D.M.; BEZDICEK, D.F.; COCHRAN, V.L.; ELLIOTT, L.F. & J. HAMMEL (1987): Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. Biology and Fertility of Soils, 5, 265-270.

GREEN, W.-H., AMPT, G.-H. (1911): Studies on soil physics. Part I: The flow of air and water through soils. J. of Agricultural Science, 4, 1-24.

GROCHOLL, J. & E. AHRENS (1989): Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die mikrobielle Aktivität eines schluffigen Lehms und eines schluffigen Sandes. VDLUFA-Schriftenreihe, 30, Kongressband, 491-496.

HARTGE, K.H. & R. HORN (1992): Die physikalische Untersuchung von Böden. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3. neu bearbeitete Auflage.

HEILMANN, H.; JOISTEN, H.; WÜNSCHE, M.; WIESE, A.; BRÄUNIG, A. & M. ABO-RADY (1995): Natürliche und anthropogene Böden der Bergbaufolgelandschaften im Raum Leipzig, Exkursion Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 77, 279-310.

HEINEMEYER, O.; INSAM, H.; KAISER, E. A. & G. WALENZIK (1989): Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infra-red gas analysis. Plant and Soil, 116, 191-195.

HEISLER, C.; ROGASIK H.; BRUNOTTE J. & M. JOSCHKO (1998): Konservierende Bodenbearbeitung und biologische Aktivität. Landbauforschung Völkenrode, 4, 199-212.

HENDRIX, P.F., PARMELEE, R.W., CROSSLEY, D.A., COLEMAN, D.C., ODUM, E.P., GROFFMAN, P.M. (1986): Detritus Food Webs in Conventional and No-tillage Agroecosystems. BioScience 36(6), 374-380.

HÖFLICH, G. & M. JOSCHKO (1996): Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf biologische Prozesse im Rhizosphärenraum auf sandigen Böden Nordostdeutschlands. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 79, 303-304.

JOSCHKO, M. & G. HÖFLICH (1996): Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf das Bodenleben in Sandböden. Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden. Bornimer Agrartechnische Berichte, 9, 41-53.

KA 4, AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Hannover, 4. erweiterte Auflage., 392 S.

KAEMMERER, A. (2000): Raum-Zeit-Variabilität von Aggregatstabilität und Bodenrauhigkeit. Dissertation, Technische Universität München.

KAISER, E.-A.; WALENZIK, G. & O. HEINEMEYER (1994): Auswirkung von Bodenverdichtung auf die mikrobielle Biomasse und biologische Prozesse. Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt Braunschweig-Völkenrode, SH 147, 147-166.

KANDELER, E.; MARGESIN, R.; ÖHLINGER, R. & F. SCHINNER (1993a): Bodenmikrobiologisches Monitoring - Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. Die Bodenkultur, 44, 357-377.

KANDELER, E.; BÖHM, K. & W.E.H. BLUM (1993b): Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Tiefenverteilung der mikrobiellen Biomasse und verschiedener Enzymaktivitäten. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 72, 563-566.

KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G. & P. VOLESKE (1996): Biostatistik. Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2., aktualisierte und erweiterte Aufl. 285 S.

KREYE, H., GARBE, V., HOPPE, H.-H. (1998): Einfluss verschiedener Intensitäten der Grundbodenbearbeitung auf den pilzlichen Befall von Winterweizen an verschiedenen Standorten Niedersachsens. Mitt. a. d. Biol. Bundesanst. 357, 83.

KRÜCK, S. (1998): Einfluss der Nutzung auf Bodenfruchtbarkeitsparameter, Humushaushalt und Regenwurmaktivität, und deren Beziehung zur Ertragsfähigkeit sandiger Böden in Brandenburg“. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften

KTBL - KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (HRSG.) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz - Schlussfolgerungen für die gute fachliche Praxis, Arbeitspapier 266, Darmstadt.

LEE, K.E. (1985): Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press, Sydney, Orlando.

MARSCHALL, K. (2000): Einfluss der Bodenbearbeitung auf Abflussbildung und Wasserhaushalt. Diplomarbeit Universität Potsdam, Institut für Geoökologie

MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg Wiesbaden, 3. Aufl. S. 512.

MÜLLER, W.; RENGER, M. & P. BENECKE (1970): Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und kartographische Darstellung. Beih. Geol. Jb. Bodenkundl. Beiträge, 99, 13-70.

MURER, E.J.; BAUMGARTEN, A.; EDER, G.; GERZABEK, M.H.; KANDELER, E. & N. RAMPAZZO (1993): An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS). Geoderma, 56, 539-547.

NITZSCHE, O., KRÜCK, S., SCHMIDT, W., RICHTER, W. (2001): Reducing soil-erosion and phosphate losses and improving soil biological activity through conservation tillage systems. In: I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, 1-5 October, 2001: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A. (Hrsg), Volume II, S. 185-189

NOLTE, C., WERNER, W. (1991): Stickstoff- und Phosphateintrag über diffuse Quellen in Fließgewässer des Elbeeinzugsgebietes im Bereich der ehemaligen DDR. Schriftenreihe agrarspectrum des Dachverbandes Agrarforschung. Band 19, Verlagsunion Agrar.

PAWELZIK, E., PERMADY, H.H., WEINERT, J., WOLF, G.A. (1998): Untersuchungen zum Einfluß einer Fusarien-Kontamination auf ausgewählte qualitätsmerkmale von Weizen. Getreide, Mehl und Brot 52 (5), 264-266

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & B.T. CHRISTENSEN (1987): Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem., 19 (2), 159-164.

PUGET, P., CHENU, C., BALESDENT, J. (2000): Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. European Journal of Soil Science 51, 595-605.

RANK, G.; KARDEL, K.; PÄLCHEN, W.; & H. WEIDENSDÖRFER (1999): Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3, Bodenmeßprogramm, Bodenmeßnetz Raster 4 km x 4 km.

RIEß, F. (1993): Untersuchungen zur Nitratauswaschung nach mineralischer und organischer Düngung von ackerland und Grünland mittels Saugkerzen-Methode. Dissertation, Universität Müchen in Freising-Weihenstephan

ROVIRA, A.D.; SMETTEM K.R.J. & K.E. LEE (1987): Effect of Rotation and Conservation Tillage on Earthworms in a Red-brown Earth under Wheat. Aust. J. Agric. Res., 38, 829-34.

SÄCHSISCHER AGRARBERICHT (1995): Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden.

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (Hrsg.) (1989): Lehrbuch der Bodenkunde, 12. Auflage, Enke-Verlag, Stuttgart.

SCHINNER, F.; ÖHLINGER, R.; KANDELER, E & R. MARGESIN, (Hrsg.) (1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer Verlag, Berlin, 2. überarbeitete und erweiterte Aufl., 389 S.

SCHMIDT, W. (1994): Statusbericht zur Erosion im Freistaat Sachsen 1993. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau, Leipzig (Hrsg.)

SCHMIDT, J., VON WERNER, M., MICHAEL, A., SCHMIDT, W. (1996): EROSION 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser: Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg/Sachsen

SCHMIDT, W., STAHL, H., NITZSCHE, O., ZIMMERLING, B., KRÜCK, S., ZIMMERMANN, M., RICHTER, W. (2001): Konservierende Bodenbearbeitung - die zentrale Maßnahme eines vorsorgenden und nachhaltigen Bodenschutzes. Mitt. dt. Bodenkundl. Gesellschaft 96(2), 771-772.

SCHUMANN, A, & J. MÜLLER (1995): Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 77, 43-48.

SIEKER, F., 2002. Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. Endbericht. DBU Projekt 15877. Hannover.

SIMS, R.W. & B.M. GERARD (1985): Earthworms. Keys and Notes for the Identification and Study of the Species. Brill, Backhuys, London.

SMUL (1997): Ordnungsgemäßer Einsatz von Düngern entsprechend der Düngeverordnung. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.).

SÖCHTIG, W. & O. LARINK (1992): Effect of soil compaction on activity and biomass of endogeic lumbricids in arable soils. Soil Biol. Biochem., 24 (12), 1595-1599.

SOMMER, C. (HRSG.) (1994): Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis. BML-FuE-Vorhaben 87 UM 01, Bericht 222.

SOMMER, C. (1999): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Bodenschutz 4(1), 15-19.

SOMMER, C., KLOEPFER, F. (1999): Gute fachliche Praxis im Bundesbodenschutzgesetz. Landtechnik 54, 10-12.

TEBRÜGGE, F., EICHHORN, H. (1992): Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. In: FRIEBE, B. (Hrsg.) Wechselwirkungen von Bodenberbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Verlag Dr. Fleck, Niederkleen, 7-20.

TEEBKEN, T., GÜNTHER-BORSTEL, O., SIELING, K. (1994): N-Auswaschung - lässt sich ihre Höhe anhand der Nmin-Veränderungen über Winter abschätzen? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., 7, 229-232.

TEIWES, K. (1997): Bodenkundliche Bestandsaufnahme auf Feldversuchsflächen der Südzucker AG zur Bodenbearbeitung. Unveröffentlichter Bericht.

TEIWES, K. (1998): Bodenkundliche Bestandsaufnahme auf der Fläche des Bodenbearbeitungsversuches Zschortau der Südzucker AG. Unveröffentlichter Bericht.

THIEL, E. (2002): Stickstoffhaushalt und sickerwassergebundener Stickstoffaustrag bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung. Diplomarbeit Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Institut für Geographie.

TISDALL, J.M., OADES, J.M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33, 141-163.

TOPP, G.C., DAVIS, J.L., ANNAN, A.P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Ressources Research 16, 574-582.

UMWELTBUNDESAMT [Hrsg.] (1994): Stoffliche Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft und Maßnahmen zu ihrer Verringerung. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 208 S.

VAN DEN BYGAART, A.J., FOX, C.A., FALLOW, D.J., PROTZ, R. (2000): Estimating Earthworm-Influenced Soil Structure by Morphometric Image Analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 982-988.

VAN DER PAAUW, F., SISSING, H. A. (1971): An effective water extraction method for the determination of plant-available soil phosphorus. Plant and Soil 34 (2), 467-481.

VDLUFA-METHODENBUCH (1991): Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Bd. I, 4. Aufl., Bassler, R. (Hrsg.).

WANTULLA, A. (1987): Möglichkeiten zur Verringerung des Nitrataustrages bei Gülleanwendung in einer Silomais-Monokultur durch Anbau von Zwischenfrüchten und den Einsatz von Dicyandiamid. Inaugural-Dissertation, Universität Bonn.

WEGENER, U. (2001): Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen - Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Aus dem Institut für Zuckerrübenforschung 14/2001, zugl. Dissertation, Universität Göttingen.

WINNIGE, B., CORZELIUS, U., FRIELINGHAUS, M. (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 88, 569-572.

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standorteigenschaften der Versuchsflächen 8
Tabelle 2: Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Versuchsdauer und Fruchtfolgen der Versuchsstandorte 9
Tabelle 3: Termine von Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Aussaat und Ernte auf den Versuchsstandorten 11
Tabelle 4: Einteilung und Bezeichnung der Probenahmehorizonte für die bodenphysikalischen Untersuchungen 15
Tabelle 5: Eingabeparameter sowie Datenverfügbarkeit für die Wassererosionsabschätzung mit EROSION 2D/3D 21
Tabelle 6: Trockenrohdichte am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 23
Tabelle 7: Trockenrohdichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 23
Tabelle 8: Trockenrohdichte am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 24
Tabelle 9: Trockenrohdichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 24
Tabelle 10: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Zschortau in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 10/11.04.2001 26
Tabelle 11: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000 26
Tabelle 12: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Littdorf in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 15.05.2001 27
Tabelle 13: Gesamtporenvolumen, Feldkapazität und Luftkapazität am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 16.05.2001 27
Tabelle 14: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 10/11.04.2001, geometrisches Mittel 28
Tabelle 15: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Tiefenstufe, Probenahme: 13.11.2000, geometrisches Mittel 29
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 29
Tabelle 17: Anzahl vertikaler Makroporen > 1 mm Durchmesser und Flächenanteil der vertikalen Makroporen am Standort Zschortau in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe 31
Tabelle 18: Anzahl vertikaler Makroporen > 1 mm Durchmesser und Flächenanteil der vertikalen Makroporen am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe 31
Tabelle 19: Basale CO_2-Respiration [$\mu g\ CO_2\text{-}C * g^{-1}\ TS * h^{-1}$] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 47

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 47
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 48
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 49
Tabelle 23: C_{mic}:C_{org} [%] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 50
Tabelle 24: C_{mic}:C_{org} [%] am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 50
Tabelle 25: Dominanzstruktur der Regenwurm-Arten am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 52
Tabelle 26: Dominanzstruktur der Regenwurm-Arten am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 52
Tabelle 27: Übersicht über die im Projektzeitraum durchgeführten Beregnungsversuche 56
Tabelle 28: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Zuckerrüben nach Sommergerste, Termin: 01.06.99 58
Tabelle 29: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Winterweizen nach Zuckerrüben, Termin: 06.04.00 58
Tabelle 30: Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Winterweizen nach Winterweizen, Termin: 13.11.00 58
Tabelle 31: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Mais nach Winterweizen, Termin: 20.05.99 58
Tabelle 32: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Sommergerste nach Mais, Termin: 04.05.00 59
Tabelle 33: Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Winterraps nach Sommergerste, Termin: 07.09.00 59
Tabelle 34: Beregnungssimulation am Standort Littdorf in Triticale nach Winterweizen, Termin: 14.10.99 59
Tabelle 35: Beregnungssimulation am Standort Littdorf in Zuckerrüben nach Triticale, Termin: 14.05.01 59
Tabelle 36: Beregnungssimulation am Standort Lippersdorf in Sommergerste nach Mais, Termin: 18.05.00 59
Tabelle 37: Beregnungssimulation am Standort Krumhermersdorf in Erbsen nach Winterraps, Termin: 18.05.01 59
Tabelle 38: P-Gehalte und P-Frachten (wasserlöslich und HCL-löslich) am Standort Lüttewitz bei Beregnung am 13.11.2000 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. 63
Tabelle 39: P-Gehalte und P-Frachten (wasserlöslich und HCL-löslich) am Standort Lippersdorf bei Beregnung am 18.05.2000 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. 64
Tabelle 40: Sickerwasserbildung (80 cm Tiefe) [mm] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 76
Tabelle 41: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 78
Tabelle 42: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 78

Tabelle 43: Minimaler und maximaler Gehalt an Deoxynivalenol (DON) in Winterweizen-Proben der Jahre 1999 bis 2001 von sächsischen Betrieben nach unterschiedlichen Vorfrüchten, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und bei verschiedenen Weizensorten (DON-ELISA, Nachweisgrenze: 110 ppb) 85
Tabelle 44: Gehalt an Deoxynivalenol (DON) in Winterweizenproben in den Jahren 2000 und 2001 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Sorte und einer Fungizidapplikation..... 87
Tabelle 45: Winterweizenertrag in den Jahren 2000 und 2001 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, der Sorte und einer Fungizidapplikation..... 88
Tabelle 46: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 1999 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung..... 95
Tabelle 47: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 2000 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung..... 96
Tabelle 48: Erträge [dt*ha^{-1}] des Jahres 2001 auf den Untersuchungsstandorten in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung..... 96
Tabelle 49: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei Ist-Nutzung des Jahres 1996, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai..... 104
Tabelle 50: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei vollständigem Maisanbau, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai, Saatbettzustand, konventionelle Bodenbearbeitung..... 104
Tabelle 51: Bodenabträge im EZG-Saidenbach bei vollständigem Maisanbau, 10jähriges Niederschlagsereignis, Mitte Mai, Saatbettzustand, konservierende Bodenbearbeitung..... 104
Tabelle 52: Simulierter Bodenabtrag [t*ha^{-1}] im Gebiet Niederstriegis in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität, der Bodenbearbeitung und der Mulchbedeckung..... 110
Tabelle 53: Förderumfang (Flächenumfang und Anteil an der Ackerfläche) der Maßnahme Konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat in Sachsen im Rahmen des Förderprogrammes "Umweltgerechte Landwirtschaft" seit 1993 114

15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen Niederstriegis und Littdorf (Sächsisches Lößhügelland) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf den Untersuchungsflächen 4
Abbildung 2: Lage der Untersuchungsfläche Lüttewitz (Sächsisches Lößhügelland) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche 5
Abbildung 3: Lage der Untersuchungsfläche Zschortau (Leipziger Tieflandsbucht) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten, der beprobten Messplätze und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche 6
Abbildung 4: Lage der Untersuchungsfläche Lippersdorf (Erzgebirge) und Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche 7
Abbildung 5: Lage der Untersuchungsfläche Krumhermersdorf (Erzgebirge) sowie der Bodenbearbeitungsvarianten und der Bodenverhältnisse auf der Untersuchungsfläche 8
Abbildung 6: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Spröda (Leipziger Tiefland) im Untersuchungszeitraum 12
Abbildung 7: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Nossen (Sächsisches Lößhügelland) im Untersuchungszeitraum 12
Abbildung 8: Niederschlags- und Temperaturgang am Standort Forchheim (Erzgebirge) im Untersuchungszeitraum 13
Abbildung 9: Gesättigte Wasserleitfähigkeit am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Tiefenstufe 30
Abbildung 10: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 33
Abbildung 11: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 34
Abbildung 12: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 34
Abbildung 13: Aggregatstabilität im Zeitverlauf am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 35
Abbildung 14: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 36
Abbildung 15: P-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 37
Abbildung 16: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 38
Abbildung 17: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 39
Abbildung 18: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 40
Abbildung 19: K-Gehalte (DL-löslich) am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 41
Abbildung 20: Gehalt an organischer Substanz am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe 42
Abbildung 21: Gehalt an organischer Substanz am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe 43

Abbildung 22: Gehalt an organischer Substanz am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe 43
Abbildung 23: Gehalt an organischer Substanz am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Bodentiefe 44
Abbildung 24: Mikrobielle Biomasse am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 46
Abbildung 25: Mikrobielle Biomasse am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefenstufe 46
Abbildung 26: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 53
Abbildung 27: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer am Standort Zschortau in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 53
Abbildung 28: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 60
Abbildung 29: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 61
Abbildung 30: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 61
Abbildung 31: Infiltrationsrate bei Beregnungssimulation am Standort Lippersdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 61
Abbildung 32: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 0 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 66
Abbildung 33: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 60 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 67
Abbildung 34: Zeitliche Dynamik des Nitrat-Gehaltes in der Bodenlösung (Saugkerzenmethode) in 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 68
Abbildung 35: Niederschlagsverteilung (Monatssummen) und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 0 bis 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 69
Abbildung 36: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 71
Abbildung 37: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 60 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 72
Abbildung 38: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 72
Abbildung 39: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 73
Abbildung 40: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung 74
Abbildung 41: Ermittlung des Volumetrischen Wassergehaltes in 80 cm Bodentiefe bei pF 1,8 am Beispiel der Variante Pflug auf Grundlage von TDR- und Tensiometermessungen 76
Abbildung 42: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im August 1999, Kultur: Zuckerrüben, Profilwandmethode 90

Abbildung 43: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im August 1999, Kultur: Zuckerrüben, Bohrkernmethode 91
Abbildung 44: Wurzellängendichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Oktober 1999, Kultur: Körnermais, Bohrkernmethode 92
Abbildung 45: Wurzellängendichte am Standort Littdorf in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 1999, Kultur: Winterweizen, Bohrkernmethode 92
Abbildung 46: Wurzellängendichte am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 2000, Kultur: Winterweizen, Bohrkernmethode 93
Abbildung 47: Wurzellängendichte am Standort Niederstriegis in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung im Juni 2000, Kultur: Sommergerste, Bohrkernmethode 94
Abbildung 48: Teileinzugsgebiete des Gesamteinzugsgebietes der Talsperre Saidenbach, Erzgebirge 102
Abbildung 49: Erosion und Deposition im Gebiet Talsperre Saidenbach nach 10jährigem Extremereignis Mitte Mai, Alle Ackerflächen mit Mais..... 106
Abbildung 50: Erosion und Deposition im Gebiet Talsperre Saidenbach nach 10jährigem Extremereignis Mitte Mai, alle Ackerflächen mit Mais..... 107
Abbildung 51: Landnutzung im Gebiet Niederstriegis..... 109
Abbildung 52: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Pflug 110
Abbildung 53: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 10 % Mulchbedeckung 111
Abbildung 54: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 30 % Mulchbedeckung 111
Abbildung 55: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 10jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 50 % Mulchbedeckung 112
Abbildung 56: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 2jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Pflug 112
Abbildung 57: Erosion und Deposition im Gebiet Niederstriegis nach 2jährigem Extremereignis Mitte Juli; Bodenzustand: Feldkapazität, Mais (3-4 Knoten), Bodenbearbeitung: Konservierend (Zinkenrotor), 30 % Mulchbedeckung 113