

# Multifunktionale Landwirtschaft auf Kippen des Braunkohlenbergbaus

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft  
Heft 5 • 6. Jahrgang 2001



**Freistaat**  **Sachsen**  
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft





## Multifunktionale Landwirtschaft auf Kippen des Braunkohlebergbaus

Lebert, M.,<sup>1)</sup> Stahl, H.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

<sup>1)</sup> aktuell: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebstechnik und Bau-  
forschung

**Auswirkungen der ackerbaulichen Nutzung von Bergbaufolgeflächen auf die Boden-  
funktionen sowie die Wirtschaftlichkeit**

1

Berlin, K., Gunschera, G., Landeck, I., Liebner, C., Wöhler, V.

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.

**Lösungen zur extensiven und alternativen Nutzung sowie zur Landschaftspflege gehölz-  
freier Kippareale im Lausitzer Braunkohlenrevier**

33

Abo-Rady, M. und Krüger, S.<sup>1)</sup>

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

<sup>1)</sup> aktuell: Sächsische Landesanstalt für Forsten

**Auswirkungen der Flächenstilllegung von landwirtschaftlich genutzten Kippenböden auf  
bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften**

49

T. Schmalwasser<sup>1)</sup>, K. Strittmatter<sup>2)</sup>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

<sup>1)</sup> aktuell: Deutscher Entwicklungsdienst GmbH

<sup>2)</sup> aktuell: Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Nutztierwissenschaften Leipzig e.V.

**Auswirkungen der Beweidung auf die Standortparameter von Kippenböden unter Be-  
rücksichtigung der Eignung verschiedener Schafrassen**

57

Chr. Emmmerling, N. Wermbter

Universität Trier

**Biomasse, Aktivität und Besiedlung von Bodenorganismen (Mikroorganismen, Collem-  
bolen, Regenwürmer, Streuabbau) als Indikatoren einer standortgerechten landwirt-  
schaftlichen Nutzung von Kippenböden**

79





# Auswirkungen der ackerbaulichen Nutzung von Bergbaufolgefleichen auf die Bodenfunktionen sowie die Wirtschaftlichkeit

Lebert, M.,<sup>1)</sup> Stahl, H.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

<sup>1)</sup> aktuell: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung

## 1. Einleitung und Zielsetzung

In Sachsen befinden sich die Gebiete des Braunkohlenbergbaus im Leipziger Land, insbesondere im Süden von Leipzig und im Lausitzer Urstromtal. Rund 50.000 ha Land wurden durch den Braunkohlenbergbau verbraucht (LFL, 1998a). Davon sind bisher etwa 25.000 ha wieder urbar gemacht und rekultiviert worden. Mit der Rekultivierung wurde der ursprünglich hohe Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche stark reduziert; demgegenüber stiegen die Forst-, Naturschutz- und Seenflächen. Trotz starker Flächenreduktionen stellt die Landwirtschaft in den betroffenen Regionen aber immer noch einen wichtigen Landnutzungs- und Wirtschaftsfaktor dar. Insgesamt wirtschaften 24 Agrarbetriebe auf sächsischen Kippenflächen, davon 19 im Raum Leipzig und 5 in der Lausitz. Für die Existenz dieser Betriebe ist die Nutzung der Kippenflächen sehr wichtig. Grundlage für die Erhaltung und Neuplanung von landwirtschaftlich nutzbaren Kippenflä-

chen ist jedoch eine funktionsfähige Landwirtschaft, die den ökonomischen und ökologischen Anforderungen an eine moderne, umweltgerechte Landnutzung genügt.

Mit den Untersuchungen sollte geklärt werden, ob und wie die Kippenlandwirtschaft die bodenkundlichen Probleme acker- und pflanzenbaulich lösen kann und wie sie mit den gegenwärtigen und zukünftigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zurecht kommt. In der Vergangenheit wurden die mit der Kippenbewirtschaftung zusammenhängenden Fragen der Düngung, der Humusakkumulation und der Kalkung weitgehend geklärt (WÜNSCHE, 1976; THUM ET AL., 1990; KATZUR, 1977). Weniger geklärt sind hingegen die Einflüsse des bodenphysikalischen Zustandes der Deckschichten der Kippen auf die landwirtschaftliche Nutzbarkeit und deren Modifikation durch die Bodenbearbeitung.

## 2. Aktueller Sachstand

### 2.1 Umfang und Nutzung landwirtschaftlich rekultivierter Kippenflächen

**Tabelle 1: Regionale Verteilung der landwirtschaftlich rekultivierten Kippenflächen in Sachsen (in ha) unter Berücksichtigung von Altkippen und Neuplanungen (Stand: 01.01.1998; Quellen: LFL, 1998a; REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, 1995; REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERLAUSITZ-NIEDERSCHLESIE, 1994 und 1998; Schlagkarten der Betriebe)**

Betreiber	Lausitz	Leipzig-Nord	Leipzig-Süd	Sachsen gesamt
<i>Aktuell:</i>				
LMBV	2.402	297	3.052	5.751
MIBRAG			1.055	1.055
LAUBAG	4			4
Altkippen			1.131	1.131
<b>Summe aktuell</b>	<u>2.406</u>	<u>297</u>	<u>5.238</u>	<u>7.941</u>
<i>geplant:</i>				
LMBV	284		15	299
MIBRAG			1.208	1.208
LAUBAG	5			5
<b>Summe geplant</b>	<u>289</u>		<u>1.223</u>	<u>1.512</u>
<b>Gesamtsumme</b>	<u>2.695</u>	<u>297</u>	<u>6.461</u>	<u>9.453</u>



Aktuell werden derzeit in Sachsen ca. 8.000 ha Kippenflächen landwirtschaftlich genutzt (Tabelle 1). Der überwiegende Teil davon liegt mit etwa 66 % im Süden von Leipzig. Der zweitgrößte Flächenanteil liegt mit ca. 30 % in der Lausitz. Die Flächen im Südraum Leipzig enthalten ca. 1.100 ha sogenannte Altkippen, die nicht mehr unter der Verantwortung der heutigen Bergbaubetreiber liegen. Der aktuelle Stand der Braunkohlenplanung weist im Bereich der sächsischen Lausitz nur noch einen geringen, zukünftigen Flächenzuwachs landwirtschaftlicher Kippen von ca. 300 ha aus. Ein weitaus größerer Flächenzuwachs ist für den Südraum Leipzig geplant, wo im Tagebau „Vereinigtes Schleenhain“ noch etwa 1.200 ha landwirtschaftliche Rekultivierungsfläche entstehen werden. Nach Abschluss des Braunkohlenbergbaus wird es nach derzeitigem Planungsstand etwa 9.500 ha landwirtschaftlich genutzte Rekultivierungsflächen in Sachsen geben.

## 2.2 Standorteigenschaften sächsischer Kippen

Die bodenkundlichen Standorteigenschaften der Kippenböden Sachsens wurden bereits in der Vergangenheit intensiv untersucht. Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten war die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, die schrittweise durch gezielte acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen an diejenige von gewachsenen Standorten herangeführt wurde (VOGLER, 1981).

Umfangreiche Untersuchungsergebnisse zur Bodenbeschaffenheit von Kippenböden aus Geschiebemergel im Raum Leipzig stellten WÜNSCHE und THUM (1990) und THUM et al. (1990) vor. Die Humusakkumulation der Krume zeigte den Verlauf einer Sättigungskurve und erreichte etwa nach 30 Jahren ein Gleichgewichtsniveau, wovon 75 % bereits nach 15 Jahren erreicht waren. Der Humusgehalt der Vorfeldböden wurde aber nur etwa zu 85 % erreicht. Der Anstieg des Stickstoffgehalts in der Krume folgt dem des Humusgehalts, allerdings wird ein Gleichgewichtsniveau erst später erreicht. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem P und K konnten bereits nach 7 Jahren durch Düngungsmaßnahmen auf Werte oberhalb des Mangelbereichs angehoben werden.

Trotz stark verbesserter Krumeneigenschaften war noch 15 - 25 Jahre nach der Rekultivierung die Unterbodendurchwurzelung gestört. Das Ertragsniveau der rekultivierten Böden dieser Altersklasse erreichte für den Zeitraum 1980 bis 1986 bei Getreide nur etwa 82 % der Vorfeldböden. Da das

Grundwasser an den Rekultivierungsstandorten auch heute noch überwiegend tief abgesenkt ist, stellt die klimatische Situation hohe Ansprüche an die Erschließung des Wasservorrates im Boden durch die Pflanze um Trockenstressphasen zu überstehen. Messungen zur Wasserdynamik im Boden von landwirtschaftlich genutzten Kippenflächen des Raums Leipzig lagen bis zu Beginn dieses Forschungsprojektes nicht vor.

Die Rekultivierungsböden der sächsischen Lausitz bestehen im Wesentlichen aus quartären Becken- und Talsanden, sowie aus tertiären, überwiegend brackischen, kohlehaltigen Sanden. Leichte Sandböden stellen die landwirtschaftliche Nutzung im Bereich der Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen ohnehin vor Probleme, die durch die Grundwasserabsenkung noch verstärkt werden. Die landwirtschaftliche Nutzung saurer, pyrihaltiger, tertiärer Kippsande ist erst nach einer tiefgründigen Grundmelioration möglich (ILLNER und KATZUR, 1964). Die in den Tertiärsanden enthaltene Kohle, die in der Regel feinverteilt vorliegt und Gehalte zwischen 0,5 und 5 % erreicht, bewirkt gegenüber quartären Sanden gleicher Körnung den Vorteil einer höheren nutzbaren Feldkapazität (HAUBOLD-ROSAR, 1998). Die landwirtschaftliche Nutzung fördert allerdings zunächst den Abbau von fossiler organischer Substanz, so dass die Gesamtkohlenstoffgehalte dieser Böden erst abnehmen und später, durch den Aufbau neuer Huminstoffe, wieder zunehmen (KATZUR, 1987; WÜNSCHE, 1977). Untersuchungen zur Wasserdynamik in der Deckschicht landwirtschaftlicher Nutzflächen fehlen auch hier.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Untersuchungsstandorte

Die Standorte für bodenkundliche Untersuchungen wurden so gewählt, dass ein möglichst weites Spektrum der repräsentativen, jüngeren Kippenflächen Sachsens erfasst wurde (Tabelle 2). Grundlage der Flächenauswahl bildeten die Kippsubstratkarten sächsischer Bergbaufolgelandschaften des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG, 1994). Danach dominieren im Raum Leipzig Kippsubstrate aus saale- und elsterzeitlichen Geschiebemergeln- und -lehm mit ca. 80 % Gesamtflächenanteil. Die vorwiegend aus diesen Substraten gebildeten Kipp-Kalksandlehme waren Untersuchungsschwerpunkt im Raum Leipzig, mit der regionstypischen Fruchtfolge Winterweizen-Wintergerste-Winterraps oder mit Luzernegrasanbau. Daneben wurde ein Standort aus der in dieser



Region am zweithäufigsten vorkommenden Substratgruppe Kipp-Normallehm untersucht, die aus Gemengen von Terrassenmaterial und Geschiebelehm bestehen. Im sächsischen Teil des Lausitzer Braunkohlenreviers wurden Untersuchungsstandorte auf quartären und tertiären Sanden angelegt. Die

Fruchtfolge auf den Lausitzer Standorten waren überwiegend vom Futterbau geprägt. In der Mehrzahl wurden Luzerne und Luzernegrasgemenge angebaut. Als typische Marktfrüchte kamen Wintertriticale und -roggen im Untersuchungszeitraum vor.

**Tabelle 2: Übersicht der Untersuchungsstandorte (die Standortnamen sind jeweils mit den Namen der zugehörigen Tagebaue identisch)**

Gebiet	Standort	Kippsubstrat	Ausgangsgestein	Varianten	Fruchtfolge 1996 – 1998
Raum Leipzig	Espenhain Verkipfung: 1982	kiesführender Kipp-Kalksandlehm oj-(k)csl(q)	Geschiebemergel und Terrassenkies	Konservierend Pflug Nord Pflug Süd	W.-weizen 1996 W.-gerste 1997 W.-raps 1998 (alle Varianten)
Raum Leipzig	Schleenhain Verkipfung: 1984	kiesführender Kipp-Kalksandlehm oj-(k)csl(q)	Geschiebemergel und Terrassenkies	Nord Süd	Luzernegras 1996-1998 (beide Varianten)
Raum Leipzig	Delitzsch-SW Verkipfung: 1987	kiesführender Kipp-Kalksandlehm oj-(k)csl(q)	Geschiebemergel und Terrassenkies	Marktfrucht  Luzerne Gehölzstreifen	Luzerne 1996 W.-raps 1997 W.-gerste 1998 1996-1998 1996-1998
Raum Leipzig	Zwenkau Verkipfung: 1971	kiesführender Kipp-Normallehm oj-(k)ll(q)	Terrassenkies, -sand und Geschiebelehm	keine	Luzerne 1996-1998
Lausitz	Lohsa Verkipfung: 1989	Kipp-Lehmsand oj-ls(q)	Schmelzwasser-sand	keine	Futtergras 1996 S.-gerste 1997 Öllein 1998
Lausitz	Bärwalde Verkipfung: 1987	kiesführender Kipp-Lehmsand oj-(k)(bo)ls(q)	Talsand und Talschluff	keine	W.-triticale 1996 S.-gerste 1997 Luzerne 1998
Lausitz	Nochten Verkipfung: 1974	Kipp-Kohlelehmsand oj-xls(t)	marinbrackischer Sand	keine	Luzerne 1996 Luzerne 1997 W.-roggen 1998
Lausitz	Heide Verkipfung: 1972	Kipp-Kohlelehmsand und -Reinsandkies Gemenge oj-xls(t) <> ssk(q)	marinbrackischer Sand und Terrassenkies	keine	Luzerne 1996-1998
Lausitz	Reichwalde Verkipfung: 1995	Kipp-Reinsand oj-ss(bo)(q)	Auensand	keine	Klee gras 1996-1998



## 3.2 Untersuchungsmethoden

### 3.2.1 Laboruntersuchungen

Einen Überblick zu den durchgeführten Laboranalysen gibt Tabelle 3. Die bodenchemischen Methoden sind beschrieben bei SCHLICHTING et al. (1995), die bodenphysikalischen bei HARTGE und HORN (1992) und die Wurzeluntersuchungen bei BÖHM (1979).

### 3.2.2 Freiland-Wasserhaushalt

Auf allen Messparzellen im Freiland wurden die Bodenwasserspannung und der Bodenwassergehalt im Jahresgang gemessen (Abbildung 1). Die Messungen der Bodenwasserspannung erfolgten durch Tensiometrie mit Saugkerzen aus P-80-Material. Die Ableseintervalle betragen während der Hauptvegetationszeit 1 Woche und in der restlichen Zeit 2 Wochen. Der Bodenwassergehalt wurde mit der Time-Domäne-Reflektometrie (= TDR) bestimmt (TOPP et al., 1980). Zusätzlich wurden die täglichen Niederschläge nach dem Hellmann-Prinzip gemessen.

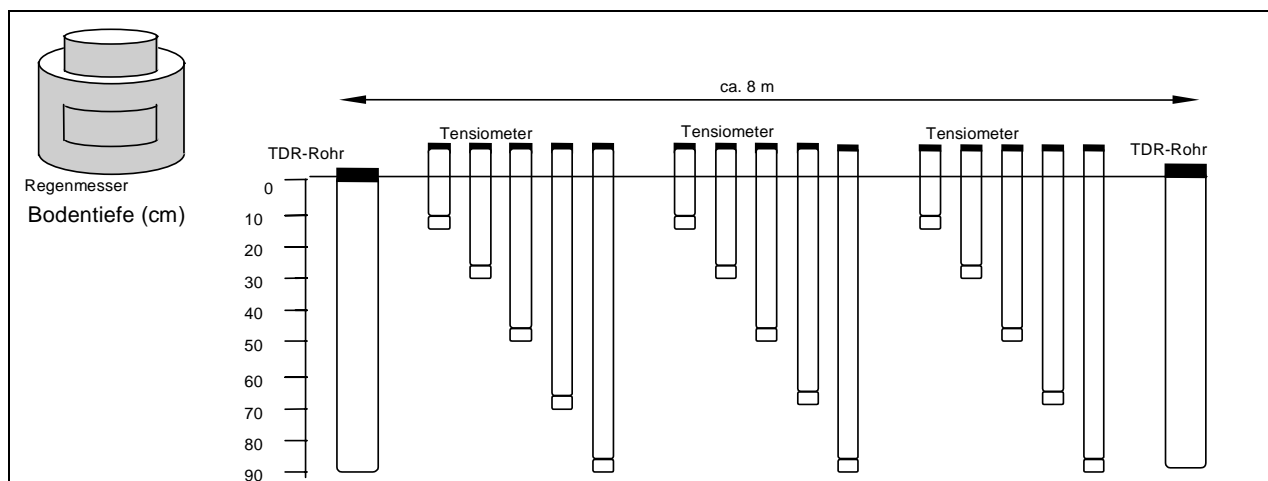
Trennungskriterium für eine abwärts und aufwärts gerichtete Wasserbewegung war das Unter- bzw. Überschreiten einer Wasserspannung von 60 hPa (= pF 1.8), welche einheitlich als Feldkapazität angenommen wurde. Wasser mit einer Spannung von kleiner oder gleich 60 hPa wurde als Sickerwasser und einer Spannung von größer 60 hPa als kapillares Aufstiegswasser definiert.

Beim zeitlichen Verlauf des Bodenwassergehaltes wurde unterschieden zwischen Totwasser, schwer- und leicht pflanzenverfügbarem Wasser und Sickerwasser. Die Grenzen wurden respektive bei pF 4.2, 3.0 und 1.8 festgelegt. Die Zuordnung von Wasserspannung (pF-Wert) und Wassergehalt erfolgte grundsätzlich über die Desorptions-pF-Kurve von Stechzylinderproben aus Labormessungen. Bei starken Abweichungen zwischen der Sickerwassergrenze der Tensiometer- und der TDR-Messung wurden zusätzlich Feld-pF-Kurven herangezogen, um die Tensiometermessungen von Hysteresiseffekten zu bereinigen.

**Tabelle 3: Methoden der Laboruntersuchungen**

Parameter	Methode
pH-Wert	0,01 M CaCl <sub>2</sub> Extrakt
Gesamt-N (N <sub>T</sub> ), Gesamt-C (C <sub>T</sub> ), Gesamt-S (S <sub>T</sub> )	Trockene Verbrennung im O <sub>2</sub> -Strom
CaCO <sub>3</sub>	nach Scheibler
Organisch C (C <sub>org</sub> )	Gesamt-C abzüglich CaCO <sub>3</sub> -C
S-Wert (Summe aus Ca, K, Mg, Na)	Austausch mit BaCl <sub>2</sub>
H-Wert potentiell (H <sub>pot</sub> )	nach Schachtschabel
Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK <sub>pot</sub> )	Summe S-Wert und H-Wert <sub>pot</sub>
Bodenart	Pipettmethode nach Köhn Nasssiebung
Lagerungsdichte	Wägung nach 16 h Trocknung bei 105 °
Gesättigte Wasserleitfähigkeit	stationär nach Darcy
Luftleitfähigkeit	stationär nach Darcy, PL 300 (UGT, 1999)
Wasserspannungs-Wassergehalts (= pF) – Kurve	Unterdruck bis pF 1.8, Überdruck > pF 1.8
Wurzellängendichten	Profilwandmethode





**Abbildung 1: Einbauschema der Freilandmessgeräte für den Bodenwasserhaushalt**

Die klimatischen Wasserbilanzen wurden nach folgender Gleichung bestimmt:

$$N = E_{\text{real}} + G_{\text{Wneu}} + \Delta W$$

mit: N = Niederschlag (mm),  
 $E_{\text{real}}$  = reale Evapotranspiration (mm),  
 $G_{\text{Wneu}}$  = Grundwasserneubildung (mm),  
 $\Delta W$  = Wassergehaltsdifferenz im Boden (mm) zwischen Beginn und Ende des Bilanzzeitraums.

Die Größen „Grundwasserneubildung“ und „reale Evapotranspiration“ wurden über die Wassergehaltsänderung während der von den Tensiometermessungen ausgewiesenen Phasen mit abwärts bzw. aufwärts gerichteter Wasserbewegung unter Einbeziehung der Niederschläge errechnet. In Phasen mit Sickerwasserbildung wurde die reale Evapotranspiration der potenziellen gleichgesetzt, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Stationen Leipzig-Schkeuditz und Cottbus für den Zeitraum von 1996 bis 1998 zur Verfügung gestellt wurden.

Die pflanzenverfügbare Wassermenge (Wpfl) im Boden wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$W_{\text{pfl}} (\text{mm}) = n_{\text{FK}} \times W_e + N - G_{\text{Wneu}} - \text{Evapo}$$

mit:  $n_{\text{FK}}$  = nutzbare Feldkapazität (mm/dm Tiefe = Vol. %)  
 $W_e$  = Tiefe des gemessenen effektiven Wurzelraums (dm)  
N = Niederschlag (mm)  
 $G_{\text{Wneu}}$  = Grundwasserneubildung (mm)  
Evapo = Evaporationsverluste aus der Totwasserfraktion (mm).

### 3.2.3 Erträge und betriebswirtschaftliche Berechnungen

Auf den zu den Messparzellen gehörenden Schlägen wurden Ertragsmessungen durchgeführt. Bei Getreide kamen auf den Flächen in Espenhain (1996-1998) und Delitzsch-SW (1997, 1998) Parzellenmährescher zum Einsatz.

Um statistische Aussagen über die aktuelle Ertragsituation auf Kippen treffen zu können, sind mehr Daten erforderlich als im Rahmen des Projektes neu erhoben werden konnten. Zu diesem Zweck wurden die Schlagkarteien der kippenbewirtschaftenden Betriebe ausgewertet, die seit 1993 im Rahmen des Förderprogramms UL (= Umweltgerechte Landwirtschaft) in Sachsen geführt werden (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 1995). Im Mittel der Jahre 1993 bis 1998 konnten für 73 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf Kippen in Sachsen Schlagkarteien ertragsstatistisch ausgewertet und den dominierenden Kippsubstraten zugeordnet werden.

Zum Vergleich mit den Erträgen der Kippenböden wurden die Erträge von Referenzbetrieben herangezogen, die auf den Vorfeldeböden des Braunkohlentagebaus auf Altlandflächen wirtschaften. Es handelt sich um drei Referenzbetriebe im Südraum Leipzig mit Sandlößböden und um 2 Referenzbetriebe in der sächsischen Lausitz mit Böden aus Altmoränen und Terrassensanden.

Die Prüfung auf Signifikanz erfolgte mittels einfaktorier Anova der SPSS Statistik-Software mit dem Student-Newmann-Keuls-Test.



## 4. Ergebnisse

### 4.1 Bodenkundliche Grundbeschreibung

Der pH-Wert der Kipp-Kalksandlehme aus carbonathaltigem Geschiebemergel (Espenhain, Schleenhain, Delitzsch-SW) liegt erwartungsgemäß im schwach bis sehr schwach alkalischen Bereich (Tabelle 4). Der Kipp-Normallehm (Zwenkau) liegt trotz Kalkungsmaßnahmen im mittel sauren Bereich. Im Unterboden der tertiären Standorte (Heide, Nochten) herrscht ein äußerst bis sehr stark saures Milieu vor. Im meliorierten oberen Bodenbereich (0-60 cm) ist der pH-Wert hingegen nur schwach bis sehr schwach sauer und unterscheidet sich kaum von den quartären Kippsubstraten, die je nach Herkunft und Kalkungsvorgeschichte auch sehr saure pH-Werte aufweisen können.

Die tertiären Kippsubstrate zeigen hohe Gehalte an Schwefel von über 0,1 %. Dort sind auch die  $C_{org}$ -Gehalte sehr hoch und die C/N-Verhältnisse weit ( $> 25$ ), was auf die schwer zersetzbaren Huminstoffe der Kohle zurückzuführen ist. Die Einmischungen von Solumsedimenten (Bärwalde und Reichwalde) bewirken hohe Gehalte an  $C_{org}$ , auch unterhalb der Ackerkrume.

Sehr schwach humos und arm an nachlieferbarem N sind die Oberböden der relativ jungen Standorte (12 - 17 Jahre) aus Geschiebemergel. Der von WÜNSCHE und THUM (1990) genannte  $C_{org}$ -Gehalt von 0,92 % bei Böden dieser Altersgruppe, wird mit Ausnahme des Standortes Schleenhain von den Untersuchungsstandorten nur etwa zur Hälfte erreicht. Die Ursache hierfür könnte in einer veränderten, weniger stark auf Humusmehrung ausgerichteten Fruchtfolge liegen. Die Gesamtgehalte an Stickstoff sind an diesen Standorten ebenfalls gering. Die C/N-Verhältnisse dieser Böden sind sehr eng (z.T.  $< 10$ ), so dass überwiegend sehr leicht abbaubare Substanz vorliegt und die vorhandenen N-Vorräte auch nutzbar sind.

Die potenzielle Kationenaustauschkapazität ist entsprechend den Literaturangaben (z.B. WÜNSCHE, 1977) bei den kohlehaltigen Tertiärstandorten am höchsten. Der humose Solumauftrag am Standort Reichwalde weist im Oberboden die geringste Basensättigung auf, da die hohe KAKpot des ansonsten nährstoffarmen Reinsandes fast ausschließlich durch die organische Substanz bewirkt wird, die aber schon bei einem schwach sauren pH-Wert von 6,3 stark absinkt. Die geringste Kationenaustauschkapazität und den geringsten S-Wert weisen die quartären Kipp-Lehmsande auf. Eine erwartungsgemäß höhere Kationenaustauschkapazität und

Basensättigung haben die Kippkalksandlehme. Die im Vergleich zum Standort Espenhain um etwa 1 % höheren Humusgehalte durch Kohlebeimischungen am Standort Schleenhain bewirken eine um ca. 2 cmolc/kg höhere KAKpot, was mit den Faustzahlen der KA 4 (1994) übereinstimmt.

Für die Bewertung der ökonomischen Ertragsfähigkeit der sächsischen Kippen im Hinblick auf den Marktfruchtbau wurden neben der Verwendung von Daten aus den Schlagkarteien des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft auch Betriebsbefragungen durchgeführt. Berechnet wurden die Markterlöse auf der Basis der Naturalerträge, die Deckungsbeiträge mit Hilfe der variablen Kosten, das Reineinkommen unter zusätzlicher Berücksichtigung der Fixkosten und die Stückkosten.

### 4.2 Bodenphysikalische Standorteigenschaften

#### 4.2.1 Körnung und Lagerung

Die Korngrößenanalyse zeigt, dass die reinen Texturunterschiede zwischen den Geschiebemergel- und -lehmstandorten im Raum Leipzig und den quartären und tertiären Standorten in der sächsischen Lausitz nicht sehr groß sind (Tabelle 5). Die Hauptbodenart aller Untersuchungsstandorte ist Sand. Auch die Böden aus Geschiebemergel und -lehm müssen zu den Sanden gerechnet werden. Die Körnung des Feinbodens variiert zwischen mittel und stark lehmigem und mittel schluffigem Sand. Die Lausitzer Standorte Bärwalde und Reichwalde haben einen höheren Sandanteil und weisen schwach lehmigen und schwach schluffigen Sand bis Reinsand auf. Der größte Teil der Standorte enthält bis zu 20 % Kies, lediglich die Sande der Tagebaue Nochten, Lohsa und Reichwalde weisen Kiesgehalte von kleiner 2 % auf.

Wesentliche Unterschiede zwischen den Standorten bestehen hinsichtlich der Bodenstruktur. Die Kipp-Kalksandlehme aus Geschiebemergel weisen generell eine höhere Dichtlagerung als die übrigen Böden auf. Die Dichten der aus Geschiebemergel verkippten Böden weisen mittlere Spannweiten von 1,70 bis 1,90 g/cm<sup>3</sup> auf, es können aber auch Extremwerte von über 2,00 g/cm<sup>3</sup> auftreten. Mit zunehmendem Sandanteil werden die Lagerungsdichten geringer, wie das Beispiel Espenhain/Pflug-Süd zeigt. Bei den gepflügten Standorten (Espenhain/Pflug-Nord und -Süd) liegen im Oberboden geringere Dichten vor. Tendenziell weisen jedoch auch die konservierend bestellten Varianten (Espenhain/Konservierend und Delitzsch-SW/Marktfrucht) eine etwas geringere Lagerungsdichte im Oberboden auf.



Die hohe Dichtlagerung der verkippten Geschiebemergelböden beruht sowohl auf den mechanischen Belastungen während der Flächenherstellung (Schütten und Planieren) und durch den landwirtschaftlichen Geräteeinsatz als auch auf geogenen Prozessen während der Eiszeit. Der jahrhundertlange Eisdruck und die gleichzeitige Schiebung und Scherung des Materials haben ein sehr dichtes Grundgefüge erzeugt, das auch nach dem Umlagerungsprozess noch erhalten ist. Mit Dichten um  $1,0 \text{ g/cm}^3$  ist das sehr humusreiche Auflagesolum

am Standort Reichwalde am lockersten gelagert. Auch der kohlereiche, tertiäre Standort Nochten hat eine sehr geringe Lagerungsdichte im Unterboden von ca.  $1,30 \text{ g/cm}^3$ . Aus diesen Zahlen wird die stabilisierende Wirkung der Humus- und Kohlegehalte deutlich. Auch am Standort Heide treten schichtweise tertiäre Lagen mit geringer Lagerungsdichte auf. Dieser Standort ist allerdings sehr heterogen und enthält auch hochprozentige Kiesbeimengungen, die aber ebenfalls relativ locker gelagert sind.

**Tabelle 4: Bodenchemische Grunddaten**

Standort/Variante Kippsubstrat	Tiefe [cm]	pH	S <sub>t</sub> [%]	C <sub>t</sub> [%]	N <sub>t</sub> [%]	Ca-CO <sub>3</sub> [%]	Corg [%]	C/N	Humus [%]	KAKpot [cmolc/kg]	BS [%]
Espenhain/ Konservierend	0-30	7,5	0,08	0,75	0,024	1,9	0,52	22	0,90	9,22	96,8
	30-60	7,5	0,03	0,49	0,032	1,9	0,26	8	0,45	10,24	92,2
	60-100	7,4	0,07	0,62	0,031	1,9	0,39	13	0,68		
Espenhain/ Pflug-Süd	0-30	7,2	0,02	1,06	0,062	3,3	0,66	12	1,14	9,72	79,4
	30-60	7,4	0,01	0,69	0,018	5,3	0,05	3	0,09	7,84	88,5
	60-100	7,9	0,01	0,61	0,017	4,4	0,08	5	0,14		
Schleenhain/ Süd	0-30	6,9	0,10	1,76	0,074	5,5	1,10	15	1,90	11,87	99,8
	30-60	7,1	0,16	1,42	0,034	6,6	0,63	19	1,08	11,18	99,8
	60-100	7,3	0,19	1,20	0,023	5,9	0,49	21	0,84		
Schleenhain/ Nord	0-30	7,1	0,07	1,29	0,066	2,9	0,94	14	1,62	11,28	99,7
	30-60	7,2	0,10	1,17	0,027	4,6	0,62	23	1,07	11,42	99,7
	60-100	7,3	0,11	1,17	0,020	5,0	0,57	29	0,98		
Delitzsch-SW/ Luzerne	0-30	7,2	0,03	0,90	0,027	6,2	0,16	6	0,27	11,15	91,0
	30-60	7,3	0,02	0,97	0,033	6,2	0,23	7	0,39	9,67	79,3
	60-100	7,3	0,01	0,83	0,025	6,4	0,06	3	0,11		
Zwenkau	0-30	5,9	0,04	1,14	0,110	0	1,14	10	1,97	12,33	71,6
	30-60	5,6	0,01	0,29	0,037	0	0,29	8	0,50	8,70	75,9
	60-100	5,4	1,09	8,27	0,120	0	8,27	69	14,26		
Heide	0-30	6,6	0,11	3,28	0,130	0,8	3,18	25	5,48	21,58	75,0
	30-60	6,4	0,10	1,82	0,053	0	1,82	34	3,14	18,70	65,8
	60-100	3,6	0,09	2,12	0,054	0	2,12	39	3,65		
Nochten	0-30	6,5	0,18	2,41	0,057	0	2,41	42	4,15	22,25	83,8
	30-60	5,1	0,21	2,66	0,065	0	2,66	41	4,59	20,96	56,11
	60-100	2,8	0,27	3,26	0,072	0	3,26	45	5,62		
Bärwalde	0-30	6,8	0,03	1,04	0,073	0	1,04	14	1,79	8,89	82,0
	30-60	6,6	0,02	0,68	0,051	0	0,68	13	1,17	10,10	55,5
	60-100	5,5	0,03	0,90	0,062	0	0,90	15	1,55		
Lohsa	0-30	5,6	0,02	1,32	0,082	0	1,32	16	2,28	8,49	59,9
	30-60	5,6	0,02	1,07	0,067	0	1,07	16	1,85	9,66	48,2
	60-100	6,8	0,04	1,18	0,067	0,8	1,08	16	2,03		
Reichwalde	0-30	6,3	0,06	4,59	0,240	0	4,59	19	7,91	21,96	49,0
	30-60	5,7	0,04	1,82	0,090	0	1,82	20	3,14	11,11	42,4
	60-100	3,8	0,03	0,37	0,013	0	0,37	28	0,64		



**Tabelle 5: Lagerungsdichte (dB), Kiesgehalt (K), Körnung des Feinbodens (S,U,T) und Bodenart der Untersuchungsstandorte**

Standort/ Variante Kippsubstrat	Tiefe	dB [g/cm <sup>3</sup> ]	K [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Bodenart (KA 4)
<b>Espenhain/</b> Konservierend oj-(k) csl (q)	0-30	1,77	8	66	26	8	SI3/Su3
	30-60	1,91	9	67	27	6	Su3
	60-100	1,85	9	61	31	8	SI3/Su3
<b>Espenhain/</b> Pflug-Nord oj-(k) csl (q)	0-30	1,60	10	69	20	11	SI3
	30-60	1,80	8	67	21	12	SI3/SI4
	60-100	1,70	7	68	20	12	SI3/SI4
<b>Espenhain/</b> Pflug-Süd oj-(k) csl (q)	0-30	1,55	14	71	19	10	SI3
	30-60	1,75	13	74	17	9	SI3
	60-100	1,72	10	72	19	9	SI3
<b>Schleenhain/</b> Süd oj-(k) csl (q)	0-30	1,76	13	62	36	2	Su3
	30-60	1,81	11	61	21	18	Ls4
	60-100	1,80	12	68	21	11	SI3
<b>Schleenhain/</b> Nord oj-(k) csl (q)	0-30	1,76	16	68	21	11	SI3
	30-60	1,79	11	59	36	5	Su3
	60-100	1,79	13	64	22	14	SI4
<b>Delitzsch-SW/</b> Luzerne oj-(k) csl (q)	0-30	1,88	14	61	24	15	SI4
	30-60	1,89	19	61	23	16	SI4
	60-100	1,87	19	62	23	15	SI4
<b>Delitzsch-SW/</b> Marktfrucht oj-(k) csl (q)	0-30	1,77	14	61	24	15	SI4
	30-60	1,85	19	61	23	16	SI4
	60-100	1,87	19	62	23	15	SI4
<b>Delitzsch-SW/</b> Gehölz oj-(k) csl (q)	0-30	1,71	14	61	24	15	SI4
	30-60	1,85	19	61	23	16	SI4
	60-100	1,87	19	62	23	15	SI4
<b>Zwenkau</b> oj-(k) II (q)	0-30	1,58	13	57	30	13	SI4
	30-60	1,65	14	54	31	15	SI4
	60-100	1,57	10	57	30	13	SI4
<b>Heide</b> oj-xls (t) <> ssk (q)	0-30	1,57	16	72	14	14	SI4
	30-60	1,42	9	73	14	13	SI4
	60-100	1,57	65	76	12	12	SI3/SI4
<b>Nochten</b> oj-xls (t)	0-30	1,31	1	77	12	11	SI3
	30-60	1,35	1	80	10	10	SI3
	60-100	1,29	5	72	14	14	SI4
<b>Bärwalde</b> oj-ls(k)(bo) (q)	0-30	1,67	14	79	14	7	SI2
	30-60	1,60	12	79	16	5	Su2/SI2
	60-100	1,58	12	79	15	6	SI2
<b>Lohsa</b> oj-ls (q)	0-30	1,61	1	65	27	8	Su3/SI3
	30-60	1,61	1	67	26	7	Su3
	60-100	1,62	1	65	30	5	Su3
<b>Reichwalde</b> oj-ss(bo) (q)	0-30	0,96	0	84	9	7	St2
	30-60	1,02	0	87	10	3	Ss/Su2
	60-100	1,72	0	87	12	1	Su2



#### 4.2.2 Wasser- und Lufthaushalt

Die Gesamtporenvolumina sind zur Lagerungsdichte umgekehrt proportional. Die am dichtesten gelagerten Standorte weisen demzufolge die geringsten Gesamtporenvolumina auf (Tabelle 6/7).

Geringe Luftkapazitäten weisen die dicht gelagerten Kipp-Kalksandlehme des Raums Leipzig auf (Tabelle 6). Die Werte liegen zumeist unter 10 Vol.%. Besonders im mittleren Bodenbereich von 30 - 50 cm Bodentiefe, der durch die Bodenbearbeitung stark mechanisch belastet wird, sind die Luftkapazitäten oft sehr gering und erreichen Werte von unter 5 Vol. %, was nach allgemeinen Lehrbuchangaben als nicht mehr ausreichende Durchlüftbarkeit angesehen wird (SCHEFFER/SCHACHSCHABEL, 1998; KUNTZE et. al., 1994).

Die nutzbare Feldkapazität der Kipp-Kalksandlehme liegt sehr häufig unter 10 Vol. % und ist damit nach KA4 (1994) als gering einzustufen. Auch in den Oberböden sind die nFK-Werte oft nicht nennenswert höher, was auf den noch relativ geringen Humusgehalt zurückzuführen ist. Grund für den geringen Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser ist der relativ hohe Totwasseranteil dieser Böden, der wiederum ein Resultat der hohen Dichtlagerung darstellt.

An den locker gelagerten Lausitzer Standorten ist die Luftkapazität fast im gesamten Bodenprofil mit Werten von meist über 20 Vol. % sehr hoch (Tabelle 7). Durchlüftungsprobleme gibt es hier unter terrestrischen Bodenbedingungen nicht. Die quartären Kipp-Lehmsande der sächsischen Lausitz (Standorte Bärwalde und Lohsa) haben etwa die gleiche nutzbare Feldkapazität wie die Kipp-Kalksandlehme des Leipziger Raumes. Eine höhere nFK haben die Schichten aus tertiären Sanden (Standorte Nochten und Heide) was auf eine höhere Wasserbindefähigkeit der feinverteilten Kohle zurückgeführt werden kann. Die Kieslagen am Standort Heide haben allerdings extrem niedrige Feldkapazitäten, so dass hier kaum pflanzenverfügbares Wasser gespeichert werden kann. Die höchste nFK weist mit > 20 Vol. % das sehr humusreiche Oberbodensolum des Standorts Reichwalde auf.

Die Kipp-Kalksandlehme aus Geschiebemergel zeigen geringe, mittlere, gesättigte Wasserleitfähigkeiten (Tabelle 6).

Die Messwerte der Stichproben sind allerdings nicht normalverteilt und streuen über mehrere Zeh-

nerpotenzen, so dass sie durch ein geometrisches Mittel und eine asymptotische Standardabweichung beschrieben werden müssen. Vor allem im mittleren, durch Bodenbearbeitung und Planierung besonders stark belasteten Bodenbereich von 30 - 50 cm Bodentiefe sind die Werte häufig sehr niedrig. Die geometrischen Mittelwerte liegen jedoch zumeist über der in Lehrbüchern (SCHEFFER/SCHACHSCHABEL, 1998) als Schwellenwert für Stauwasserbildung genannten Wasserdurchlässigkeit von 10 cm pro Tag. Die Standardabweichungen zeigen jedoch, dass an den Untergrenzen der gemessenen Spannweiten sehr häufig Werte unter dem genannten Schwellenwert auftreten. Lokal sind also Stauwasserbildungen möglich. Ob es tatsächlich zur Stauwasserbildung kommt, hängt aber neben den Bodeneigenschaften auch von den Klimabedingungen ab.

Wie bereits anhand der hohen Werte für die Luftkapazitäten der Lausitzer Standorte zu erwarten war, ist die gesättigte Wasserleitfähigkeit dieser Standorte ohne Ausnahme sehr hoch (Tabelle 7).

Die Messwerte sind infolge der größeren Porenhomogenität normal verteilt, wodurch ein arithmetisches Mittel gebildet werden kann. Vernässungen infolge einer behinderten Wasseraufnahme der Deckschicht sind hier nicht zu erwarten. Die hohen, gesättigten Wasserleitfähigkeiten deuten aber darauf hin, dass es bei starken Regenereignissen auch während der Vegetationsperiode zu Grundwasserneubildung und damit zu Auswaschungen kommen kann.

Die Messwerte der Luftleitfähigkeit zeigen hinsichtlich der Normalverteilung innerhalb der Stichproben den gleichen Befund wie die Messungen zur gesättigten Wasserleitfähigkeit (Tabelle 8).

Leider existieren in der Fachliteratur kaum Richtwerte für eine Klassifizierung der Luftleitfähigkeit. GÄTKE (1989) nennt als Schwellenwert für ausreichende Durchlüftbarkeit einen PL-Wert von 1,0 cm/s, bezogen auf unsere Messmethodik. Die Geschiebemergelstandorte weisen bei einer Vorentwässerung auf pF 1,8 geometrische Mittelwerte von zumeist unter 1,0 cm/s, am Standort Schleenhain sogar z.T. unter 0,1 cm/s auf. Lediglich in den gelockerten Pflughorizonten liegen die Werte teilweise über dem Schwellenwert. Bei weiterer Entwässerung auf pF 2,5 steigen die Luftleitfähigkeiten aber an, so dass mögliche Durchlüftungsprobleme auf Wassergehalte im hohen Feldkapazitätsbereich beschränkt bleiben.



**Tabelle 6: Kenngrößen des potentiellen Luft- und Wasserhaushaltes der Untersuchungsstandorte im Raum Leipzig: Gesamtporenvolumen (GPV), Wassergehalte (WG) bei verschiedenen pF-Stufen, Luft- (LK) und nutzbare Feldkapazität (nFK, Bezugsbasis jeweils pF 1,8), gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) mit Standardabweichung.**

Standort/ Variante Kippsubstrat	Tiefe [cm]	GPV [Vol.%]	WG	WG	LK [Vol.%]	nFK [Vol.%]	kf Stabw. - [cm/d]	kf geometr. Mittel- wert [cm/d]	kf Stabw. + [cm/d]
			pF 2,5 [Vol.%]	pF 4,2 [Vol.%]					
<b>Espenhain/ Konservierend oj-(k) csl (q)</b>	15	33,2	26,0	16,4	4,8	12,0	17	20	116
	30	27,5	24,7	16,9	1,6	9,0	19	23	103
	50	28,3	25,4	18,3	1,7	8,3	9	11	41
	90	32,1	28,9	18,7	2,3	11,1	5	5	17
<b>Espenhain/ Pflug-Nord oj-(k) csl (q)</b>	15	39,6	25,9	13,7	13,0	12,9	49	59	288
	30	30,9	27,7	20,1	2,8	8,0	7	8	44
	50	34,3	26,5	18,0	4,8	11,5	6	10	12
	90	37,7	23,0	14,3	11,6	11,8	22	56	37
<b>Espenhain/ Pflug-Süd oj-(k) csl (q)</b>	15	41,5	24,9	11,8	14,0	15,7	12	24	25
	30	32,5	21,6	11,2	8,3	13,0	10	14	34
	50	35,8	18,7	11,0	14,2	10,6	26	35	97
	90	34,3	20,7	13,6	12,6	8,1	28	51	64
<b>Schleenhain/ Süd oj-(k) csl (q)</b>	15	34,1	22,3	16,4	4,5	13,2	228	245	3386
	30	34,2	21,5	15,8	7,3	11,1	80	101	367
	50	30,2	20,4	15,4	5,4	9,4	53	54	2810
	90	34,4	23,5	17,7	7,5	9,2	81	281	198
<b>Schleenhain/ Nord oj-(k) csl (q)</b>	15	34,1	22,3	16,4	4,5	13,2	228	245	3386
	30	34,7	22,5	16,8	6,0	11,9	2	2	125
	50	31,4	24,7	18,8	2,8	9,8	11	27	18
	80	34,4	23,5	17,7	7,5	9,2	81	281	198
<b>Delitzsch-SW/ Marktfrucht oj-(k) csl (q)</b>	8	33,6	22,3	17,2	8,0	8,4	30	32	709
	25	32,8	21,2	18,2	8,6	6,0		n.b.	.
	55	27,9	20,7	15,1	4,3	8,5		n.b.	
	75	30,9	21,3	15,1	6,5	9,3		n.b.	
<b>Delitzsch-SW/ Luzerne oj-(k) csl (q)</b>	15	29,1	19,4	15,5	6,0	7,6	109	185	372
	35	29,4	20,1	16,1	6,1	7,2	91	127	310
	55	27,9	20,7	15,1	4,3	8,5	31	35	253
	75	30,9	21,3	15,1	6,5	9,3	39	40	95
<b>Delitzsch-SW/ Gehölz oj-(k) csl (q)</b>	8	38,9	22,0	16,6	12,7	9,6	139	298	252
	25	32,1	20,8	15,0	7,0	10,1		n.b.	
	55	27,9	20,7	15,1	4,3	8,5		n.b.	
	75	30,9	21,3	15,1	6,5	9,3		n.b.	
<b>Zwenkau oj-(k) ll (q)</b>	15	40,4	21,5	12,2	15,8	12,4	143	189	605
	30	37,4	16,9	9,9	16,9	11,3	24	41	57
	50	38,5	20,1	11,6	13,1	14,0	33	48	103
	90	43,3	22,8	13,5	14,8	15,0	27	52	53



**Tabelle 7: Kenngrößen des potenziellen Luft- und Wasserhaushaltes der Untersuchungsstandorte der sächsischen Lausitz (Kürzel wie in Tabelle 6)**

Standort/ Variante Kippsubstrat	Tiefe [cm]	GPV [Vol.%]	WG	WG	LK [Vol.%]	nFK [Vol.%]	kf arithmet. Mittelwert [cm/d]	kf Stabw. +/- [cm/d]
			pF 2,5 [Vol.%]	pF 4,2 [Vol.%]				
<b>Heide</b>  oj-xls (t) <> ssk (q)	15	40,8	21,3	12,8	10,0	18,0	1.498	907
	30	40,8	6,4	5,0	31,0	4,8	1.457	301
	35	48,3	17,8	11,1	22,0	15,2	1.130	431
	50	50,6	20,4	11,2	20,6	18,8	1.568	364
	75	40,8	4,8	3,0	34,6	3,2	1.697	259
<b>Nochten</b>  oj-xls (t)	15	49,6	17,9	14,9	22,3	12,4	874	578
	30	45,8	17,0	9,3	22,6	13,9	1.577	354
	50	50,4	21,5	13,8	23,3	13,3	1.558	268
	90	50,7	21,4	12,7	24,2	13,8	1.307	294
<b>Bärwalde</b>  oj-ls(k)(bo)(q)	15	35,5	16,1	8,3	14,3	12,9	1.176	644
	30	38,9	11,4	4,7	23,6	10,6	987	467
	50	40,4	9,8	3,6	26,5	10,3	1.170	276
	90	40,4	7,8	4,2	28,3	7,9	884	354
<b>Lohsa</b>  oj-ls (q)	15	38,5	14,8	9,7	16,3	12,3	1.180	538
	30	40,8	12,3	7,4	22,9	10,5	1.253	550
	50	38,5	13,5	10,5	20,5	7,5	834	502
	90	39,2	14,2	7,2	11,6	20,4	849	596
<b>Reichwalde</b>  oj-ss(bo)(q)	15	61,6	31,6	19,9	19,3	22,4	652	273
	30	59,2	30,3	19,4	21,2	18,6	492	153
	50	32,4	9,1	5,2	17,2	10,0	1.872	280
	90	37,7	10,2	4,4	22,5	10,8	3.020	453

Die gut wasserdurchlässigen Standorte der sächsischen Lausitz erweisen sich auch als gut luftdurchlässig. Allerdings wird bei einer Vorentwässerung auf pF 1,8 der genannte Schwellenwert dort nicht erreicht, wo hohe Gehalte an organischer Substanz (Reichwalde Oberboden) oder Kohle (Nochten, Heide schichtweise) die Feldkapazität stark erhöhen. Die verbleibende Luftkapazität ist zwar relativ hoch (Tabelle 7), doch die Kontinuität der weiten

Groporen ist für den Luftdurchtritt oft gering und wird erst bei weiterer Entwässerung auf pF 2,5 deutlich erhöht. An diesen Standorten sind trotz hoher Luftkapazität zu Zeiten mit Wassergehalten bei 100 % Feldkapazität Durchlüftungsprobleme besonders dann denkbar, wenn der vorhandene, aber eingeschlossene Sauerstoff durch hohe mikrobielle Aktivität schnell verbraucht wird.



**Tabelle 8: Luftleitfähigkeit (PI) der Untersuchungsstandorte (geometrische Mittelwerte sind grau hinterlegt)**

Standort/ Variante Kippsubstrat	Tiefe [cm]	Stabw.	pF 1,8 Mittelwert	Stabw.	Stabw.	pF 2,5 Mittelwert	Stabw.
		- [cm/s]	[cm/s]	+	- [cm/s]	[cm/s]	+
				[cm/s]			[cm/c]
Espenhain/ Konservierend oj-(k) csl (q)	15	0,12	0,25	0,22	0,46	0,74	1,19
	30	0,27	0,39	0,84	0,54	0,84	1,53
	50	0,19	0,31	0,47	0,36	0,61	0,91
	90	0,17	0,21	0,91	0,63	0,84	2,65
Espenhain/ Pflug-Nord oj-(k) csl (q)	15	1,46	2,82	3,01	4,18	6,60	11,37
	30	0,14	0,33	0,25	0,36	0,67	0,78
	50	0,07	0,16	0,12	0,87	1,30	2,62
	90	0,43	1,29	0,64	0,95	2,99	1,40
Espenhain/ Pflug-Süd oj-(k) csl (q)	15	0,47	1,30	0,73	1,76	3,84	3,24
	30	0,23	0,35	0,64	0,76	1,29	1,87
	50	0,06	0,15	0,11	0,19	0,35	0,41
	90	0,59	1,76	0,88	1,14	3,12	1,81
Schleenhain/ Süd oj-(k) csl (q)	15	0,03	0,04	0,13	0,10	1,17	0,11
	30	0,07	0,10	0,23	0,33	1,59	0,41
	50	0,04	0,04	0,19	0,15	1,38	0,17
	90	0,31	0,39	1,39	1,22	2,21	2,71
Schleenhain/ Nord oj-(k) csl (q)	15	0,03	0,04	0,13	0,10	1,17	0,11
	30	0,09	0,12	0,34	0,36	1,41	0,48
	50	0,06	0,09	0,20	0,20	1,20	0,24
	80	0,31	0,39	1,39	1,22	2,21	2,71
Zwenkau oj-(k) II (q)	15	1,72	1,91	18,38	3,29	3,59	39,72
	30	2,09	2,92	7,38	5,05	9,38	10,96
	50	0,26	0,29	3,32	1,14	1,40	6,15
	90	0,51	0,78	1,50	1,02	1,66	2,68
Heide oj-xls (t) <> ssk (q)	15	0,13	0,25	0,13	0,25	0,89	0,25
	30	1,44	5,15	1,44	4,14	10,94	4,14
	35	0,19	0,35	0,19	0,16	0,77	0,16
	50	0,35	0,55	0,35	0,32	1,05	0,32
	75	2,96	11,27	2,96	4,34	16,62	4,34
Nochten oj-xls (t)	15	0,80	1,18	0,80	0,87	2,03	0,87
	30	0,16	0,56	0,16	0,24	0,87	0,24
	50	1,02	1,58	1,02	1,11	2,14	1,11
	90	0,41	1,75	0,41	0,55	2,40	0,55
Bärwalde oj-ls(k)(bo)(q)	15	0,47	0,78	0,47	0,76	1,52	0,76
	30	1,14	3,00	1,14	1,62	4,43	1,62
	50	2,91	3,81	2,91	4,02	5,10	4,02
	90	0,38	2,37	0,38	0,47	3,30	0,47
Lohsa oj-ls (q)	15				0,19	0,56	0,19
	30		n.b.		0,22	1,07	0,22
	50				0,64	0,99	0,64
	90				0,93	1,35	0,93
Reichwalde oj-ss(bo)(q)	15	0,27	0,55	0,27	0,43	1,25	0,43
	30	0,23	0,62	0,23	0,30	1,06	0,30
	50	0,23	0,56	0,23	0,32	0,87	0,32
	90	1,24	1,84	1,24	1,92	2,75	1,92



## 4.3 Freiland-Bodenwasserhaushalt

### 4.3.1 Wasserhaushalt im Jahresgang

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmessungen im Jahresgang werden für das Jahr 1997 exemplarisch an den zwei Standorten, Espenhain (für die Klima- und Bodenregion Leipzig) und Nochten (für die Region Lausitz) dargestellt. Im Kapitel Wasserhaushaltsbilanzen werden die Ergebnisse aller Standorte im Untersuchungszeitraum berücksichtigt. Zusätzlich wird die mit dem Wasserhaushalt eng gekoppelte Durchwurzelbarkeit der Standorte dargestellt.

#### 4.3.1.1 Standort Espenhain

Im Jahr 1997 wurde am Standort Espenhain auf den Varianten "Konservierend" und "Pflug-Nord" Wintergerste angebaut. Beide Varianten zeigen bis Ende Mai im Unterboden eine abwärts gerichtete Wasserbewegung (Abbildung 2 und 3). Klimatisch war dieses Jahr mit einer Niederschlagsgesamtsomme von ca. 500 mm und einer Niederschlagssumme in der kurzen Vegetationsperiode von ca. 150 mm ein Normaljahr. Die stärkste Austrocknung erfolgt auf der konservierend bestellten Parzelle (Abbildung 2). Über die gesamte Tiefe der Deckschicht (angenommene mittlere Deckschichtmächtigkeit: 1 m) wird der Boden zum Zeitpunkt der stärksten Austrocknung Anfang Juli bis zum permanenten Welkepunkt ausgetrocknet. Auf der Pflugparzelle mit gleicher Körnung und Lagerung im Unterboden (Pflug-Nord) wird eine totale Austrocknung bis zum Totwasser nur bis in etwa 50 cm Tiefe erreicht (Abbildung 3). Die starken Juli-Niederschläge füllen nach der Gerstenernte den Bodenwasservorrat je nach vorheriger Austrocknungsintensität unterschiedlich stark wieder auf. Infolge der geringeren Austrocknungsintensität bei der Variante „Pflug-Nord“, wird dort der Bodenwasservorrat durch die Niederschläge wieder auf volle Feldkapazität aufgefüllt. Bei der Variante „Konservierend“ wird eine Porenfüllung von 100 % Feldkapazität nicht ganz erreicht. Zu Sickerwasserverlusten in Form von Grundwasserneubildung kommt es daher am Standort Espenhain im Winterhalbjahr 1997/1998 nicht bzw. nur sehr geringfügig auf der Variante "Pflug-Nord".

Die effektive Durchwurzelungstiefe ( $W_e$ ) ist abhängig von den Niederschlägen und der Evapotranspiration. Die größte, effektive Durchwurzelungstiefe wird in den Trockenperioden der Som-

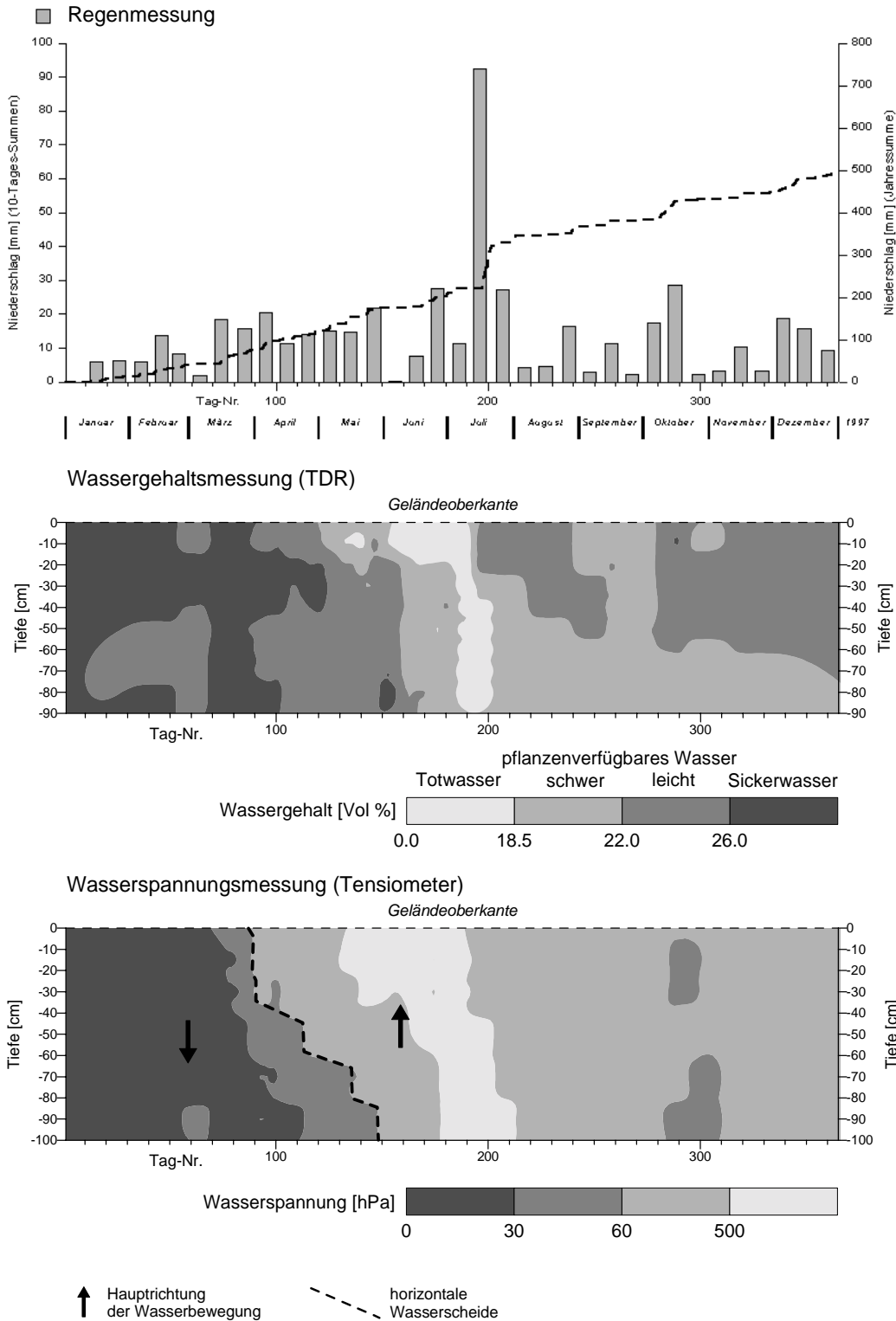
mermonate erreicht, wenn die Pflanzen auf die Ausschöpfung des im Boden gespeicherten Wassers angewiesen sind. Der effektive Wurzelraum ist bei den sehr dicht gelagerten Varianten "Konservierend" und "Pflug-Nord" am Ende der Vegetationsperiode 1997 mit 9 (Variante Pflug-Nord) beziehungsweise 10 (Variante Konservierend) dm Tiefe sehr hoch (Abbildung 4).

Der Unterschied hinsichtlich der nutzbaren Feldkapazität der effektiven Durchwurzelungstiefe ( $nFKW_e$ ) ist zwischen beiden Varianten am Ende der Vegetationsperiode sehr gering und beträgt nur wenige mm. Entscheidend für das Pflanzenwachstum ist aber nicht nur die gesamte, dem Boden entziehbare Wassermenge am Ende der Vegetationsperiode, sondern eine ebenfalls wichtige Rolle kommen den Austrocknungsverläufen bei länger anhaltenden Trockenperioden innerhalb der Vegetationsperiode zu. In Abbildung 4 sind daher für beide Varianten die zeitlichen Aufeinanderfolgen der Austrocknungsprofile bis zum Ende der Vegetationszeit in drei Stufen dargestellt. Bis zum 17.06.1997 sind die Austrocknungsprofile bei beiden Varianten etwa gleich. Mit zunehmender Trockenheit, bis zum 25.06.1997, wird der Boden bei der konservierend bestellten Variante schneller und stärker ausgetrocknet. Offensichtlich haben die Pflanzen es hier leichter, den Bodenwasservorrat auszuschöpfen. Später, am 7.7., kommt es im strahlungs- und transpirationsintensiven Monat Juli dann auf beiden Varianten zu einer fast ähnlich tiefen Austrocknung. Da die Pflugvariante im gelockerten Oberboden durch Evaporation stärker über den permanenten Welkepunkt hinaus austrocknet als die Variante "Konservierend" werden dort Niederschläge zunächst auch im oberen Boden gebunden und sind bis zum Wiedererreichen des permanenten Welkepunktes nicht pflanzenverfügbar.

Diese Evaporationsverluste verringern das Wasserangebot auf der Pflug-Variante zusätzlich gegenüber der Mulchsaat-Parzelle. Die stärkste Differenz in der pflanzenverfügbaren Wassermenge ergibt sich zwischen beiden Varianten am 25.06.97, wo die konservierend bestellte Variante ein um 20 mm höheres pflanzenverfügbares Wasserangebot hat. Am Ende des ertragsrelevanten Zeitraums der Vegetationsperiode für die Wasserversorgung der Pflanzen beträgt die Differenz zwischen beiden Varianten 13 mm pflanzenverfügbares Wasser.



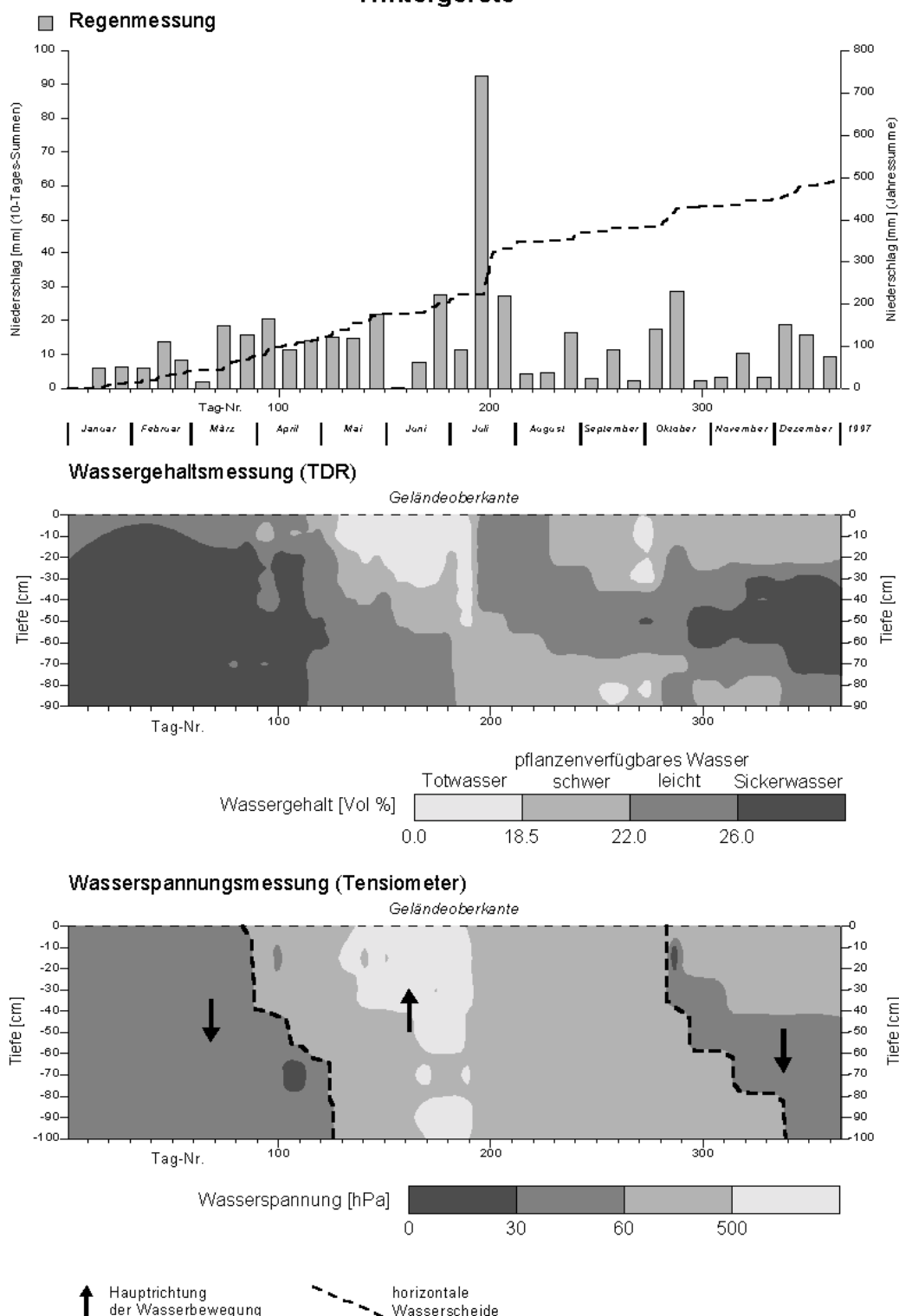
## Tagebau Espenhain Variante konservierend 1997 Wintergerste



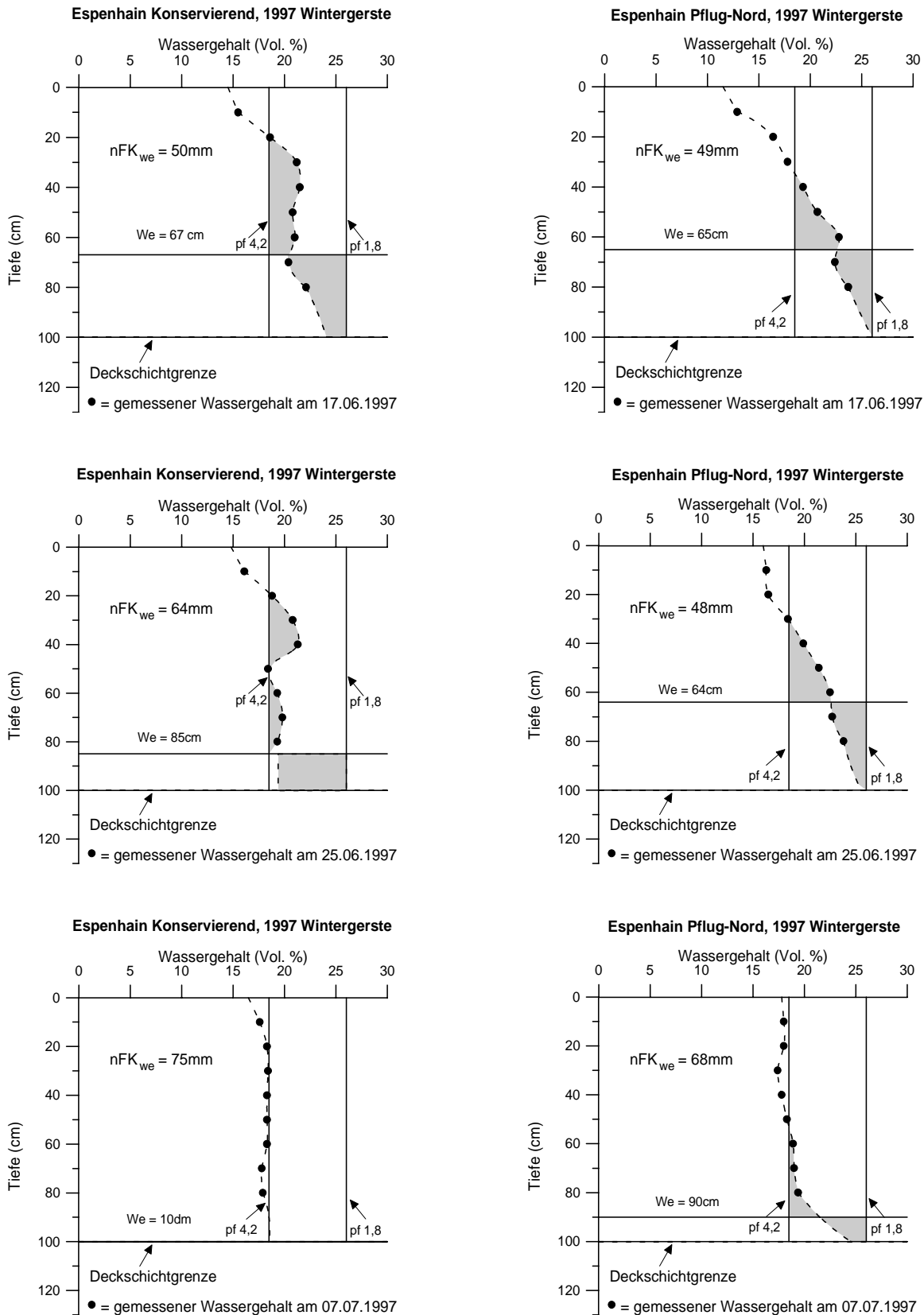
**Abbildung 2: Niederschlag, Bodenwassergehalt und Bodenwasserspannung im Jahresgang 1997 am Standort Espenhain, Variante Konservierend**



### Tagebau Espenhain Variante Pflug (Nord) 1997 Wintergerste



**Abbildung 3: Niederschlag, Bodenwassergehalt und Bodenwasserspannung im Jahresgang 1997 am Standort Espenhain, Variante Pflug-Nord**



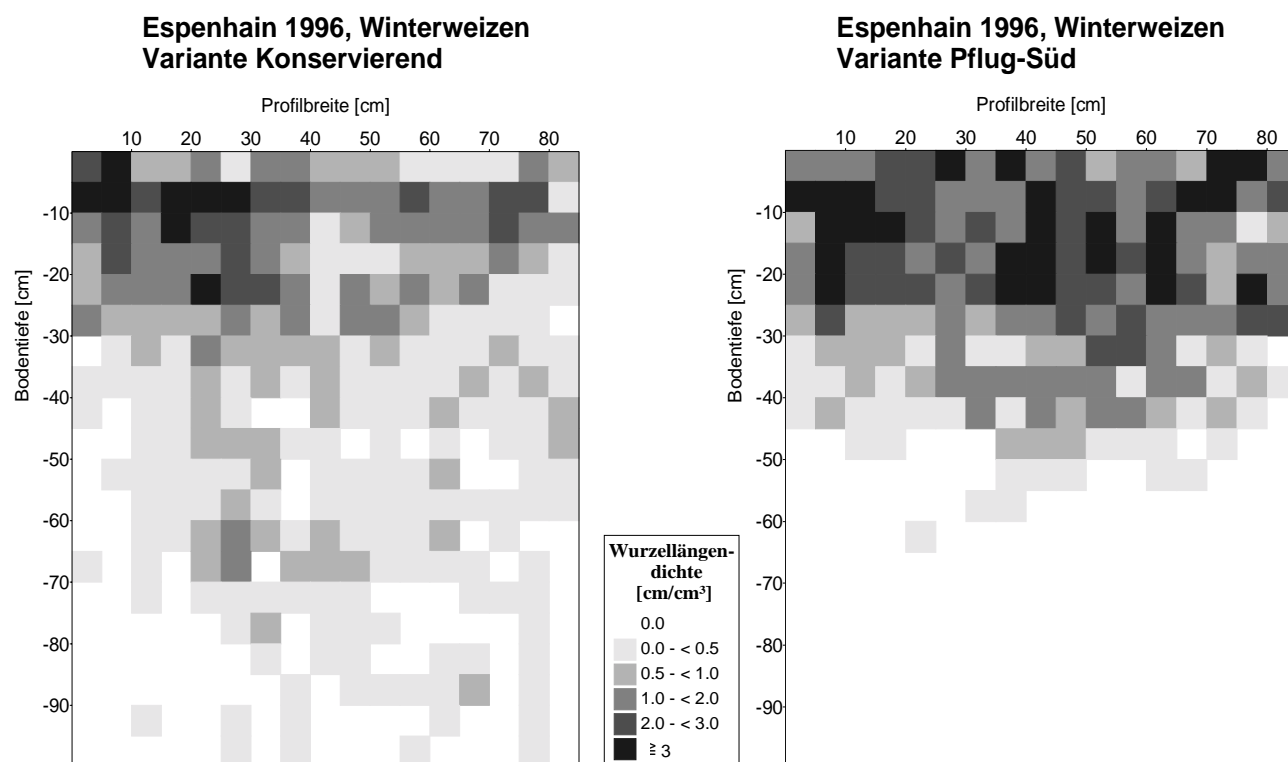
**Abbildung 4:** Effektive Durchwurzelungstiefe (We) und nutzbare Feldkapazität der effektiven Wurzelräume (nFK<sub>We</sub>) von Wintergerste im Zeitverlauf während der Vegetationsperiode 1997 am Standort Espenhain, Varianten "Konservierend" (linke Reihe) und "Pflug-Nord" (rechte Reihe)

Die Durchwurzelbarkeit der Kipp-Kalksandlehme aus Geschiebemergel am Standort Espenhain zeigt Abbildung 5. Im Falle der konservierend bestellten Variante ist eine über die Profiltiefe gleichmäßigere Durchwurzelung festzustellen als bei der Pflug-Variante. Auf der Pflug-Parzelle ist eine stärkere Konzentration der Wurzeln in der Krume festzustellen, während im Unterboden, ab ca. 60 cm Tiefe, gar keine Wurzeln an der Profilwand mehr vorhanden waren. Eine sprunghafte Abnahme der Durchwurzelungsintensität ist bei der Pflug-Variante in 25 cm Tiefe zu erkennen. Die Pflugsohle und die darunter liegende Schlepperradsohle, deren Verdichtungen bis in 60 cm Tiefe reichen können, stellen offenbar ein Wurzelhemmnis dar. Die Profilwandmethode erfasst allerdings mit einem Flächenschnitt nur einen sehr kleinen Teil des Bodenvolumens. Dennoch liefern diese Ergebnisse einen Anhaltspunkt dafür, dass die konservierende Bodenbearbeitung nicht nur einen Effekt auf die Oberbodenbeschaffenheit hat, sondern auch die Unterbodendurchwurzelung fördert. Die Befunde der Wurzeluntersuchungen stimmen auch mit den Ergebnissen der Wasserhaushaltsmessungen dahingehend überein, dass mit intensiverer Unterbodendurch-

wurzelung auch eine intensivere Unterbodenaustrocknung einhergeht.

#### 4.3.1.2 Standort Nochten

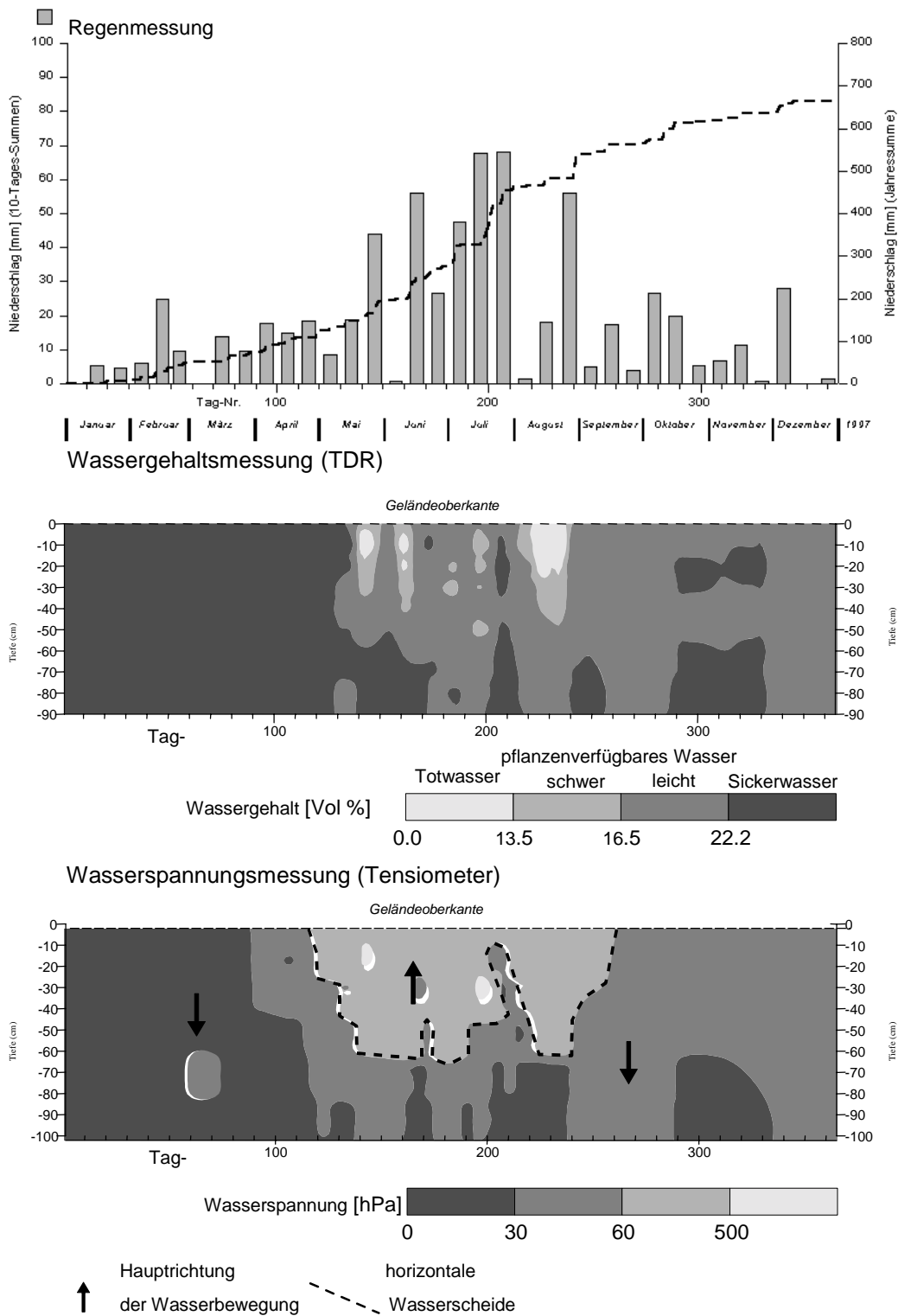
Am Lausitzer Standort Nochten zeigt sich 1997 ein ganz anderes Wasserhaushaltsregime als im Westsächsischen Rekultivierungsgebiet (Abbildung 6). Im Jahresgang fallen etwa 160 mm mehr Niederschlag als im Raum Leipzig, was für die Lausitz typisch ist. Von den insgesamt ca. 670 mm Niederschlag fielen etwa 400 mm innerhalb der Hauptvegetationsperiode der Luzerne von Anfang April bis Ende September. Dieses hohe Wasserangebot durch Sommerniederschläge wird durch die hohe nutzbare Feldkapazität des tertiären, kohlehaltigen Kippsubstrates überwiegend im Boden gespeichert, wodurch in der ganzen Vegetationsperiode leicht pflanzenverfügbares Wasser vorhanden ist und der Boden nicht stark austrocknet. Die horizontale Wasserscheide befindet sich in etwa 60 cm Tiefe. Es kommt also auch in den Sommermonaten immer wieder zu Grundwasserneubildung. Die Phase der Herbst- und Winterversickerung beginnt bereits im September und setzt sich bis zum Jahresende fort.



**Abbildung 5:** Wurzellängendichten von Winterweizen am Standort Espenhain, Varianten "Konservierend" und "Pflug-Süd" (Aufnahmedatum: 01.07.1996)



## Tagebau Nochten 1997 Luzerne (Umbruch: 30.11.97)



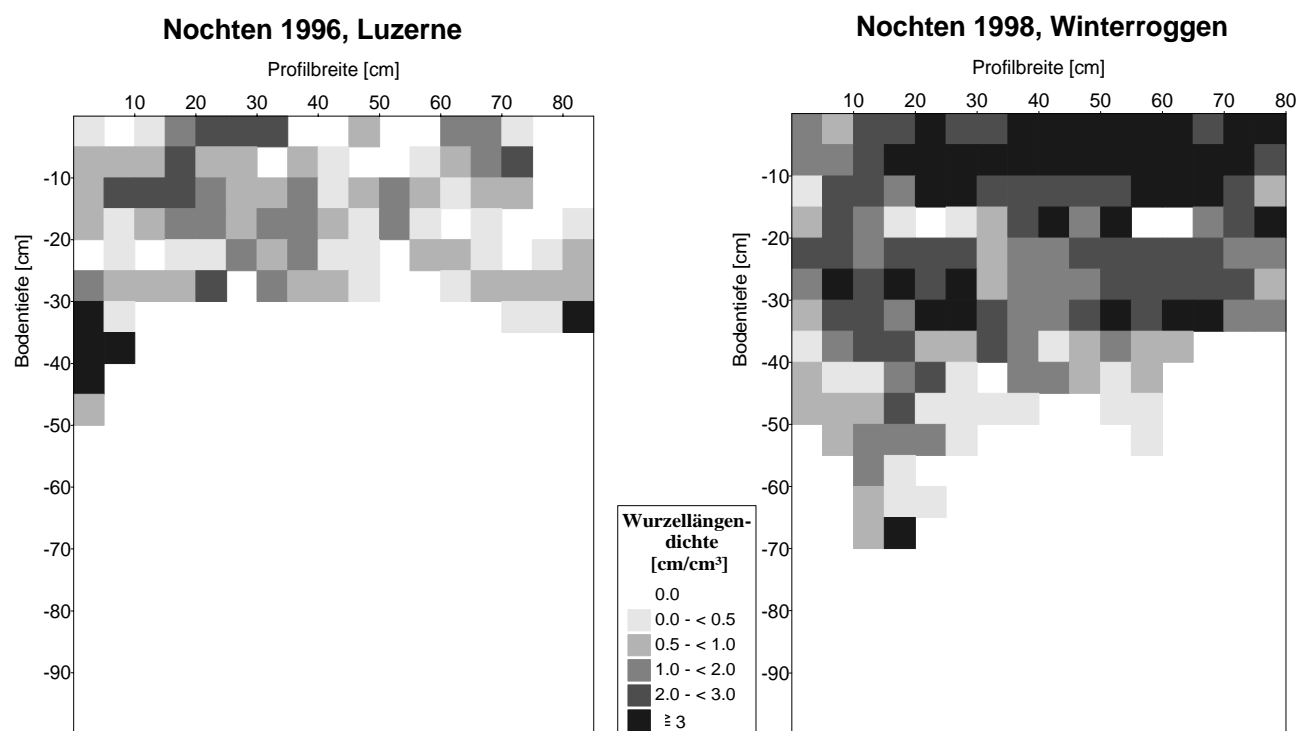
**Abbildung 6: Niederschlag, Bodenwassergehalt und Bodenwasserspannung im Jahrgang 1997 am Standort Nochten**

Die durchschnittliche Mächtigkeit der durch Kalkung grundmeliorierten oberen Bodenschicht beträgt etwa 60 cm. In diesem Bereich sind die pH-Werte durchwurzelungsfreundlich, was sich auch bei den Messungen der Wurzellängendichten mit der Profilwandmethode zeigt (Abbildung 7).

Der Einfluss der starken Unterbodenversauerung durch die Pyritverwitterung auf die Durchwurzelung ist dort klar zu erkennen. Sowohl bei der Luzerne (1996) als auch bei Winterroggen (1998) hört die Durchwurzelung ab einer bestimmten Tiefe abrupt auf. Im Jahr 1997 wurden keine Wurzellängenmessungen an diesem Standort durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen auch, dass hinsichtlich der Meliorationstiefe lokal starke Variationen auftreten können. Am Beispiel des Winterroggens beträgt die durchwurzelbare Schicht etwa 60 cm Tiefe, am Beispiel der Luzerne hört die Durchwurzelung be-

reits in 30 cm Tiefe auf. Durch die eingeschränkte Unterbodendurchwurzelung konzentrieren sich die Wurzeln im Oberboden und die Wurzellängendichten sind entsprechend hoch. Da an den locker gelagerten, sandigen Standorten die Durchwurzelung selten bodenphysikalisch eingeschränkt ist, können auch sehr hohe Wurzellängendichten in den Oberböden auftreten, die um ein vielfaches größer sind als bei den Kipp-Kalksandlehmen im Raum Leipzig (vergleiche Abbildung 5).

Die eingeschränkte Unterbodendurchwurzelung ist sicher mit ein Grund dafür, dass die Lage der tiefsten horizontalen Wasserscheide im Boden sehr hoch liegt. Bei stärkerer Durchwurzelbarkeit des Unterbodens wäre mit einem tieferen Austrocknungsprofil während der Sommermonate zu rechnen.



**Abbildung 7: Wurzellängendichten von Luzerne und Winterroggen am Standort Nochten (Aufnahmedaten: 07.08.1996 und 10.06.1998)**



### 4.3.3 Nutzbares Wasserangebot der Kulturpflanzen

Die Ergebnisse des vorherigen Kapitels zeigten, dass insbesondere im Raum Leipzig beim Marktfruchtbau das Wasserangebot für die Kulturpflanzen ertragslimitierend sein kann. Für diesen Bereich soll deshalb das Wasserangebot detaillierter berechnet werden.

Eine für die Wasserversorgung der Kulturpflanzen wichtige Kenngröße ist die effektive Durchwurzelungstiefe. Sie ist eine bodenhydrologische Kenngröße, die neben der Körnung und der Lagerungsdichte auch noch von anderen Faktoren, wie der Niederschlagsverteilung und der Durchwurzelung abhängt. Aus den Ergebnissen des vorigen Kapitels ergab sich auch, dass pflanzenbauliche Maßnahmen, wie die konservierende Bodenbearbeitung ebenfalls einen Einfluss auf die effektive Durchwurzelungstiefe haben. Schätzt man sie anhand der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4, 1994), so ergeben sich Tiefen von 7,0 bis 8,0 dm. Im Mittel des Untersuchungszeitraums ergibt sich für unsere Messungen am Ende der hydrometeorologischen Vegetationsperiode auch eine effektive Durchwurzelungstiefe von 7,0 dm (Tabelle 9). Die Messergebnisse der Einzeljahre zeigen jedoch, dass sich Marktfrüchte auf den Kippenböden aus Geschiebemergel im Raum Leipzig unter Trockenstress einen effektiven Wurzelraum von 9-10 dm erschließen und damit den pflanzenverfügbaren Wasservorrat der Deckschicht vollständig entleeren können.

Dieses Ergebnis lässt jedoch auch erkennen, wie sehr das nutzbare Wasserangebot unter den Boden- und Klimabedingungen des Raumes Leipzig ein ertragslimitierender Faktor sein kann. Die mittlere, im Projektzeitraum ermittelte pflanzenverfügbare Wassermenge für Marktfrüchte beträgt im Raum Leipzig 214 mm. Diese Wassermenge setzt sich aus einem Niederschlagsanteil von 164 mm und einem im Bodenwasservorrat gespeicherten Anteil von ca. 60 mm zusammen, abzüglich eines geringen Evaporationsverlustes. Der absolute Betrag der pflanzenverfügbaren Wassermenge gibt über den Grad der Wasserversorgung der Pflanzen aber nicht direkt Auskunft. In der pflanzenbaulichen Literatur wird für eine optimale Bestandsentwicklung ein Mindestwasserbedarf von etwa 250 mm angegeben (EHLERS, 1996). Diese Angaben sind aber sehr unscharf, da der Wasserbedarf nicht nur von der Bestandsentwicklung sondern auch von anderen Faktoren, wie dem Dampfdruck-Sättigungsdefizit der Luft, der Kultur, der Sorte und dem Ernährungszustand der Pflanzen abhängt. Außerdem ist die Deckung des Wasserbedarfs nicht nur eine Frage der Gesamtmenge, sondern auch der zeitlichen Verteilung des Wasserangebots. Es ist daher kaum möglich, für ein bestimmtes Ertragsniveau eine erforderliche Mindestmenge für das Wasserangebot anzugeben. Im vorliegenden Messzeitraum erreicht die reale Evapotranspiration nur einen mittleren Anteil von ca. 70% an der potentiellen Evapotranspiration nach Haude. Die Tatsache, dass innerhalb der Vegetationsperiode 30% mehr Wasser hätten verdunsten können, deutet auf starken Trockenstress hin.

**Tabelle 9: Wasserangebot für Marktfrüchte auf Kippen im Raum Leipzig während der Vegetationsperiode (01.04 bis 3 Wochen vor Ernte)**

Standort/ Variante	Jahr	Haupt- frucht	Ernte- ter- min	N [mm]	We [dm]	nFK We [mm]	Evapo [mm]	Wpfl [mm]	Ereal [mm]	Epot [mm]	Ereal/ Epot [%]
Espenhain/ Konserv.	1996	W.-Weiz.	20.08.	226	7,5	56	14	268	282	342	82
	1997	W.-Gerste	28.07.	144	10,0	75	5	214	219	319	69
	1998	W.-Raps	17.07.	142	8,0	60	2	200	202	309	65
Espenhain/ Pflug-Nord	1997	s.o.	s.o.	s.o.	9,0	68	12	201	213	319	67
	1998				6,3	47	11	178	289	309	61
Espenhain/ Pflug-Süd	1996				2,0	24	3	247	250	342	73
	1997	s.o.	s.o.	s.o.	6,0	72	0	216	216	319	68
	1998				4,8	57	3	196	199	309	64
Delitzsch -SW	1997	W.-Raps	28.07.	177	9,5	71	0	248	251	316	79
	1998	W.-Gerste	24.07.	131	7,0	53	12	172	189	334	57
Mittel				164	7,0	58	6	214	221	324	69



#### 4.3.4 Klimatische Jahresbilanzen

Die jährlichen, klimatischen Wasserbilanzen der Standorte zeigt Tabelle 10. Im Raum Leipzig sind die realen Verdunstungssummen von Markt- und Futterfrüchten kaum unterschiedlich. Auch die potenziellen Verdunstungsmengen unterscheiden sich nicht sehr stark. Grundwasserneubildung findet im Mittel des Messzeitraums in beiden Braunkohlenregionen Sachsens nur relativ wenig statt. Im Raum Leipzig erklärt sich die geringe Menge von 32 - 37 mm aus den geringen Niederschlägen und der geringen Wasserdurchlässigkeit der Böden.

Im Lausitzer Raum wurde die höhere Niederschlagsmenge im Untersuchungszeitraum von den Futterbaukulturen zum größten Teil verdunstet, so dass dort ebenfalls nur eine geringe, mittlere Grundwasserneubildung von 41 mm stattfand. Trotz sehr hoher gesättigter Wasserdurchlässigkeit der Standorte kommt es insbesondere bei den Standorten Reichwalde und Heide nur zu sehr geringen Grundwasserneubildungsraten. Bei den mit Marktfrüchten bestellten Standorten mit kurzer Vegetationsperiode (Nochten 1998, Bärwalde 1996) kam es jedoch zu weitaus höherer Grundwasserneubildung.

Es ist grundsätzlich zu erkennen, dass in der sächsischen Lausitz eine höhere reale Evaporation stattfindet als auf den Vergleichsflächen im Raum Leipzig. Allerdings sind im Messzeitraum auch die atmosphärischen Bedingungen für die Verdunstung günstiger, wie die Werte für die potenzielle Evapotranspiration zeigen.

### 4.4 Erträge

#### 4.4.1 Langjährige Erträge auf sächsischen Kippen

Zum Vergleich mit den Kippenböden sind die Erträge der natürlichen Altlandböden der Umgebung dargestellt (Abbildung 8). Die Altlandböden bestehen überwiegend aus Parabraunerden und Pseudogleyen aus Sandlöß über Geschiebemergel. Die langjährige Ertragssituation (1993-1998) von Winterweizen auf Kippen im Raum Leipzig zeigt Abbildung 8.

Es ist zu erkennen, dass die höchsten Erträge für Winterweizen auf den Altlandböden erzielt werden, die mit 63 dt/ha etwas über dem sächsischen Durchschnitt liegen (SMUL, 1998). Die Gesamtheit aller Kippen im Raum Leipzig erreicht einen bei  $\alpha = 0,05$  signifikant geringeren Ertrag von 56 dt/ha.

Innerhalb der Kippsubstrate sind die Erträge aber unterschiedlich. Die Gruppe der schluff- und lößhaltigen Substrate (oj-lu und oj-cö) unterscheiden sich nicht signifikant von den Altlandböden. Dies betrifft aber lediglich die Altkippen im Süden von Leipzig und die Rekultivierungsflächen im Tagebau Profen-Nord. Die flächenanteilig bedeutsameren Kippsubstrate aus diluvialen Ausgangsgesteinen haben signifikant geringere Erträge als die Altlandböden. Der Durchschnitt dieser Gruppen (oj-csl, ll, ls, sl) liegt bei 51 dt/ha, was gegenüber den Altlandböden ein Ertragsniveau von 81% bedeutet. Zwischen den Kippsubstraten aus Geschiebemergel (Kipp-Kalksandlehme, oj-csl) und denen aus von Schmelzwassersanden dominierten Korngemischen (Kipp-Normallehme, oj-ll, sl, ls) besteht für die Winterweizen erträge kein Unterschied.

Für die Erträge von Wintergerste ergibt sich ein etwas anderes Bild (Abbildung 9). Hier sind die Erträge auf den diluvialen Kippsubstraten gegenüber denen des Altlandes um etwa 12,5% verringert.

Bei Winterraps sind die Erträge der Gruppe "Kippe gesamt" sogar geringfügig höher als die der Altlandböden (Abbildung 10). Die Mittelwerte beider Gruppen unterscheiden sich aber nicht signifikant und liegen mit 27 bzw. 26 dt/ha auf einem nicht sehr hohen Niveau. Der mittlere Ertrag für Winterraps liegt nach Angaben der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 1996) im Vergleichsgebiet der Leipziger Tieflandsbucht bei 32 dt/ha.

Die geringsten, mittleren Erträge für Winterraps ergeben sich bei den Kipp-Kalksandlehm aus Geschiebemergel, die auch gegenüber den Kipp-Normallehm deutlich geringer sind. Der Anbau von Winterraps auf den Kipp-Normallehm stellt kein größeres Ertragsrisiko als auf den Altlandböden dar. Als Ursache für die höheren Erträge der Kipp-Normallehme kann die verbesserte Unterbodendurchwurzelbarkeit für den Tiefwurzler Raps angesehen werden. Die besten Bedingungen für die Ertragsbildung bei Raps auf Kippen bieten die Kipp-Lösse, wo allerdings erneut nur ein geringer Stichprobenumfang zur Verfügung stand. Für den Bereich der sächsischen Lausitz lagen für eine aussagefähige Ertragsstatistik aufgrund der geringeren Gesamtfläche der landwirtschaftlichen Rekultivierung und der großen Substratheterogenität nur wenig verwertbare Ergebnisse vor. Die Referenzbetriebe auf Altlandflächen verfügen über Diluvialböden, die in lehmigere Altmoränenstandorte und Terrassensande unterteilt werden müssen, da zwi-



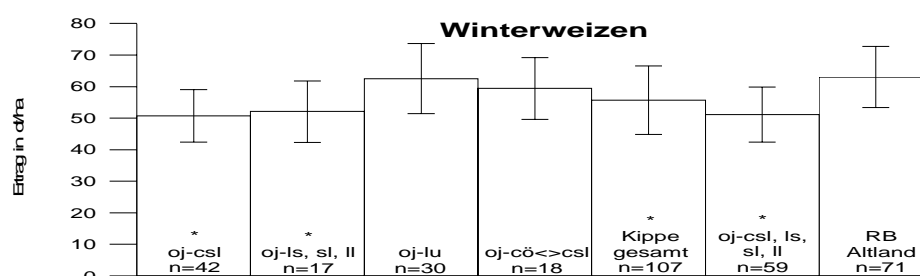
schen diesen Böden starke Unterschiede im Ertragspotenzial bestehen.

Ein aussagefähiger Vergleich zwischen Kippen- und Altlandböden konnte nur für die führend angebaute Hauptfrucht Winterroggen erstellt werden (Abbildung 11). Zwischen den Erträgen von Winterroggen der Altlandböden aus Terrassensand und den vergleichbaren Kippenböden aus quartären Sanden besteht kein signifikanter Unterschied. Die Erträge liegen aber auf einem sehr geringen Niveau.

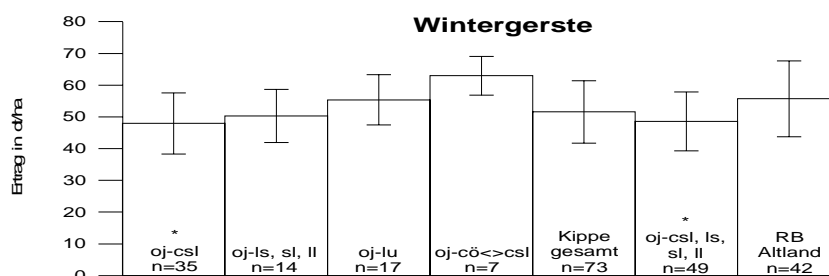
Höhere Erträge werden auf den kohlehaltigen, tertiären Sanden erzielt, die eine höhere Kationenaustauschkapazität und eine höhere nutzbare Feldkapazität haben. Die höchsten Erträge werden bei den Kippen auf quartären Solumstandorten erzielt. Die Erträge gleichen denen der Altmoränenstandorte, obwohl die Substrate nicht einander ähnlich sind. Beide Standorttypen liegen mit etwa 40 dt/ha im Durchschnitt der Lausitzer Heide- und Teichlandschaft (LFL, 1996).

**Tabelle 10: Jährliche klimatische Wasserbilanzen der Standorte**

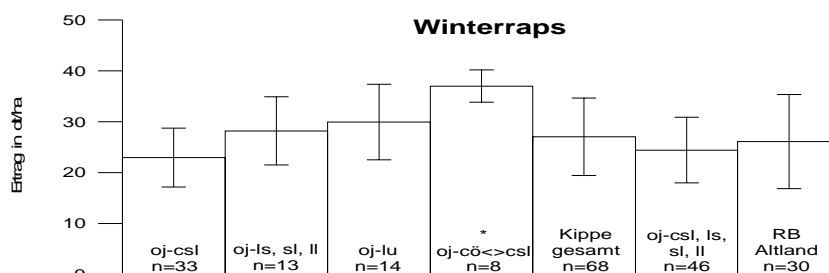
Standort / Variante	Jahr	Hauptfrucht	N [mm]	GWneu [mm]	Ereal [mm]	$\Delta W$ [mm]	Epot [mm]	Ereal/Epot [%]
Espenhain / Konservierend	1996	W.-Weiz.	464	21	445	-2	542	82
	1997	W.-Gerste	491	30	461	0	648	71
	1998	W.-Raps	549	44	505	0	651	78
Espenhain / Pflug-Nord	1997	W.-Gerste	491	37	448	6	648	69
	1998	W.-Raps	549	37	513	-1	651	79
Espenhain / Pflug-Süd	1996	W.-Weiz.	464	52	416	-4	542	77
	1997	W.-Gerste	491	35	458	-2	648	71
	1998	W.-Raps	549	37	513	-1	651	79
Schleenhain / Süd	1996	Luzernegras	500	61	401	38	517	78
	1997	"	525	59	524	-58	656	80
	1998	"	559	15	546	2	620	88
Schleenhain / Nord	1996	"	500	73	410	17	517	79
	1997	"	525	59	511	-45	656	78
	1998	"	559	27	506	26	620	82
Zwenkau	1996	Luzernegras	464	9	461	-6	517	89
	1997	"	491	24	515	-48	656	79
	1998	"	549	0	504	45	620	81
Delitzsch-SW / Luzerne	1996		379	13	375	-9	517	73
	1997		518	45	488	-15	656	74
	1998		552	0	557	-5	620	90
Delitzsch-SW / Marktfrucht	1997	W.-Raps	518	63	458	-3	681	67
	1998	W.-Gerste	552	71	495	-14	641	77
Delitzsch-SW / Gehölz	1997		518	54	479	-15	639	75
	1998		552	11	548	-7	609	90
Lohsa	1996	Futtergras	559	122	452	-15	609	74
	1997	So.-Gerste	612	63	567	-18	734	77
	1998	Öllein	661	145	503	13	689	73
Nochten	1996	Luzerne	542	75	472	-5	609	78
	1997	Luzerne	664	61	604	-1	734	82
	1998	W.-Rog.	703	257	446	0	719	62
Bärwalde	1996	W.-Trit	632	120	491	21	609	81
	1997	So.-Gerste	594	0	625	-31	734	85
	1998	Luz.-gras	630	27	592	11	689	86
Reichwalde	1997	Kleegras	594	0	652	-58	734	89
	1998	"	630	11	557	62	689	81
Heide	1996	Luzerne	559	40	531	-12	609	87
	1997	"	612	0	655	-43	734	89
Gesamtmittel 1996-1998:								
Leipzig		Marktfrüchte	504	37	470	3	613	76
Leipzig		Futterbau	504	32	483	11	598	81
Lausitz		Futterbau	600	41	560	1	677	83



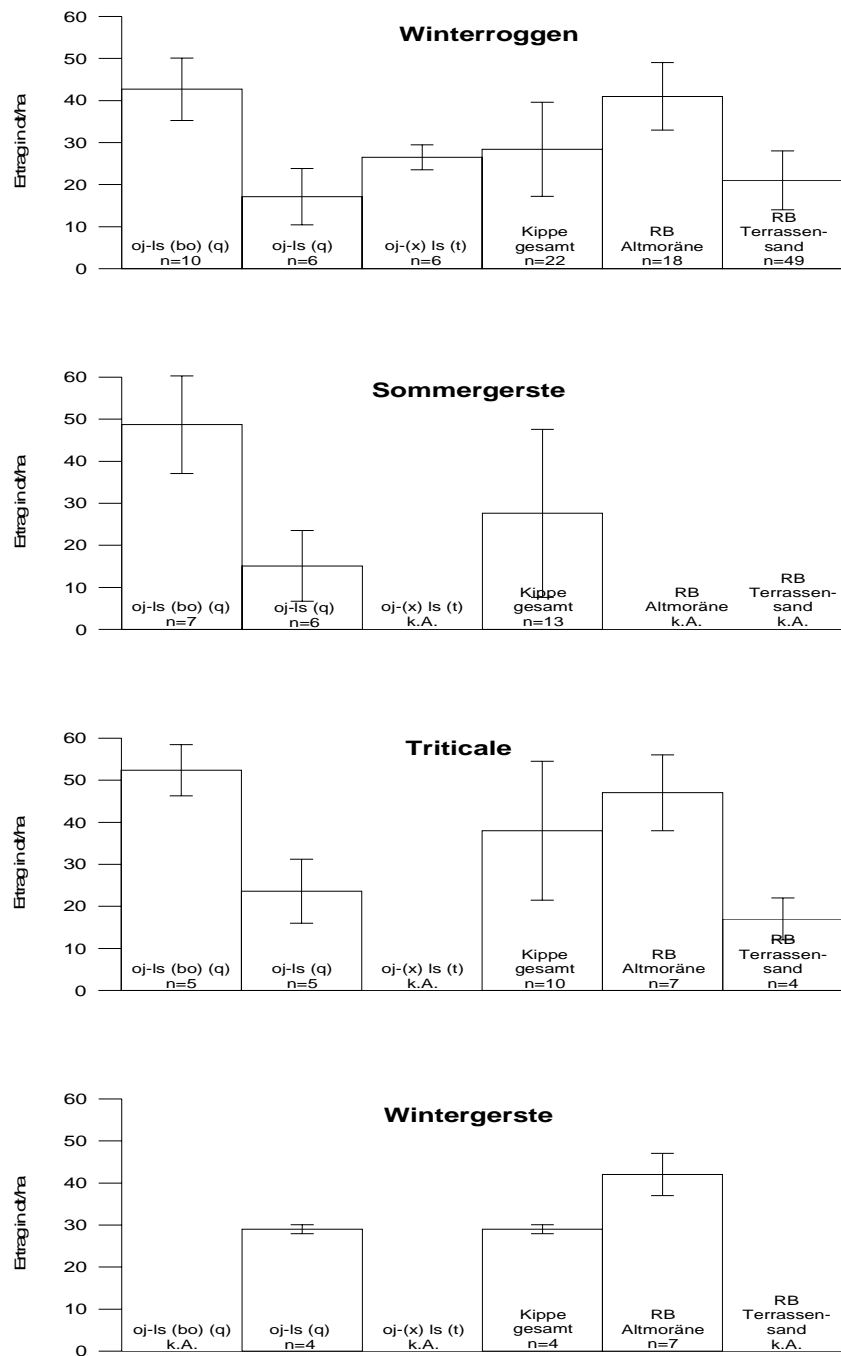
**Abbildung 8:** Erträge von Winterweizen 1993 – 1998 auf verschiedenen Kippsubstraten und auf Altlandböden im Raum Leipzig, Mittelwerte und Standardabweichung, \* =  $\alpha = 0,05$  signifikant verschieden von Referenzbetrieben (RB) Altland



**Abbildung 9:** Erträge von Wintergerste 1993-1998 auf verschiedenen Kippsubstraten und auf Altlandböden im Raum Leipzig, Mittelwerte und Standardabweichung, \* = bei  $\alpha = 0,05$  signifikant verschieden von Referenzbetrieben (RB) Altland;



**Abbildung 10:** Erträge von Winterraps 1993-1998 auf verschiedenen Kippsubstraten und auf Altlandböden im Raum Leipzig, Mittelwerte und Standardabweichung, \* = bei  $\alpha = 0,05$  signifikant verschieden von Referenzbetrieben (RB) Altland;

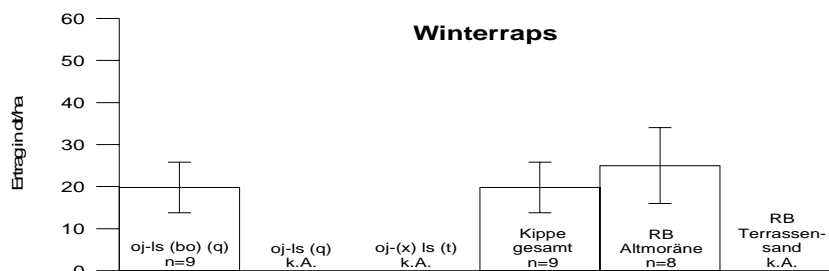


**Abbildung 11: Getreideerträge von 1993 – 1998 auf verschiedenen Kippsubstraten und Altlandböden in der sächsischen Lausitz (Mittelwerte und Standardabweichungen)**

Ähnliche Ertragsresultate zeigen sich in Abhängigkeit von den Standorttypen bei Triticale. Allerdings liegen die Erträge insgesamt auf einem höheren Niveau. Für Sommergerste liegen keine Ergebnisse aus den Referenzbetrieben vor. Auch hier ist der extreme Ertragsunterschied zwischen den Solumstandorten und den schwach lehmigen Quartärsanden zu erkennen. Die Durchschnittserträge für Sommergerste liegen im Lausitzer Heide- und Teichgebiet bei 36 dt/ha (LfL, 1996), was von den Solumstandorten weit übertroffen wird. Für Win-

tergerste liegen nur für die quartären Kipp-Lehmsande Ergebnisse vor, die mit etwa 30 dt/ha deutlich unter den Ergebnissen der Altmoränenstandorte liegen.

Für Winterraps liegen nur Ergebnisse für die Altmoränenstandorte des Altlandes und die Solumstandorte der Kippen vor (Abbildung 12). Der mittlere Ertrag liegt bei den Kippen mit etwa 20 dt/ha etwas unter dem Ergebnis der Altmoränen, die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant.



**Abbildung 12:** Erträge von Winterraps von 1993-1998 auf verschiedenen Kippsubstraten und Altlandböden in der sächsischen Lausitz (Mittelwerte und Standardabweichungen)

#### 4.5 Betriebswirtschaftliche Ergebnisse auf landwirtschaftlichen Kippflächen

Um bei der Bewertung der Reineinkommen frei zu sein von den Einflüssen der EU-Förderung, sowie von landesspezifischen Förderprogrammen (Programm Umweltgerechte Landwirtschaft) werden im folgenden die Reineinkommen ohne jegliche Prämien bewertet. Ferner muss darauf hingewiesen werden, dass die hier berechneten Reineinkommen durchaus von den wirklichen Reineinkommen in den Betrieben abweichen können, da die vorliegende Untersuchung einige Kostenfaktoren nur mit KTBL-Richtwerten (KTBL, 1996) bewerten konnte und andere Kostenfaktoren, z.B. Trocknungskosten, Verzinsung des Umlaufkapitals, Einkaufsrabatte sowie die Grunddüngung aus Gründen der Vereinfachung und Vereinheitlichung nicht berücksichtigt wurden.

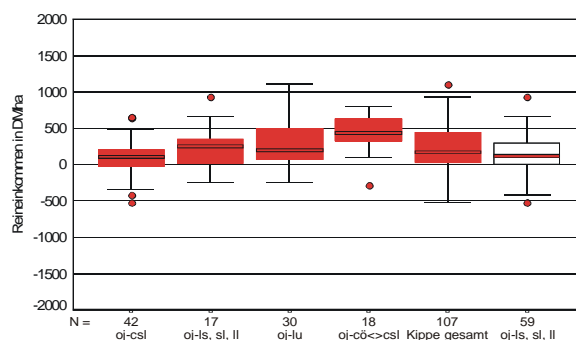
Weiterhin wurden die Reineinkommen bestimmter Fruchtarten den Schlagweise dominierenden Kippbodenarten zugeordnet, um so einen möglichen wirtschaftlichen Einfluss der Böden erkennen zu können.

##### 4.5.1 Reineinkommen nach Kippbodenarten

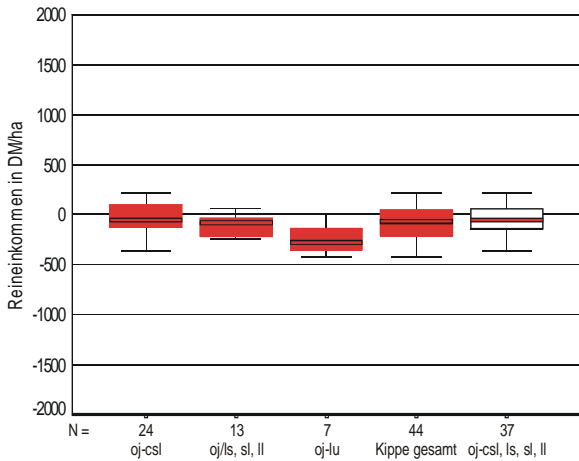
Abbildung 13, 14 und 15 verdeutlichen, wie die Reineinkommen auf die verschiedenen Kippbodenformen reagieren. Betrachtet man im Leipziger Revier bei Winterweizen und -roggen die Interquartilabstände, so liegen sie jeweils in einer gemeinsamen Bandbreite, Winterweizen im Bereich von 0 bis 500 DM/ha, Winterroggen zwischen 100 bis 500 DM/ha. Betrachtet man die Mediane fällt auf, dass sich lediglich Winterweizen auf den Kippflächen mit den günstigeren Kippsubstraten im Raum Profen (oj-cö < > csl) vom Trend her bei den Reineinkommen nach oben absetzt.

Im Lausitzer Revier liegt es bei Winterroggen im Durchschnitt der einzelnen Kippsubstrate deutlich unter dem des Leipziger Reviers. Lediglich die mit Solumsedimenten verbesserten Kippen im Tagebau Bärwalde (oj-ls (b) (q)) stellen sich deutlich besser dar und erreichen das durchschnittliche Niveau des Leipziger Reviers.

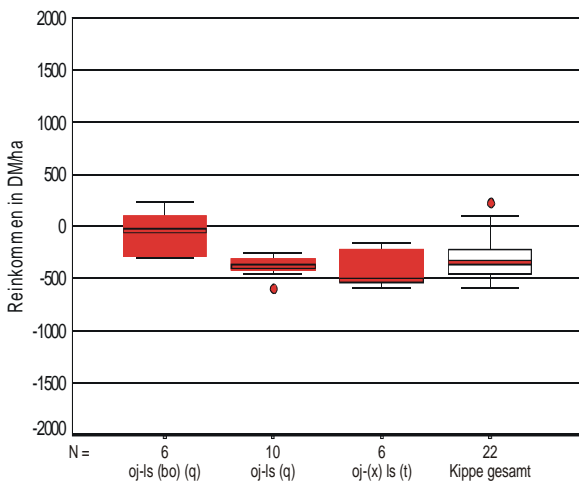
Weiter ist Abbildung 13, 14 und 15 zu entnehmen, dass sich die einzelnen Kippbodenformen bezüglich der Schwankungsbreite der Reineinkommen bei den verschiedenen Fruchtarten kaum unterscheiden. Dagegen sind die Amplituden innerhalb der einzelnen Standorte größer als zwischen ihnen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass insbesondere die Bewirtschaftung an sich und vermutlich auch das Kippalter, z.B. bedingt durch Bodenstrukturbildungsprozesse, eine Bedeutung haben. Bezüglich des Managementeinflusses gibt es von den gewachsenen Böden bereits Erkenntnisse, die dies bestätigen. Eine genauere Klärung in Bezug auf die Kippen bedarf allerdings weiterführender Untersuchungen.



**Abbildung 13:** Reineinkommen (DM/ha) ohne Prämien 1994-1998 bei Winterweizen, Leipziger Raum

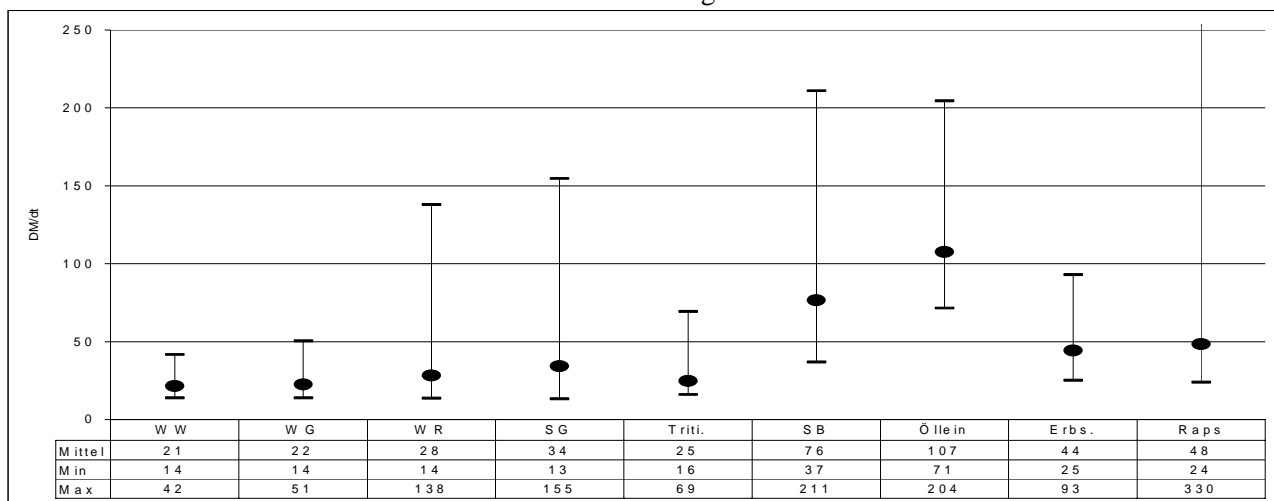


**Abbildung 14: Reineinkommen (DM/ha) ohne Prämien 1994-1998 bei Winterroggen, Leipziger Raum**



**Abbildung 15: Reineinkommen (DM/ha) ohne Prämien 1994-1998 bei Winterroggen, Lausitzer Revier**

Unter Berücksichtigung der Prämienzahlungen zeigt sich dann, dass auf Kippenflächen ein positives Reineinkommen erzielt werden kann. Nach Modellrechnungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (POHLER u. KELLER, 1999) müssen Marktfruchtbetriebe mit Milchviehhaltung, dies ist insbesondere typisch für die Lausitzer Kippenbetriebe sowie viele Kippenbetriebe im Raum Leipzig, einen Rückgang des Reineinkommens von 110 DM/ha LF (Heide- und Teichgebiet der Lausitz) bis 160 DM/ha LF (Löbgebiet) im Rahmen der Agenda 2000 betriebswirtschaftlich verkraften. Reine Ackerbaubetriebe, vergleichbar mit Kippenbetrieben im Leipziger Raum, müssen Verluste von bis zu 140 DM/ha LF auffangen. Insgesamt sind nach einer vollständigen Umsetzung der Agrarreform im Jahr 2007 Einkommensverluste in Höhe von 100 bis 200 DM/ha LF auch auf Kippenflächen zu verkraften. Damit wird deutlich, dass in den nächsten Jahren erhebliche betriebliche Anpassungen erfolgen müssen, um diese Verluste auffangen zu können. Möglichkeiten und Spielräume bestehen hier vor allem auf der Seite des Betriebsaufwands (Input). Abbildung 16 zeigt hierzu anhand der Stückkosten, also der Kosten pro Einheit erzeugter Menge, für verschiedene auf den sächsischen Kippen angebaute Fruchtarten die Spielräume auf. Demnach gelingt es dem Durchschnitt der sächsischen Kippenbetriebe aktuell ihre Stückkosten insbesondere bei Getreide knapp oberhalb der Erzeugerpreise für Futtergetreide zu halten, d. h. ohne EU-Prämien wäre kein positives Betriebsergebnis zu erzielen. Auch die Stückkosten bei Erbsen und Raps liegen im Mittel nicht zu weit oberhalb der Erzeugerpreise. Weiterhin wird aber auch deutlich, dass noch Spielräume bestehen die Stückkosten so zu reduzieren, dass sie unterhalb der Erzeugerpreise liegen.



**Abbildung 16: Stückkosten (DM/ct) ausgewählter Fruchtarten auf sächsischen Kippenflächen im Mittel der Jahre 1994-1998**

## 5. Diskussion

Die Erträge der flächenanteilig dominierenden Kippsubstrate aus Geschiebemergel im Raum Leipzig liegen für Getreide etwa 15% unter dem Niveau der umliegenden Vorfeldböden aus Sandlöß und auch innerhalb der Kippsubstrate weist diese Gruppe die geringsten Erträge auf. Ein Ausweichen auf andere Kippsubstrate bei künftigen Rekultivierungen, etwa auf Sandlöß, dürfte aber kaum möglich sein, da die Sandlößauflagen im Abgrabungsgebiet des verbliebenen Tagebaues Vereinigtes Schleenhain für einen gesonderten Abtrag nicht mächtig genug sind. Als Ursachen für die Ertragsunsicherheiten auf Geschiebemergelkippen müssen die bodenphysikalischen Eigenschaften angesehen werden. Sowohl die Rekultivierung als auch die landwirtschaftliche Folgenutzung müssen sich auf die Bedingungen und Eigenschaften des Geschiebemergels einstellen um das Ertragspotenzial der Böden zu verbessern und die landwirtschaftliche Nutzung langfristig zu sichern.

Die Geschiebemergelkippen weisen eine sehr dichte Unterbodenstruktur auf, die sowohl auf Eigenschaften des Materials, als auch auf die Druckbelastungen beim Schütten, Planieren und landwirtschaftlichen Befahren zurückzuführen sind (LEBERT und SPRINGOB, 1994 a; BARTHEL et al., 1997; DUMBECK, 1998). Die Bodengefügeeigenschaften sind durch den anthropogenen Einfluss sehr heterogen. Da jedoch auch ältere Standorte teilweise extrem hohe Lagerungsdichten aufweisen, kann man davon ausgehen, dass im Unterboden von selbst bisher keine Lockerung durch natürliche Regenerationskräfte aufgetreten ist. Das ist auch nicht zu erwarten, denn der Boden müsste ja angehoben werden, um Dichtereduzierungen zu erzielen. Eine günstige Bodenstruktur ist jedoch weniger eine Frage der Dichte als vielmehr der räumlichen Anordnung der Bodenpartikel und damit eine Frage der Funktionalität des Porensystems. Es ist also auch denkbar, dass durch Umstrukturierungen innerhalb der dichten Bodenmatrix, z.B. durch Bildung von Wurzelröhren oder Wurmgingen, eine Verbesserung der bodenphysikalischen Eigenschaften eintritt. Der Nachweis einer solchen, physikalischen Bodenentwicklung ist schwer zu führen. Die starken Streuungen im Bereich der Wasser- und Luftleitfähigkeitsparameter weisen aber auf solche unregelmäßig stattfindenden Bodenstrukturbildungen hin.

Die Folgen der Unterboden-Dichtlagerung sind vielschichtig. Sie zeigen sich sowohl in der mecha-

nischen Durchwurzelbarkeit als auch im Wasser- und Lufthaushalt. Hohe Dichtlagerung bedingt hohe Totwassergehalte und diese wiederum reduzieren die nutzbare Feldkapazität (nFK). Werte für die nFK von 7,5 bis 8 Vol.%, wie sie an den Standorten Espenhain und Delitzsch-SW gemessen wurden, sind gemäß der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4) nicht typisch für gleichartige Bodenarten (S12-S14) gewachsener Böden. Dort liegt die nFK wesentlich höher (14-16 Vol. %). WÜNSCHE (1976) spricht hingegen auch von hohen Totwassergehalten und geringer nutzbarer Feldkapazität bei rekultivierten Geschiebemergelböden. Die geringen Anteile an engen Grobporen und Mittelporen, die die nFK bilden, führen dazu, dass der Boden in niederschlagsfreien Phasen sehr schnell bis auf hohe pF-Werte austrocknet. An den Standorten Espenhain und Delitzsch-SW führen bereits Wasserverluste von 4 mm/dm Tiefe (= 4 Vol. %) zu einer Erhöhung der Bodenwasserspannung von pF 1,8 bis auf pF 3,0. In diesem Feuchtezustand ist der Boden bereits sehr fest und schwer zu bearbeiten, weshalb der landwirtschaftliche Praktiker auch von Minutenböden spricht, obwohl man diese Eigenschaften eher tonreichen Böden zuspricht.

Die geringen, nutzbaren Feldkapazitäten haben Auswirkungen auf das pflanzenverfügbare Wasserangebot. Als Richtwert für eine nicht durch Wassermangel behinderte Ertragsbildung werden etwa 250 mm pflanzenverfügbares Wasser während der Vegetationsperiode angenommen (EHLERS, 1996), obwohl die ertragsphysiologische Gültigkeit dieses Wertes schwer belegbar ist. Die mittlere Niederschlagsmenge während der Vegetationsperiode für Marktfrüchte betrug im Raum Leipzig während des Projektzeitraums etwa 160 mm. Als Beginn der Vegetationsperiode wurde der 01. April angenommen, da ab diesem Termin üblicherweise die Austrocknungsphase des Bodens einsetzte. Bis zu diesem Termin entsprach der Bodenwassergehalt etwa der Feldkapazität. Das Ende der hydro-meteorologischen Vegetationsperiode kann nicht generell einem Termin zugeordnet werden, da die zeitliche Entwicklung der Kulturen jährlich schwankt. Im Projekt wurde das Ende der für den Wasserhaushalt wichtigen Vegetationsperiode auf drei Wochen von dem Erntetermin festgelegt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Kornfüllung abgeschlossen und spätere Niederschläge werden als nicht mehr ertragsrelevant betrachtet.

Legt man für eine ausreichende Wasserversorgung den oben genannten Richtwert zugrunde, müsste der Boden eine speicherbare, nutzbare Feldkapazität





des effektiven Wurzelraums von ca. 90 mm bereitstellen. Bei einer nFK von 7,5 Vol.% müsste die Tiefe des effektiven Wurzelraums 12 dm betragen, um die geforderte Wassermenge sicherzustellen. Eine solche Tiefe des effektiven Wurzelraums kann nur erreicht werden, wenn die Deckschicht auch eine entsprechende Mächtigkeit hat. Bei den üblichen Deckschichtmächtigkeiten von 1 m bei den untersuchten Kippen in Espenhain und Delitzsch-SW konnte festgestellt werden, dass die Marktfruchtkulturen grundsätzlich in der Lage sind, die gesamte Deckschicht von pflanzenverfügbarem Wasser zu entleeren. Dieses Ergebnis steht etwas im Widerspruch zu den in der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4) angegebenen Tiefen für den effektiven Wurzelraum der entsprechenden Bodenarten, die mit 7 - 8 dm angegeben sind. Die in der KA4 angegebenen Zahlen sind jedoch empirische, an gewachsenen Böden ermittelte Werte, die auf die Bedingungen von Kippenböden nicht anwendbar sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer konsolidierten Deckschichtmächtigkeit von 12 - 13 dm der Wasserbedarf der Kulturpflanzen auf den Geschiebemergelkippen gedeckt werden könnte.

Ein weiterer, wichtiger bodenphysikalischer Aspekt zur Bewertung der Deckschichten ist die Wasser- und Luftdurchlässigkeit. Wie die Messungen zur gesättigten Wasserleitfähigkeit zeigen, sind die Durchlässigkeiten der Geschiebemergeldeckschichten lokal sehr gering, so dass es leicht zum Wasserstau kommen kann. Bei den durchschnittlich 1 m mächtigen Deckschichten der Standorte Espenhain und Delitzsch-SW wurden allerdings keine Stauwassererscheinungen beobachtet. Der relativ hohe Sandgehalt von über 60 % garantiert auch bei sehr hohen Lagerungsdichten noch eine restliche Luftkapazität, die unter den gegebenen Niederschlagsverhältnissen ausreicht, um den Boden ausreichend mit Sauerstoff zu versorgen und freies Wasser abzuführen. Die Durchwurzelung führt zudem zu einer Kommunikation zwischen den Grobporen innerhalb der Deckschicht, so dass Stauwasser in so rascher Zeit ablaufen kann, dass es keine hydro-morphen Spuren im Boden hinterlässt. Visuell sichtbare Stauwasser konnte jedoch am Standort Schleenhain beobachtet werden, wo die Deckschichtmächtigkeit allerdings mehr als 2 m beträgt. Es muss vermutet werden, dass in tieferen Bodenzonen, in denen keine intensive Durchwurzelung und damit auch wenig Umstrukturierung stattfindet, die Stauwasserbildung um so mehr gefördert wird, je mächtiger die Schicht ist. Höhere Deckschichtmächtigkeiten als sie für die Sicherstellung der

Wasserversorgung notwendig sind, müssen daher für das Kippsubstrat Geschiebemergel aus Gründen der Stauwassergefährdung als kritisch betrachtet werden.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die potenzielle Wasserversorgung der Pflanzen durch eine etwas höhere Deckschichtmächtigkeit noch verbessert werden kann. Voraussetzung für die Ausschöpfung des Bodenwasserspeichers ist jedoch eine vollständige Durchwurzelbarkeit des Substrats. Hier zeigen die Messungen der Wurzellängendichten, dass unter konservierender, pflugloser Bewirtschaftung eine gleichmäßigere und intensivere Durchwurzelung des Unterbodens erreicht wird, als unter Pflugbewirtschaftung. Bei Vorhandensein eines abrupten Schichtwechsels zwischen gelockertem Ober- und verfestigtem Unterboden wirkt die Übergangsschicht wurzelstauend. Hinzu kommt, dass vorhandene Verbindungsröhren zwischen Ober- und Unterboden, seien es Wurmgänge oder ehemalige Wurzelbahnen, durch die Bodenbearbeitung und die verdichtende Wirkung der Schlepperräder beim Pflügen wieder zugeedrückt, unterbrochen oder ganz zerstört werden (LEBERT und SPRINGOB, 1994 b).

Das Erschließen und damit eine Umstrukturierung des Unterbodens durch das Wurzelwachstum wird bei der Pflugbewirtschaftung nicht gefördert. Die bessere Unterbodendurchwurzelung bei der konservierenden Bodenbearbeitung gibt den Pflanzen die Möglichkeit, die Wasser- und Nährstoffreserven des Bodens besser zu erreichen. Im Projektzeitraum standen den Marktfruchtkulturen bei der konservierenden Bodenbearbeitung jährlich etwa 20 mm mehr Wasser in der Vegetationsperiode zur Verfügung. Diese erhöhte Wassermenge kann bei ertragslimitierenden, klimatischen Verhältnissen wie im Raum Leipzig zur Stabilisierung und Erhöhung der Erträge beitragen. Die starke Austrocknungsintensität der Deckschichten im Klimaraum Leipzig lässt zudem erwarten, dass bei intensiver Ackernutzung durch Marktfruchtbau die Bodenentwicklung durch Prozesse wie Quellung und Schrumpfung unterstützt wird.

Die konservierende Bodenbearbeitung stellt ein ackerbauliches System zur Standortverbesserung von Geschiebemergelkippen dar und macht auf den bereits in Bewirtschaftung befindlichen Flächen eine nachträgliche mechanische Tieflockerung überflüssig. Darüber hinaus bietet sie sich als eine gefügeschonende Erstbewirtschaftungsmaßnahme für frisch wieder urbar gemachte Flächen an.





Die Bewertung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der quartären und tertiären Kippenflächen in der Lausitz ist anhand der Untersuchungsergebnisse nur eingeschränkt möglich. Ertragsdaten konnten auf den unterschiedlichen Substraten nicht in ausreichender Zahl für eine Statistik ermittelt werden. Es zeigen sich aber dennoch einige Tendenzen. Die Marktfruchterträge auf den Lausitzer Kippsubstraten liegen insgesamt auf einem geringeren Niveau als im Raum Leipzig. Allerdings gibt es sehr große Unterschiede zwischen den Kippsubstraten. Sehr geringe Erträge werden auf den quartären, schwach lehmigen Sanden erzielt. Die Erträge der vergleichbaren Vorfeldeböden sind jedoch auch sehr gering. Auf den Tertiärkippen werden geringfügig höhere Erträge erzielt, was auf höhere nFK und Kationenaustauschkapazität durch Kohlebeimengungen zurückzuführen ist. Die höchsten Erträge werden auf den quartären Standorten mit Beimischungen von Solumsedimenten erzielt. Die Lausitzer Landwirte nutzen die sächsischen Kippenstandorte häufig eher extensiv für den Futterbau, was eine betriebswirtschaftliche Bewertung erschwert.

Im Folgenden sollen die Möglichkeiten der Standortverbesserung im Rahmen der Sanierung und Rekultivierung anhand der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse erörtert werden.

Auf den Tertiärkippen zeigen die Bilder der Durchwurzelungsmessungen klar, dass unterhalb der Meliorationstiefe von ca. 60 cm keine Durchwurzelung im sauren Milieu stattfindet. Auch die Wasserversorgung der Pflanzen wird dadurch limitiert. Der effektive Wurzelraum geht ebenfalls kaum über diese Tiefe hinaus, denn kapillarer Aufstieg findet in dem grobkörnigen, überwiegend sehr locker gelagerten Material nur sehr wenig statt. Die potenzielle Wasserversorgung des Substrates ist jedoch als günstig zu bewerten. Die nFK liegt zumeist bei 14 Vol. % und darüber. Benetzungshemmungen können jedoch zu starken Hysteresiserscheinungen führen, so dass bei Feld-pF-Kurven auch nFK-Werte von unter 10 Vol. % auftreten können. Zu Beginn der Vegetationsperiode, nach der lang anhaltenden Winterfeuchte, dürfte aber die volle nFK zur Verfügung stehen. Dadurch ergibt sich bei einer Tiefe des effektiven Wurzelraums von 6 dm ein pflanzenverfügbares Wasserangebot des Bodenspeichers von mindestens 86 mm, welches bei einer mittleren Niederschlagsmenge von 180 mm in der Vegetationsperiode ausreicht, um die im Richtwert geforderten 250 mm bereitzustellen. Allerdings treten bei den zumeist heftigen Sommerniederschlägen in der Lausitz in den sehr

leicht wasserdurchlässigen Substraten Sickerwasserverluste auf.

Diese sind anhand der Untersuchungsergebnisse schwer zu beziffern, da an den Versuchsstandorten überwiegend Futterbau betrieben wurde. Am Standort Bärwalde trat jedoch 1996 im Mai unter Triticale ein Sickerwasserverlust von 80 mm auf. Geht man von einem mittleren, jährlichen Sickerwasserverlust von 50 mm in der Vegetationsperiode aus, so müsste der Boden 120 mm speicherbares Wasser für die Pflanzen bereitstellen, um die geforderten 250 mm zu erreichen. Bei einer nFK von 14 Vol.% würde diese Wassermenge einer Tiefe des effektiven Wurzelraums von 8,6 dm entsprechen. Diese Tiefe müsste aber auch durchwurzelbar sein, so dass eine Meliorationstiefe von mindestens 90 cm gewählt werden sollte, da die Wurzeln sonst nicht zum Wasser wachsen können.

Bei den quartären Sanden muss von einer nFK von 10 Vol.% ausgegangen werden. Diese Standorte würden bei gleichen hydrometeorologischen Voraussetzungen einen effektiven Wurzelraum von 1,20 m benötigen, um im langjährigen Mittel die Wasserversorgung sicherstellen zu können. Eine solche Tiefe des effektiven Wurzelraums kann aber von Marktfrüchten auf dem durchlässigen, relativ locker gelagerten, grobkörnigen Substraten kaum erreicht werden, da die ungesättigte Wasserleitfähigkeit zu gering ist. Eine Verbesserung der Standorteigenschaften dieser Substrate kann nur durch die Beimengung von Materialien erfolgen, die stärker pflanzenverfügbares Wasser binden. Dies können humose oder schluffige Solumsedimente sein. Am Standort Reichwalde konnte die nFK durch Aufbringung einer Schicht aus humosem Auenlehm von 10 auf 20 Vol. % verdoppelt werden. Solche Aufbringungen von tagebaufremdem Material sind allerdings sehr kostspielig und werden sich kaum praktisch durchsetzen lassen. Eine kostengünstigere Lösung ist die Beimengung von schluffigen Talsedimenten, die in den Abgrabungsgebieten der Tagebaue vorhanden sind. Durch Beimengung solchen Materials konnte die nFK am Standort Bärwalde (Schluffkippe) um durchschnittlich 2 auf 12 Vol. % angehoben werden, wie anhand von Feld-pF-Kurven ermittelt wurde. An diesem Standort wurden die höchsten Marktfruchterträge der Lausitzer Untersuchungsstandorte erzielt. Eine Erhöhung der nFK im gleichen Ausmaß ließe sich durch eine langfristige Humusakkumulation durch entsprechende Fruchtfolgemaßnahmen kaum erzielen, da diese Maßnahme nicht tiefgründig genug wirkt. Durch die Herstellung solcher Flächen ist im Bereich der sächsischen Lausitz eine Verbesserung der



Produktionsbedingungen für Marktfrüchte im Vergleich zu den Terrassensanden des Tagebaumfeldes zu erzielen.

Betriebswirtschaftlich wird die landwirtschaftliche Kippennutzung vor dem Hintergrund der heutigen Rahmenbedingungen, insbesondere auch vor dem Hintergrund der Agenda 2000, von vielen Seiten für unrentabel gehalten.

So vertreten ABRESCH und BAUER (1998) die Auffassung, dass die stark eingeschränkten Nutzungseigenschaften der Kippböden eine wirtschaftliche Nutzung nicht zu lassen und daher zumindest eine Extensivierung die Folge ist. Die in Kapitel 4.5 dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch, dass unter Berücksichtigung der speziellen Intensität bei der Bewirtschaftung von Kippen, auch unter den veränderten Rahmenbedingungen der Agenda 2000, positive Reineinkommen erreicht werden können. Damit ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Voraussetzung gegeben, dass sich die Landnutzungsform Landwirtschaft langfristig in den Bergbaufolgelandschaften halten kann. Darüber hinaus belegen die Ergebnisse des Verbundvorhabens, dass eine landwirtschaftliche Kippennutzung auch aus ökologischen Gründen, wie die Förderung der Bodenbildung, die durch die landwirtschaftliche Nutzungsvariabilität geförderte Artenvielfalt, die Sicherung der Grundwasserneubildung, in Zukunft sinnvoll und notwendig ist.

## 6. Schlussfolgerungen

Empfehlungen und Ergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis:

- Die durch Bodenverdichtungen in ihrer Ertragsfähigkeit eingeschränkten Kippböden insbesondere aus Geschiebemergel im Raum Leipzig können durch ackerbauliche Maßnahmen verbessert werden. Die konservierende Bodenbearbeitung bringt im Vergleich zur konventionellen Pflugbewirtschaftung folgende ökologische und ökonomische Vorteile:
  1. Eine intensivere und gleichmäßigere Unterbodendurchwurzelung fördert die Wasseraufnahme und verbessert die Ertragssicherheit.
  2. Die intensivere Durchwurzelung und tiefere Austrocknung fördert die mechanische Umstrukturierung und damit die Bodenstrukturbildung. Dies lässt zukünftig eine verbesserte Wasser- und Luftdurchlässigkeit erwarten, was die physikalische Bodenbildung fördert

3. Die mechanische Entlastung durch die Reduktion der Bearbeitungsintensität festigt und konserviert das ackerbaulich geförderte Grobporensystem und hilft Stauwasserbildung zu vermeiden.
4. Die reduzierte Bearbeitungsintensität fördert darüber hinaus die biologische Bodengefügebildung.
5. Der reduzierte mechanische Aufwand führt über Kosteneinsparungen zu einer Erhöhung der Reinerträge.
6. Bei konservierender Bodenbearbeitung kann die Bestellung auch im trockenen Bodenzustand erfolgen, wenn Pflügen wegen des mechanischen Bodenwiderstandes nicht mehr möglich ist. Dadurch werden Arbeitsspitzen abgebaut und die Schlagkraft erhöht.

- Zur Erzielung eines optimalen Betriebsergebnisses unter den kommenden EU-Rahmenbedingungen sind unter Berücksichtigung der substratspezifischen Ertragspotenziale auf Kippen die speziellen Bewirtschaftungsintensitäten und Fruchtfolgen in den nächsten 2 bis 4 Jahren neu anzupassen.

Empfehlungen für die Rekultivierungspraxis:

- Wie die Ergebnisse zum Bodenwasserhaushalt zeigen, ist es für die landwirtschaftliche Rekultivierung besonders wichtig, Standorte mit ausreichender Wasserspeicherfähigkeit herzustellen. Dies kann wie folgt erreicht werden:
  1. Geschiebemergelkippen können im Rahmen der zukünftigen Rekultivierungspraxis durch eine Erhöhung der Deckschichtmächtigkeit auf mindestens 1,20 bis 1,30 m verbessert werden. Eine solche Maßnahme erhöht das pflanzenverfügbare Wasserangebot, ohne die Gefahr von Stauwasserbildung nennenswert zu erhöhen. Bei höhermächtigem Auftrag, insbesondere bei Deckschichtmächtigkeiten von größer 2 m, sollten die Gefahr von Stauwasserbildung und die Wirksamkeit von Dränageschichten genauer untersucht werden.
  2. Sandige Tertiärkippen können nachträglich durch eine Erhöhung der Tiefe für die Grundmelioration von 60 auf 90 cm Tiefe für den Ackerbau verbessert werden, da dadurch die Wasserversorgung der Pflanzen besser sichergestellt ist. Zukünftig sollten aber saure,



tertiäre Substrate nicht mehr für die Rekultivierung verwendet werden.

3. Die Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser sandiger Quartärkippen kann durch die Beimengung von Talschluffen verbessert werden.
- Zur Förderung der Bodengefügebildung und zur Erhaltung der im Rekultivierungsverfahren hergestellten Bodenstruktur ist eine Konservierende Bodenbearbeitung von Anfang an anzuraten. Dadurch könnten die Flächen sofort an die

Landwirtschaft übergeben werden, wodurch die Rekultivierungskosten gesenkt würden.

- Der tertiäre Untergrund der Kippen verlangt, dass eine jährliche, abwärts gerichtete Überschusswassermenge vorhanden ist, damit es nicht zur Versalzung kommt. Landwirtschaftliche Nutzung, insbesondere der Anbau von Feldfrüchten mit kurzer Vegetationsperiode garantiert als einzige Nutzungsform einen solchen Wasserüberschuss.

## 7. Literaturverzeichnis

- ABRESCH, J.-P., BAUER, S. 1998: Abschlußbericht BfN F&E Vorhaben "Vergleich der Strategien der Sanierung und Renaturierung devastierter Braunkohlegebiete unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten".
- BARTEL, W., SCHNEIDER, R., und SCHRÖDER, D., 1997: Bodenphysikalische Untersuchungen von Kippenböden und gewachsenen Böden unter Ackernutzung im Westelbischen Braunkohlenrevier. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, Band 85, Heft II, 831-834.
- BÖHM, W., 1979: *Methods of studying root systems*. Berlin: Springer Verlag.
- DUMBECK, G., 1998: Bodenkundliche Aspekte der landwirtschaftlichen Rekultivierung. In Pflug, W. (Hrsg.): *Braunkohlentagebau und Rekultivierung*, 110-120, Springer Berlin.
- EHLERS, W., 1996: *Wasser in Boden und Pflanze*. 1. Aufl., Stuttgart.
- GÄTKE, C.-R., 1989: Zum Einfluss des Bodenwassergehalts auf die pneumatische Leitfähigkeit eines Sandbodens. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk.*, Berlin (33), 437-443.
- HARTGE, K.-H. und HORN, R., 1992: Die physikalische Untersuchung von Böden. 3. Aufl., Enke Stuttgart.
- HAUBOLD-ROSAR, M., 1998: Bodenentwicklung. In Pflug, W. (Hrsg.): *Braunkohlentagebau und Rekultivierung*, 573-588, Springer Berlin.
- ILLNER, K. und KATZUR, J., 1964: Betrachtungen zur Bemessung der Kalkgaben auf schwefelhaltigen Tertiärkippen. *Z. Landeskultur*. Berlin (5), 287-295.
- KA4, 1994: *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 4. Aufl., Hannover.
- KATZUR, J., 1977: Die Grundmelioration von schwefelhaltigen, extrem sauren Kippböden. *Technik und Umweltschutz* 18, 52-62.
- KATZUR, J., 1987: Zur Entwicklung der Humusverhältnisse auf meliorierten schwefelhaltigen Kippböden. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk.*, Berlin (31), 239-247.
- KTBL, 1996: *KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft*. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft. 18. Auflage
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G. und SCHWERDTFEGER, G., 1994: *Bodenkunde*. 5. Aufl., Ulmer Stuttgart.
- LEBERT, M. und SPRINGOB, G., 1994a: Zur Rekultivierung von Lössböden (I): Wirkungen verschiedener Planierverfahren auf die Bodenstruktur. *Z. Kulturtechnik u. Landentw.*, 35, 112-121.
- LEBERT, M. und SPRINGOB, G., 1994b: Zur Rekultivierung von Lössböden (II): Wirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf die Unterbodenstruktur junger, planierter Flächen. *Z. Kulturtechnik u. Landentw.*, 35, 300-310.
- LFL, 1996: *Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Datensammlung Deckungsbeiträge Pflanzen- und Tierproduktion im Freistaat Sachsen*. Dresden.
- LFL, 1998a: *Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Statusbericht zur Rekultivierung im Freistaat Sachsen 1997/98*. Dresden.
- LFL, 1998b: *Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Nitratbericht 1997/98*. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 7, 3. Jahrgang. Dresden.
- PODLESAK, W., et al., 1988: *Autorenkollektiv, Institut für Pflanzenernährung Jena der Akademie der Landbauwissenschaften (AdL) der DDR - Agrochemische Untersuchungen von Böden und Pflanzen*. Agra-Buch, S. 99.
- POHLER, C., KELLER, M. 1999: Agrarpolitische Inhalte der AGENDA 2000 und mögliche Auswirkungen auf sächsische Landwirtschaftsbetriebe. *INFODIENST für Beratung und Schule der sächsischen Agrarverwaltung 7/99*, S. 19 - 31.
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, 1995: *Braunkohlenplan*.



- REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERLAUSITZ-NIEDERSCHLESSEN, 1994: Braunkohlenplan
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERLAUSITZ-NIEDERSCHLESSEN, 1998: Braunkohlenplan
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P., 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Aufl., Enke Stuttgart.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K., 1995: Bodenkundliches Praktikum. 2. Aufl., Blackwell Berlin Wien.
- SMUL, 1995: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). Umweltgerechte Landwirtschaft im Freistaat Sachsen (UL). Dresden.
- SMUL, 1998: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.): Sächsischer Agrarbericht 1998. Dresden.
- SPRINGOB, G., LEBERT, M. und REICHENBACH, H. GRAF VON, 1995: Improved correlation between soil exchangeable K and plant K contents on a tissue water basis. Plant and soil 172, 163-165.
- THUM, J., WÜNSCHE, M., LAVES, D. und VOGLER, E., 1990: Zur Humusbildung auf Kipp-  
Lehm bei Ackernutzung. Arch. Acker - Pflanzenbau Bodenkd. 34 (12), 855-864.
- TOPP, G.C., DAVIS, J.L. und ANNAN, A.P., 1980: Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resources research, 16, 574-582.
- VOGLER, E., 1981: Zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit bei der Wiedernutzbarmachung. Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch., Berlin 21 (1), 35-44.
- WÜNSCHE, M. und THUM, J., 1990: Bodensubstrate und Bodenentwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flurkippe Espenhain. Arch. Nat.schutz Landsch.forsch., Berlin 30 (4), 217-229.
- WÜNSCHE, M., 1976: Die bodenphysikalischen, -chemischen und -mineralogischen Eigenschaften der Abraumsubstrate und ihre Eignung für die Wiederurbarmachung im Braunkohlenrevier südlich von Leipzig. Diss.B, TU Dresden.
- WÜNSCHE, M., 1977: Zusammensetzung und Eigenschaften der organischen Substanz quartärer und tertiärer Abraumsubstrate im Braunkohlenrevier südlich von Leipzig. Technik u. Umweltschutz, Leipzig (18), 156-163



# Lösungen zur extensiven und alternativen Nutzung sowie zur Landschaftspflege gehölzfreier Kippenareale im Lausitzer Braunkohlenrevier

Kerstin Berlin, Gerhard Gunschera, Ingmar Landeck, Cathrin Liebner und Volko Wöhler  
Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.

## Zusammenfassung

Im Forschungsverbund zur Untersuchung mittel- und ostdeutscher Kippböden auf ihre ökologiegerechte landwirtschaftliche Nutzung wurden u.a. alternative Nutzungsprofile zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von gehölzfreien Kippenarealen der Lausitz untersucht.

Im Nutzungsvergleich futterbetonter und alternativer Rekultivierungsfruchtfolgen mit ein- und mehrjährigen Fruchtarten des Food- und Non-Food-Bereichs sollten Aspekte der Bodenentwicklung, der Wiederbesiedlung mit typischen Floren- und Faunenarten und des Ertragspotentials von verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen betrachtet werden. Zu den nachwachsenden Rohstoffen zählen hier neben Färber-, Öl-, Eiweiß- und Faserpflanzen auch Heil- und Gewürzkräuter sowie Wildobstarten. Ergänzend kamen Untersuchungen unterschiedlicher Grünlandssysteme hinzu, die wesentlicher Bestandteil einer Rekultivierungsfruchtfolge sind. Die Beurteilung der Anbaueignung einzelner Kulturen wurde durch eine ökonomische Betrachtung abgerundet.

## 1. Einleitung

Für die folgenden Darstellungen sind die Daten und weitestgehend die Schlussfolgerungen aus dem Forschungsvorhaben „Lösungen zur extensiven und alternativen Nutzung sowie zur Landschaftspflege gehölzfreier Kippenareale im Lausitzer Braunkohlenrevier“ von GUNSCHERA et al. (2000) zugrunde gelegt worden.

Der jahrzehntelange Braunkohleabbau hat die agrarstrukturell geprägte Landschaft und den Naturhaushalt in der Lausitz nachhaltig beeinflusst. Die Vernichtung landwirtschaftlicher Nutzfläche konnte bei der Wiederherstellung von Landschaft in den aufgelassenen Tagebauen nur teilweise ausgeglichen werden.

Eine zusammenhängende Grundwasserabsenkung erstreckt sich im Lausitzer Revier (Brandenburg und Sachsen) über 2.100 km<sup>2</sup> und beeinträchtigt auch die Bewirtschaftung unverritzter landwirt-

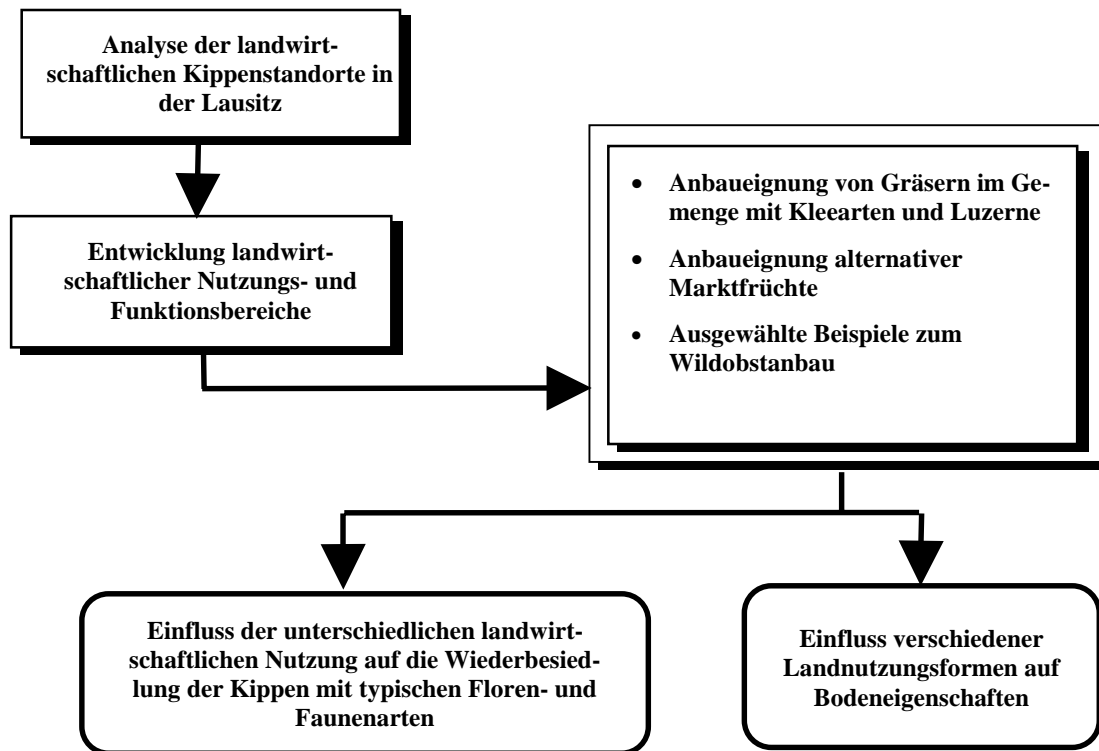
schaftlicher Nutzflächen. Dabei steht die gegenwärtige landwirtschaftliche Kippennutzung unter den sich ökonomisch verschärfenden agrarpolitischen Bedingungen der Europäischen Union und des Weltmarktes. Die Förderung der Bodenbildung auf Kippenstandorten wird durch betriebswirtschaftliche Zwänge bei Auswahl von anzubauenden Kulturen und Gestaltung der Fruchtfolgen eingeschränkt.

Landwirtschaftliche Nutzungsbereiche sind ein wichtiger und notwendiger Bestandteil der Bergbaufolgelandschaft. Sie sichern einen ausreichenden Offenflächenanteil im Naturraum, erfüllen wichtige ökologische Ausgleichsfunktionen, bilden strukturierende Landschaftselemente und prägen darüber hinaus das Bild des ländlichen Raums in der Lausitz (GUNSCHERA 1998a, WIEDEMANN 1998).

Der Erhalt der landwirtschaftlichen Offenflächen und ihre Einbindung in die sozialökonomische Erwerbsstruktur der ländlichen Areale der Lausitz erfordern die Entwicklung und beispielhafte Anwendung von ökologisch und ökonomisch sinnvollen Lösungen für eine größere Nutzungs- und Biotopvielfalt auf Agrarstandorten der Bergbaufolgelandschaften (KATZUR, 1997).

Neben dem Anbau alternativer Kulturarten gehören Formen der extensiven Pflanzenproduktion zu den bevorzugten Möglichkeiten, ökonomische und ökologische Aspekte in Einklang zu bringen und gesellschaftliche Ansprüche an die Landnutzung zu erfüllen. Die landwirtschaftliche Flächennutzung kann die Bodenentwicklung und die Artenvielfalt auf Kippenstandorten fördern. Sie bildet zudem eine Grundlage für die Wiederherstellung einer vielfältigen Kulturlandschaft in der Lausitz.

Aus diesem Grund wurden Fragen des Einflusses landwirtschaftlicher Nutzungsformen auf die Wiederbesiedlung mit typischen Floren- und Faunenarten sowie auf die Entwicklung ausgewählter Bodeneigenschaften in die Untersuchungen mit einbezogen. Abbildung 1 zeigt den funktionalen Zusammenhang zwischen einzelnen Untersuchungsabschnitten im Forschungsprojekt.



**Abbildung 1: Funktionale Zusammenhänge im Untersuchungsprogramm**

Die Förderung der Artenvielfalt und die Herausbildung stabiler Lebensräume gehören zu den wichtigen Anliegen bei der Entwicklung von Bergbaufolgelandschaften. Die Förderung der Artenvielfalt und die Herausbildung stabiler Lebensräume gehören zu den wichtigen Anliegen bei der Entwicklung von Bergbaufolgelandschaften. Effektiver Artenschutz ist in vielen Bereichen der Kulturlandschaft an eine forstliche bzw. landwirtschaftliche Nutzung gebunden (WIEDEMANN 1998, KATZUR 1990). Angestrebte Lösungen für ein Neben- bzw. Miteinander von Artenschutz und Landnutzung können von extensiver Grünlandnutzung zum Erhalt oder Entwicklung artenreicher Magerrasen bis hin zum gezielten Anbau von Färber- und Ölpflanzen mit dem Nebeneffekt eines erhöhten Blütenangebotes zur Stabilisierung von Populationen blütenbesuchender Insekten reichen.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Landwirtschaft auf Kippböden**

Im Dezember 1995 bewirtschafteten 22 Agrarbetriebe mit einer Gesamtnutzungsfläche von 29.000 ha Kippenstandorte im südöstlichen Bran-

denburg. Davon waren 22% landwirtschaftlich genutzte Kippenflächen mit dem Status einer Basisfläche. Insgesamt wurden zu diesem Zeitpunkt im brandenburgischen Teil der Lausitz 6.729 ha Kippenflächen landwirtschaftlich genutzt. Bei einem Arbeitskräftebesatz von durchschnittlich 1,7 AK/100 ha im Jahre 1996 waren 108 Arbeitsplätze durch die landwirtschaftliche Nutzung von Kippenflächen vorhanden.

Fast 80 % aller Kippenflächen gehören nach Angaben der jeweiligen Flächennutzer zu den Sanden bzw. anlehmigen Sanden nach WÜNSCHE et al. (1981). 90 % aller sandigen Kippenböden bilden Schlageinheiten von mehr als 50 ha. Der Fruchtfolgeanteil von mehrjährigem Feldfutter auf den ackerbaulich genutzten Kippenflächen verringerte sich von über 70 % im Jahre 1988 auf ca. 40 % im Jahre 1995 bei gleichzeitiger Ausweitung der Anbaufläche für Getreide und Ölfrüchten. Für anlehmige Kippenstandorte fehlen ertragsstabile wirtschaftliche Anbaualternativen zur Auflockerung der getreidebetonten Fruchtfolgen und Substitution nicht benötigter Feldfutterflächen.



## 2.2 Böden

Nach der Analyse der Befragungsergebnisse aller kippenbewirtschaftenden Agrarbetriebe wurden auf vier ausgewählten rekultivierten Kippenflächen Anbauversuche durchgeführt. Die genutzten Flächen der ehemaligen Tagebaue Koyne, Schlabendorf-Nord und Kleinleipisch repräsentieren die Kippsubstrate Kippkohleanlehmsand (xSl), Kippkalkanlehmsand (cSl), Kipplehmsand (lS) und Kippkohlesand (xS). Die Flächen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich des Skelettanteils, der Sorptionsfähigkeit sowie der Gehalte und Art der organischer Substanz, Restkohle und Nährstoffen, wie in Tabelle 1 dargestellt. Das C/N-Verhältnis variiert von 17 bis 45. Hinzu kommt eine starke Variabilität der umgebenden Landschaftselemente. Alle Versuchsstandorte sind seit mindestens 25 Jahren unter landwirtschaftlicher Nutzung.

## 2.3 Witterung

Der Witterungsverlauf war im Untersuchungszeitraum von 1995 bis 1998 sowohl in den Niederschlagsereignissen als auch im Temperaturverlauf sehr uneinheitlich. Prägend war der späte Frühjahrsbeginn 1996 gefolgt von einer Frühsommertro-

ckenheit mit nachfolgendem kühlen Sommer und Herbst.

Das Vegetationsjahr 1997 war nach einem späten Beginn eher warm und ging nach einem zeitigen Herbst und einem milden Winter in ein kühles, feuchtes Jahr 1998 über.

## 2.4 Versuchsanlage

In randomisierten Blockanlagen mit vierfacher Wiederholung der Prüfglieder wurden unter praxisnahen Bedingungen bei Nutzung von Präzisionstechnik des Feldversuchswesens für Aussaat, Düngung und Ernte in Versuchskomplexen folgende Prüffaktoren untersucht:

- Grünlandnutzung: Aussaatmischung; Standort, Nutzungsform, -dauer und -intensität
- Topinambur: Nutzungsdauer, Standort, Düngung
- alternative Druschfrüchte: Standort, Düngung (Ölfrüchte, Buchweizen und Lupine)
- Hanf: Sorte, Standort, Düngung
- Sonderkulturen: Standort, Düngung (Resede, Johanniskraut, Kamille)
- Wildobstarten: Standort, Arten und Sorten (Heidelbeere, Preiselbeere, Moosbeere, Edeleberesche, Holunder, Sanddorn).

**Tabelle 1: Bodenkennwerte der Versuchsstandorte (0-30 cm Tiefe), Stand 1996**

Ortslage	Kleinleipisch	Grünewalde	Zinnitz	Hindenberg
Kürzel	KL	GW	ZI	HI
Rekultivierungsbeginn	1975	1965	1976	1969
Vorfrucht	Gras	Gras	Luzerne	Getreide
Tagebau	Kleinleipisch	Koyne	Schlabendorf	Schlabendorf
U & T-Anteil [%] nach Wünsche et al. (1981):	11,3	20,8	12,1	29
Bodenart	xS	xSl	cSl	lS
Bodenform	Kipp-Kohlesand	Kipp-Kohleanlehmsand	Kipp-Kalkanlehmsand	Kipp-Lehmsand
nach AG Boden (1994):				
Bodenart	oj-xss	oj-xls	oj-css	oj-ls
Bodenform	Kipp-Kohlesand	Kipp-Kohlelehmsand	Kipp-Kalkreinsand	Kipp-Lehmsand
pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	6,1	5,5	6,9	7,4
KAK <sub>pot</sub> [mval/kg]	102	288	59	70
C <sub>t</sub> [%]	2,93	5,94	0,89	1,43
N <sub>t</sub> [%]	0,063	0,151	0,052	0,055
C/N	45	39	17	26
SO <sub>3</sub> [%]	0,06	0,11	0,03	0,03
P <sub>(DL)</sub> [mg/kg]	37	27	66	11
K <sub>(DL)</sub> [mg/kg]	66	36	44	117
Mg <sub>(PV)</sub> [mg/kg]	102	231	36	41





## 2.5 Analytik

Im Boden wurden die Kennwerte pH,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}_{(\text{PV})}$ ,  $\text{P}_{(\text{DL})}$ ,  $\text{K}_{(\text{DL})}$ ,  $\text{N}_{\text{min}}$ ,  $\text{C}_t$ ,  $\text{N}_t$ ,  $\text{S}_t$ , Textur und  $\text{KAK}_{\text{pot}}$  entsprechend HOFFMANN (1991) untersucht.

Zur Beurteilung der mikrobiellen Aktivität im Boden wurden die Basalatmung nach ANDERSON und DOMSCH (1978), die N-Mineralisation nach BECK (1983), die Phosphataseaktivität nach Tabatabai und Bremner (1969) und die Saccharaseaktivität nach Hoffmann und PALLAUF (1965) bestimmt.

Neben Bestandesbonituren erfolgten die Ertragsmittlungen sowie die Bestimmung der Trockensubstanz und von Gehalten an P, K, Mg, Ca, C, N und S in der Pflanzensubstanz ebenfalls nach Hoffmann (1991).

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten zu Vegetationsstruktur, Phänologie und Bestandeszusammensetzung in Masseprozent (KLAPP und STÄHLIN 1936) und skaliert nach BRAUN-BLANQUET (1964) unter Verwendung einer 13stufigen Skala. Die Untersuchung der Vertikalstruktur fand durch fotografische Auswertung statt. Blütenmorphologie (KUGLER 1970), Pollen- und Nektartrachtwert sind nach MAURIZIO und SCHAPER (1996) extra bewertet worden.

Art und Menge blütenbesuchender Insekten wurden mittels Gelbschalen, Malaisefallen und Lichtfang erfasst und die Transektmethode für Tagfalter angewandt. Die Untersuchung der Zusammensetzung und Dichte vorhandener Heuschreckengemeinschaften ist auf Grundlage von INGRISCH und KÖHLER (1998) erfolgt.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Verfahren alternativer und extensiver Landnutzung

##### 3.1.1 Extensives Grünland

Extensive Nutzungsformen von Dauergrünland auf sandigen bis anlehmigen Kippböden erbrachten jährliche Grasaufwüchse von max. 20 dt TM/ha. Durch Düngungsmaßnahmen konnte der Ertrag gesteigert und die Futterqualität verbessert werden.

Im wesentlichen bestimmen Rauhblasschwingel, Rotschwingel, Knaulgras und Deutsches Weidelgras langfristig die Bestandeszusammensetzung. Trifft der Rauhblasschwingel auf konkurrenz-

schwache Arten, setzt er sich nach etwa acht Jahren bestandesbestimmend durch.

Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 2 für die Ansaatmischung Knaulgras, Wel. Weidelgras und Weißklee dargestellt. In die Grasflächen wanderten nach drei Jahren 25 (ZI) bzw. 21 (GW) nicht in den Einsaatmischungen enthaltene Arten ein.

Bei gewünschter Dominanz von Rotschwingel muss dessen Anteil bereits in der Aussaatmischung bestimmend sein. Weidelgräser bilden einen langfristigen Masseanteil von 10 bis 20 % im Bestand (Abbildung 2). Bei reinen Knaulgrasansaaten auf Sanden blieben diese Bestände auf einem tertiären Sand langfristig (>20 Jahre) mit einem hohen Anteil von Knaulgras erhalten.

Die Einsaat von Weißklee bestimmt in einem Zeitraum bis zu sieben Jahren den Leguminosenanteil im Bestand. In Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen wird er danach vom Hasenpfortenklee verdrängt.

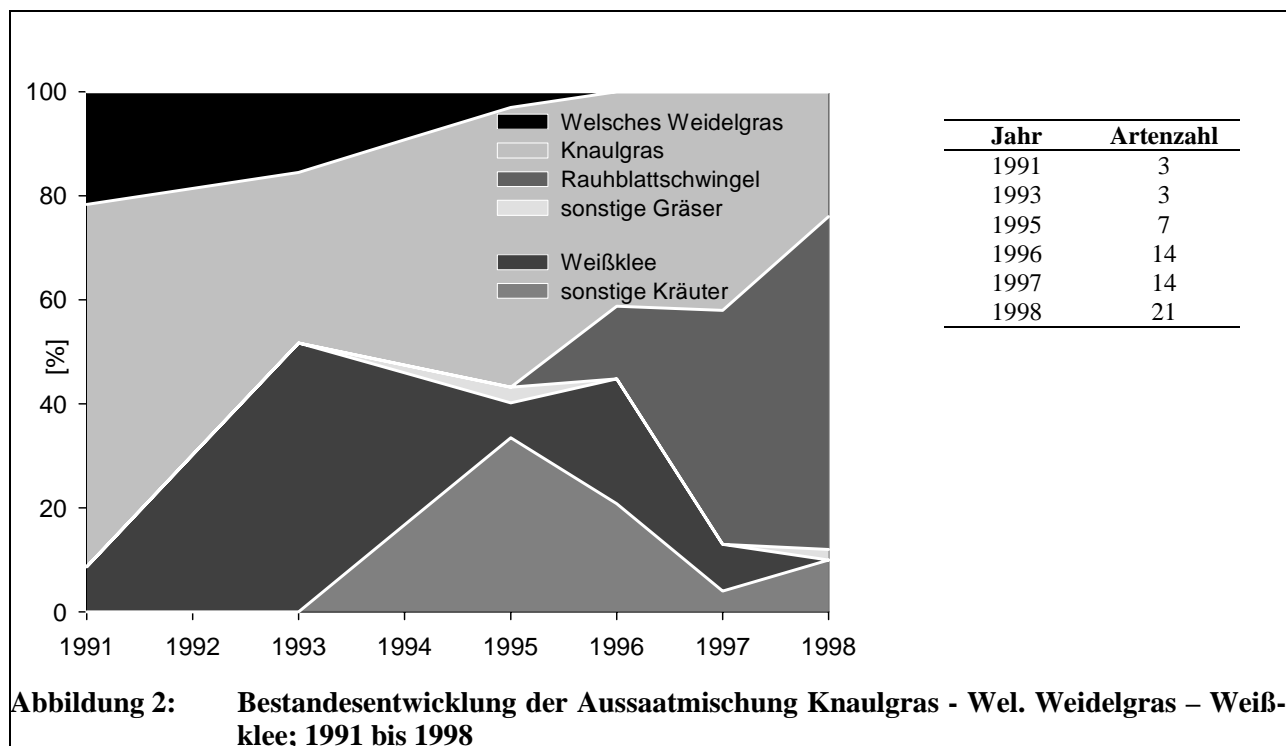
Eine 11-jährige extensive Mahdnutzung auf Kippkalkanlehmsand (ZI) förderte die Akkumulation organischer Primärschubstanz bei eingeschränkter Mineralisation. Der  $\text{C}_t$ -Gehalt erhöhte sich um 36 % und erreichte 1,0 % in den oberen 25 cm des Kippbodens. Der  $\text{N}_t$ -Gehalt stieg adäquat auf 0,042 %. Das C/N-Verhältnis von 24 bis 25 ist somit stabil geblieben.

#### Weide

Durch Schafbeweidung werden kleinräumige, offene Bodenbereiche geschaffen, die in engem Zusammenhang mit dem Einwandern von Kräutern stehen. Damit wird die Ausprägung und Intensität von jahreszeitlichen Blühaspekten deutlich beeinflusst. Eine wichtige Rolle spielt neben der Bodenverwendung auch die Diasporenverbreitung über den Schaftrieb (Zoochorie). Hinzu kommt eine differenzierte Bestandesentwicklung durch einen unterschiedlich starken Verbiss verschiedener Pflanzenarten. Der Einwanderungsdruck aus angrenzenden ruderalen Trockenfluren verursacht eine räumlich differenzierte Zusammensetzung der Flora (Tabelle 2).

Unter Weidebewirtschaftung lag die Einwanderungsintensität mit 28 Arten höher als bei einer Mahdnutzung. Zu ihnen gehörten hauptsächlich trittresistente bzw. störungszeitige kurzzeitig auftretende Arten.





**Abbildung 2:** Bestandesentwicklung der Aussaatmischung Knaulgras - Wel. Weidelgras – Weißklee; 1991 bis 1998

**Tabelle 2:** Vegetationsentwicklung der extensiven Schafweide; Arten mit überwiegend Zunahme (Angaben in Masse-%; 0 ist <1 %, Punkt ist nicht vorhanden)

Art		Beweidung									Mahd			0-Variante									
		Juni			Juli/Okt.			ad libitum			nach Juli			ohne Bewirtschaftung									
		1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998				
Rotschwengel	Plot 1	7	1	1	15	5	7	2	10	42	.	1	1	5	5	5	8	8	11	5	3	3	
<i>Festuca rubra</i>	Plot 2	15	17	36	5	55	48	1	7	10	.	0	1	2	3	3	6	2	2	10	5	5	
	Plot 3	2	43	48	.	8	25	.	.	.	.	.	.	7	7		9	12	15	2	2		
Kl. Habichtskraut	Plot 1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	1	.	.	.	.	0	0	
<i>Hieracium pilosella</i>	Plot 2	0	0	0	.	.	.	.	.	.	0	3	5	0	.	.	.	0	0	.	0	1	
	Plot 3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	1	1	1	1	.	.	.	.	0	0	
Florent. Habichtskraut	Plot 1	.	.	.	.	.	.	0	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<i>Hieracium piloselloides</i>	Plot 2	0	0	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	2	.	.	.	.	.	.	
	Plot 3	.	.	.	.	.	.	0	1	3	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	0
Spitz-Wegerich	Plot 1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	1	.	.	.	.	.	.	
<i>Plantago lanceolata</i>	Plot 2	0	4	8	.	.	.	0	0	0	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	
	Plot 3	.	.	.	.	.	.	0	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Silber-Fingerkraut	Plot 1	0	0	1	.	.	.	.	.	.	0	0	.	.	1	1	.	0	1	0	0	0	
<i>Potentilla argentea</i>	Plot 2	1	8	11	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	3	2	.	.	.	
	Plot 3	0	0	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3	



### 3.1.2 Mehrjähriger Feldfutterbau

Für den mehrjährigen Feldfutterbau auf Kippböden hat sich nach GUNSCHERA und KUNKEL (1997) eine Luzerne-Gras-Mischung bewährt. Durch die Luzerne können tiefere Bodenregionen erschlossen und damit eine größere Nutzungseffektivität des Bodenwasserspeichers erreicht werden. Gleichzeitig kommt es zu einer besseren Lockerung verdichteter Untergründe, größeren Erhöhung der organischen Substanz im Boden und zur stärkeren Förderung des Bodenlebens als bei reinen Grasbeständen.

So konnten durch eine mehrjährige Nutzung von Luzerne oder Luzernegras auf 20 bis 30 Jahre alten Rekultivierungsböden wichtige Bodeneigenschaften für den nachfolgenden Anbau von Marktfrüchten verbessert oder zunächst stabilisiert werden.

Im Verlauf von drei Jahren nahm auf den Untersuchungsflächen der  $C_1$ -Gehalt im Boden um 7 bis 25 % zu. Der Stickstoffvorrat im Boden hat sich im selben Zeitraum um 17 bis 35 % erhöht. Das C/N-Verhältnis wurde somit enger. Die im Boden akkumulierte organische Substanz wirkt zunehmend als N-Pool.

Besonders beim Feldfutteranbau auf Kippenflächen ist der Phosphor- und Kaliumdüngung eine erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Entsprechend der in Bodenanalysen festgestellten Versorgungsstufen sind nach GUNSCHERA und KUNKEL (1997) die Düngungsgaben über den Entzug durch das abgefahrene Erntegut hinaus zu erhöhen.

Bei einer dreischnittigen Nutzung von Luzerne und Luzernegras sind Kaliumentzüge bis zu 250 kg K/ha auf Kippkohleanlehmsand (GW) und bis 200 kg K/ha auf Kippkalkanlehmsand (ZI) auszugleichen. Die dafür erforderlichen Düngungsgaben sind analog der N-Düngung auf mehrere Gaben aufzuteilen. P-Entzüge von über 25 kg P/ha verlangen eine P-Gabe von mindestens 40 bis 50 kg/ha, um den P-Gehalt im Boden langfristig auf einem mittleren Niveau zu halten. Auf dem Kippkalkanlehmsand sollte zum Fruchtfolgeglied Feldfutter eine Mg-Gabe eingeordnet werden.

Auf Kippkohleanlehmsand ist entsprechend dem Versauerungsgrad eine wiederholte Ergänzungsalkalierung angeraten.

N-Gaben von 60 kg N/ha bei Luzernebeständen und bis zu 180 kg N/ha zu Luzernegrasbeständen genü-

gen für die Erzeugung hoher Futtermengen. Im Aufwuchs am Standort Grünewalde konnten bis zu 287 kg N/ha im Jahr gefunden werden und belegen damit das hohe Potenzial in der Beziehung von Boden, Mykorrhizza und Pflanze. Davon unberücksichtigt sind die in Wurzel- und Ernterückständen verbliebenen N-Mengen, welche nachhaltig zu einem Anheben des  $N_{org}$ -Pools im Boden geführt haben.

Auf allen untersuchten Kippstandorten erwiesen sich Luzerneansaaten mindestens bis zum dritten Nutzungsjahr als besonders wuchsstark und ertragsstabil. Weideluzerne kann ebenbürtig eingesetzt werden. Zumischungen von 1 bis 2 Graspartnern mit Aussaatmengen bis 2 kg/ha erhöhen den Ertrag im Ansaatjahr und verbessern die Futterqualität und verlängern die Nutzungsdauer.

Auf Kippkohleanlehmsand (GW) können im dreijährigen Luzerneanbau jährliche Erträge von 100 dt TM/ha erzielt werden. Durch eine stärkere Betonung der Graskomponente verringert sich der Ertrag um 10 bis 20 dt TM/ha im Jahr. Intensive Weidenutzung führte gleichfalls zu einer Ertragsminderung bis zu 30 % gegenüber der Mahdnutzung. Auf Kippkalkanlehmsand (ZI) liegt der jährliche Ertrag bei 80 bis 85 dt TM/ha.

### Überjähriger Feldfutterbau

Stehen für den Feldgrasanbau in der Fruchtfolge nur 1 bis 2 Jahre zur Verfügung, stellt die Aussaat von überjährigem Welschen Weidelgras eine gute Alternative dar. Im ersten Nutzungsjahr wurden Erträge von 123 dt TM/ha auf Kippkohleanlehmsand und von 87 dt TM/ha auf Kippkalkanlehmsand erzielt, die eine wirtschaftliche Basis für die Tierfütterung in Mischbetrieben darstellen.

### Nachwachsende Rohstoffe

In Anbauversuchen zu alternativen Marktfrüchten mit Industrie-, Arznei-, Färber- und Nahrungspflanzen erfolgt die Bewertung der Anbaueignung aus Sicht des Ertrages und der Bodenentwicklung. Die untersuchten Kulturen sind in Tabelle 3 dargestellt. Bezugsbasis für eine Bewertung der Anbauwürdigkeit der untersuchten Kulturarten sind die bisherigen Fruchtfolgen hinsichtlich Ertragsleistung und Bodenentwicklung sowie deren Umwelteinfluss. Berücksichtigt wurden die besonderen Standorteigenschaften auf den Lausitzer Kippböden, so dass Kulturen mit niedrigen Nährstoff- und Wasseran-

sprüchen und einer guten Trockenheitstoleranz in die engere Wahl kamen. Ihre Einordnung in die Fruchtfolge verlangt besondere ackerbauliche Maßnahmen bei der Rekultivierung und eine neue Fruchtfolgegestaltung mit reduziertem Futterflächenanteil. Die langfristigen Rekultivierungsziele hinsichtlich Gefügebildung, Strukturverhältnisse, Nährstoffverfügbarkeit und Humusentwicklung werden dabei uneingeschränkt verfolgt.

**Tabelle 3: Übersicht der angebauten alternativen Kulturen**

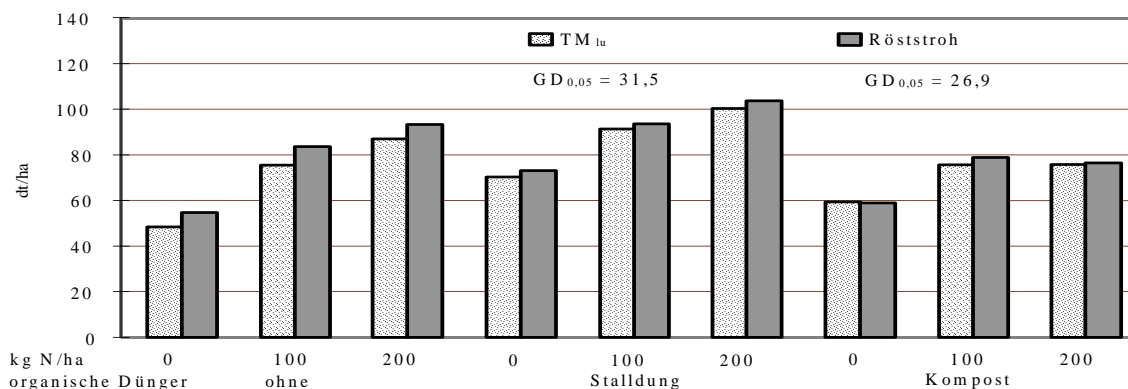
Rohstoff	Pflanzen
Öl	Öllein, Leindotter, Krambe, Saflor, Nachtkerze
Eiweiß	Topinambur, Buchweizen, Lupine, Erbse, Mais
Faser	Hanf
Farbe	Reseda, Saflor,
Pharmaka	Bärentraube, Dill, Echte Goldrute, Johanniskraut, Kamille, Kanadische Goldrute, Kümmel, Majoran, Mariendistel, Salbei, Schafgabe, Tymian, Wermut, Ysop

Auf den anlehmgigen Kippstandorten mit einem niedrigen Ertragspotenzial kommt der kosteneffizienten Produktion eine hohe Bedeutung zu. Die richtige Bemessung der Düngungshöhe in Abhängigkeit von Bodenwerten und Entzug kann die variablen Kosten spürbar beeinflussen.

Als Fazit der Sorten- und Düngungsversuche wird empfohlen, P- und K-Gehalte im Boden bei intensiver Marktfruchtproduktion eher in kürzeren Zeiträumen als im vorgeschriebenen Fünfjahresrhythmus zu untersuchen.

Die Stabilisierung der optimalen Nährstoffgehalte erfordert auch nach 20- bis 30jähriger Rekultivierungsphase höhere Aufwendungen als auf gewachsenen Standorten. Ohne Düngung sinken die P- und K-Gehalte im Boden schnell auf ein sehr niedriges Niveau von 30 bis 50 mg/kg Boden ab. Die substratspezifischen Bedingungen der Kippböden verlangen eine jährliche, am Ertragspotenzial bemessene Düngung der wichtigsten Nährstoffe. Dabei ist der Nährstoffbedarf für die Wurzelbildung und Ernterückstände zusätzlich zu berücksichtigen.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen bei der Bewirtschaftung von Kippböden sollte generell zum Ausgleich des Stickstoffentzugs ein Zuschlag von 30 % und bei Phosphor und Kalium von 50 % erfolgen. Eine Bemessung der Phosphor- und Kaliumgaben am Fruchtfolgebedarf führt im Düngungsjahr zu hohen Überschüssen. Eine P-Vorratsdüngung auf tertiären Anlehmsanden (GW) verbessert die Verfügbarkeit des Nährstoffs nicht wesentlich, da Überschüsse langsam reversibel festgelegt werden. Bei einer K-Vorratsdüngung kommt es auf quartären Anlehmsanden (ZI) zu erhöhten Auswaschungsverlusten aufgrund der geringen Sorptionskapazitäten. Eine Bestimmung des  $N_{\min}$ -Gehalts im Boden wird zu allen Marktfrüchten auf Kippenflächen empfohlen. Damit kann beurteilt werden, welche Stickstoffrestmengen von der Vorfrucht für die Folgefrucht zur Verfügung stehen. Die N-Düngung ist unbedingt dem Stickstoffentzug der Gesamtpflanze anzupassen. Besonders auf den leichten quartären Standorten empfiehlt sich zur Vermeidung von N-Auswaschung aus dem Wurzelraum eine Unterteilung bei einer N-Düngung von mehr als 60 kg/ha in mehrere Gaben (GUNSCHERA, 1998b).



**Abbildung 3: Trockenmasse- (TMIu) und Röststrohertrag (dt/ha) von Hanf auf dem Standort Zinnitz (cSI) bei verschiedenen Düngungsmaßnahmen, 1996-1998**



**Tabelle 4: Relative jährliche Ertragsschwankungen von Hanfsorten im Verhältnis zum Jahresmittelwert auf den Standorten Grünewalde (xSI), Hindenberg (IS) und Zinnitz (cSI), 1996-98; [rel. %]**

Standort	Sorte	1996			1997			1998		
		FM	Rst**	TM	FM	Rst	TM	FM	Rst	TM
xSI	Fedora	106	109	105	105	113	118	89	79	77
	Felina	125	119	131	91	103	98	84	78	70
	Futura	108	108	115	k.A.*	k.A.	k.A.	92	92	85
IS	Fedora	74	70	81	139	138	153	88	93	66
	Felina	98	108	101	137	133	161	65	59	37
	Futura	133	148	157	k.A.	k.A.	k.A.	67	52	43
cSI	Fedora	111	121	146	82	93	89	107	86	64
	Felina	121	128	160	83	98	81	96	74	59
	Futura	108	127	128	k.A.	k.A.	k.A.	92	73	72
MW	xSI	113	112	117	98	105	105	89	83	77
	IS	102	109	113	125	124	138	73	68	49
	cSI	113	125	145	88	97	90	98	78	65
MW	Fedora	97	100	111	108	114	120	94	86	69
	Felina	115	118	131	104	111	114	82	70	56
	Futura	116	128	133	k.A.	k.A.	k.A.	84	72	67

\* k.A. = keine Angaben      \*\*Rst = Röststroh

Der Anbau von alternativen Öl- und Faserpflanzen, aber auch von Buchweizen und Lupinen hatte keinen negativen Einfluss auf die Anreicherung von organischer Substanz im Boden. Im Gegensatz zum zweijährigen Feldgrasanbau stieg bei diesen Kulturen der Kohlenstoffgehalt durch die Zufuhr von Wurzel- und Ernterückständen kurzfristig an. Das C/N-Verhältnis hat sich tendenziell auf allen Standorten weiter verengt. Es wurde ein Anstieg der N<sub>t</sub>-Gehalte auf der quartären Fläche (ZI) gemessen, während der C<sub>t</sub>-Gehalt absank.

Im dreijährigen Mittel von 1996 bis 1998 war mit Ausnahme von Krambe der Ertrag auf dem Kippkohleanlehmsand (GW) höher als auf dem Kippkalkanlehmsand (ZI). Bei Topinambur, Mais und Hanf sind die Erträge auf beiden Standorten bei angepasster Düngung gleichwertig.

Den tertiären Standort (GW) zeichnen Durchschnittserträge von 34 dt Getreide/ha und 90 dt Luzernegras/ha aus. Beachtenswert sind die Erträge von Öllein, Saflor, Buchweizen, Lupine, Hanf, Topinambur, Resede, Johanniskraut. Sie entsprechen in der Regel den Erträgen auf gewachsenen Standorten mit gleichwertigen oder besseren Substrateigenschaften. Damit stellen alle diese Kulturen eine praktische Alternative für den Feldfruchtanbau auf Kippenflächen dar (WÖHLER et al. 2000).

Auf dem quartären Standort (ZI) wurden im dreijährigen Mittel Winterroggenerträge von 29 dt/ha

und Sommergerstenerträge von 20 dt/ha erzielt. Das zeigt den Vorzug einer Herbstsaat zur Nutzung der besseren Feuchtverhältnisse im Herbst und Frühjahr für das vegetative Wachstum.

Im einzelnen lassen sich im Anbauversuch fünf verschiedene Verwertungsrichtungen unterscheiden (Tabelle 3). Dies sind Öl-, Faser-, Eiweiß-, Färber- und Faserpflanzen, wobei einige dieser Pflanzen mehrere Verwertungsrichtungen aufweisen können, wie z.B. Saflor (Öl, Farbe) oder Hanf (Öl, Faser, Pharmaka).

### Faserpflanzen

Als Faserpflanze wurde Hanf untersucht, für den im Untersuchungsgebiet Aufbereitungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten gegeben sind.

Die Untersuchungen umfassten Sorten- und Stickstoffsteigerungsversuche. Maximalerträge von bis zu 13 t Röststroh/ha wurden mit 30 t Stalldung/ha (ca. 100 bis 150 kg N/ha anrechenbar) und 200 kg N-Mineraldünger erzielt (Abbildung 3).

In Tabelle 4 sind die relativen Erträge dreier Sorten im Mittel aller Düngungsvarianten auf drei Standorten dargestellt. Zu erkennen ist die relative Vorzüglichkeit der Sorte Felina auf anlehmigen (GW und ZI) und der Sorte Futura auf lehmigen Standorten (HI).



Im Vergleich zu Erträgen von gewachsenen Standorten der Region (4 bis 6 t Röststroh/ha) sind die hier erzielten Röststroherträge auch unter Berücksichtigung der Versuchsbedingungen als besser zu beurteilen.

Aus den Nährstoffentzügen von Hanf in den N-Steigerungsversuchen lassen sich optimale Gaben von 130 kg N/ha ohne und von 80 kg N/ha und Stalldung ableiten. Höhere N-Gaben sind aus ökologischen Gründen nicht anzuraten.

Für K errechnen sich Gaben von 100 kg/ha ohne respektive 125 kg/ha mit Stalldunggabe und für P ca. 20 kg/ha.

Werden die Düngungsvarianten gegenübergestellt, wird die deutliche Ertragssteigerung durch Stalldung erkennbar. Nur ein Teil der Ertragssteigerung ist auf die zusätzliche organische N-Gabe zurückzuführen (GUNSCHERA et al. 2000).

## Ölpflanzen

Die Nutzungsmöglichkeiten der pflanzlichen Öle reicht vom diätetischen Lebensmittel über chemisches Ausgangsmaterial und Formulierungsmittel hin zum Schmier- bzw. Kraftstoff. Entscheidend für die Nutzung ist das Fettsäuremuster der Öle, die Reinheit und die Gleichförmigkeit des Produkts.

Im Projekt waren in erster Linie die Anbaumöglichkeiten und die Bestandesführung zu untersuchen. In der Umsetzung der gewonnenen Rohstoffe in verwertbare Stoffe besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Öllein wird zunehmend auf Kippböden angebaut. Dabei genießen Kippkohleanlehmsande (GW) eine relative Vorzüglichkeit gegenüber Kippkalkanlehmsanden (ZI) und Kipplehmsanden (HI).

Im Mittel der drei Anbaujahre bildete sich auf den tertiären Standorten (ZI und HI) bei einer Aussaat von 400 Körnern/m<sup>2</sup> eine Bestandesdichte von 240 Pfl./m<sup>2</sup> und auf den quartären (GW) von 175 Pfl./m<sup>2</sup> heraus. Der Ertrag fiel in Abhängigkeit der Düngung entsprechend den Angaben in Tabelle 5 auf den Kippkohleanlehmsand stets höher als auf den Kippkalkanlehmsand und dem Kipplehmsand aus. Bei dem Strohertrag verhält es sich in umgekehrter Weise.

Im Vergleich der Düngemittel weisen die organischen Dünger eine bessere Wirkung als die mineralischen auf. Stalldung bracht den größten Effekt auf

dem Kippkohleanlehmsand (GW) mit einem Spitzenertrag von 23 dt Korn/ha und im Mittel von etwa 15 dt/ha. Auf den anderen Standorten wurden im Mittel etwa 10 dt Korn/ha geerntet. Im Vergleich zu gewachsenen Böden (D3) der Region konnten auf Kippkohleanlehmsand vergleichbare Erträge und bei den anderen Standorten Erträge wie auf den leichteren Sandstandorten erzielt werden.

Leindotter ist eine stark von der Witterung abhängige Kultur. Die Bonitur des Bestands ergab bei einer Aussaat von 550 Körnern/m<sup>2</sup> Dichten zwischen 86 und 560 Pfl./m<sup>2</sup>. In der Regel sollten mindestens 200 Pfl./m<sup>2</sup> bestandesbildend sein, um einen relativ guten Ertrag zu ermöglichen.

Krambe brachte mit durchschnittlich 14 dt Korn und 10 dt Stroh/ha auf kalkhaltigen Kippböden (ZI und HI) bessere Leistungen als auf saurem Boden (GW) mit 9 dt Korn und 8 dt Stroh/ha. Für optimale Ergebnisse sollte der Bestand 170 bis 200 Pflanzen/m<sup>2</sup> etablieren.

**Tabelle 5: Korn- und Strohertrag [dt TM/ha] von Öllein auf den Standorten Grünwalde (xSl) und Zinnitz (cSl), im Mittel der Prüf-stufen N-Gabe und organische Düngung; 1996-98, n=36**

	Korn- ertrag xSl	dt/ha cSl	Stroh- ertrag xSl	dt /ha cSl
<b>organische Düngung</b>				
ohne	12,6	7,5	8,0	11,3
Stalldung	14,8	6,5	10,0	11,7
Kompost	13,3	8,5	9,4	13,0
GD <sub>0,05</sub>	n.s.	1,6	n.s.	n.s.
<b>N-Gabe</b>				
0 kg N/ha	12,4	8,2	7,1	10,6
60 kg N/ha	13,9	7,6	9,5	12,4
120 kg N/ha	14,5	6,7	10,8	13,0
GD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>Gesamtmittel</b>	13,6	7,5	9,1	12,0

## Eiweißpflanzen

Im Forschungsvorhaben wurden Lupine und Topinambur untersucht. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Topinamburanbaus findet sich bei GUNSCHERA und GROßMANN (1997).

Der Anbau von Lupinen dient nicht nur zur Gewinnung von Futter, sondern auch zur Steigerung des Stickstoffvorrats im Boden. Startgaben sollten 30



kg N/ha nicht übersteigen. Die Erträge lagen im Mittel bei 13 dt Korn/ha und 14 dt Stroh/ha.

### Färberpflanzen

Viele Pflanzen lassen sich zum Färben von Naturmaterialien verwenden. Derzeit werden häufig rote und braune Farben z.B. aus Roter Beete gewonnen. Die Farbpalette der Naturfarben ist allerdings sehr viel größer (vgl. ROTH 1992). Zur Farbstoffgewinnung eignen sich beispielsweise auch Reseda und Saflor sowie Holunder oder Johanniskraut.

Für Reseda ist eine erhöhte Aussaatmenge anzuraten. Die Erträge lagen im Mittel der Jahre bei 17 dt/ha auf Kippkohleanlehmsand (GW) und um 14 dt/ha auf Kippkalkanlehmsand (ZI). Aus dem Erntegut konnten 1,8 kg Farbstoffe/dt gewonnen werden. Dabei beeinflusste der  $N_r$ -Gehalt in den Pflanzen nicht die Farbausbeute, wie es von WURL (1997) beschrieben wurde.

Saflor kann Erträge bis 15 dt Korn/ha und um 15 dt Stroh/ha erbringen. Der Kippkalkanlehmsand (ZI) erwies sich im Mittel der Jahre als wenig ertragreich. Hier wurden lediglich ein Drittel der Erträge im Vergleich zu den anderen Standorten (GW und HI) gefunden.

### Pharmapflanzen

Die Auswahl der angebauten Pharmapflanzen ist sehr weit getroffen worden. Als Beispiel soll hier Johanniskraut dargestellt werden.

Der Anbau von Johanniskraut auf Kippböden mit Erträgen von 25 bis 90 dt/ha lässt sich mit dem Anbau auf gewachsenen Böden vergleichen (MÜLLER und PANK, 1992). Die Rentabilität wird ab einem Ertrag von 40 dt/ha im zweijährigen Anbau erreicht. Im Vergleich zwischen Aussaat und Pflanzung werden um 25 % niedrigere Erträge für die Aussaatvariante ermittelt. Beim Aussaatverfahren kann es leicht zum Ausfall der Kultur durch Witterungseinflüsse und Unkrautbefall kommen.

Problematisch erwies sich die hohe Anfälligkeit des Bestands gegenüber der Johanniskrautwelke. Weniger relevant ist die Eigenschaft des Johanniskrauts gegenüber der Cd-Akkumulation. Die gefundenen Gehalte in den Pflanzen lagen deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwerts von 0,5 mg/kg TM.

### 3.1.3 Wildobst

Die im Projekt untersuchten Wildobstarten waren Preiselbeere, Moosbeere, Holunderbeere, Edeleberesche, Heidelbeere, Brombeere und Sanddorn.

Untersucht wurden neben Standort- und Sortenprüfung verschiedene Anbauverfahren einzelner Kulturen. Dazu gehörten neben der Erarbeitung von allgemeinen Parametern wie z.B. der Düngermengenoptimierungen auch Untersuchungen zum Plantagenaufbau und unterschiedlichen Pflanzverfahren. So wurden für die Kulturheidelbeere Dammkulturen mit Furchenkulturen in Kombination mit und ohne Mulchstreifen getestet.

Für den Wildobstanbau auf anlehmigen und lehmigen Kippenböden (GW, ZI, HI) sind folgende Kriterien zur Artenwahl und Ertragsabschätzung maßgebend:

- Wasserversorgung
- Bodenreaktion
- Humusgehalt

#### Wasserversorgung

In Abhängigkeit von der Art werden Fruchtbesatz und Fruchtgröße in mehr oder weniger starkem Maße von der zur Verfügung stehenden Bodenfeuchte oder auch Luftfeuchtigkeit bestimmt. Da besonders bei anlehmigen Kippenböden das Wasserspeichervermögen gering ist, bestimmt der Jahresniederschlag und besonders der Niederschlag von Mai bis August den Fruchtertrag. Ausgleichende Maßnahmen sind Zusatzbewässerung und Mulchen. Die Bewässerungstechnologie ist auf die Bedürfnisse der einzelnen Arten auszurichten. Neben hohen Anschaffungskosten für die Beregnungsanlagen entstehen Wasser- und Wartungskosten. Dem gegenüber fällt das Mulchen je nach verwendetem Mulchmaterial und Menge kostengünstiger aus. Neben der verbesserten Wasserversorgung durch Erhalt der Bodenfeuchte (Verdunstungsschutz), werden das Bodenmikroklima und die Bodenstruktur im obersten Bodenhorizont deutlich verbessert. Durch die Anlage von Klee grasstreifen zwischen den Pflanzreihen steht bei ca. 4 Schnitten im Jahr eine ausreichende Menge an Mulchmaterial für die Abdeckung der Pflanzreihen zur Verfügung. Damit wird gleichzeitig effektiv der Unkrautwuchs eingedämmt. Bei flächendeckenden Anlagen wie Preiselbeere und Moosbeere wird durch das regelmäßige Ausbringen einer 3 bis 4 cm starken Mulchschicht in den ersten Jahren nach der Pflanzung die gleiche Wirkung erreicht.



**Tabelle 6: Standorteignung und Ertragsplanung verschiedener Wildobstkulturen**

Wildobstart	Standort			Ertrag im 2. Standjahr [kg/Pfl.]	Vollertrag*		Nutzungsdauer [a]
	xSI	cSI	IS		Standjahr	[kg/Pfl.]	
Holunder	x	x	x	4 - 9	4	9 - 12	20
Edel-Eberesche	x	x	x	3 - 4	6	25 - 40	40-60
Sanddorn		x	x	n.b.	6	7 - 16	30-50
Heidelbeere	x			0,4 - 0,9	6	4	50-100
Preiselbeere	x			1,2**	6	n.b.	50
Moosbeere	x			0,8**	5	0,3-0,9	60-100

\* nach Literaturangaben (s. Kap. 4.3.1 - 4.3.5)

\*\* kg/m<sup>2</sup> n.b. nicht bekannt

### Bodenreaktion

Für den Anbau von Heidekulturen (Heidelbeere, Preiselbeere, Moosbeere) und einiger Kräuter (z.B. Thymian) sind grundsätzlich nur die tertiären Kippenböden (GW) mit schwach saurer bis saurer Bodenreaktion geeignet, die aufgrund fehlenden Kalks und zur Versauerung neigenden Schwefelverbindungen den sauren, humusreichen Standort bieten, den diese Kulturen bevorzugen (HEEGER, 1956).

Dagegen ist für eine ertragreiche Standortetablierung von Holunder und Sanddorn eine ausreichende Kalkversorgung notwendig. Wird der Anbau dieser Arten auf tertiären Flächen beabsichtigt, z.B. als Windschutz und oder Verbisschutz für Heidelbeerpflanzungen oder als Solitäranlagen ist eine meliorative Kalkgabe in vielen Fällen angezeigt. Erhaltungskalkungen sind auf diesen Standorten regelmäßig alle 3 bis 4 Jahre vorzunehmen.

### Humusgehalt

Heidelbeeren und Moosbeeren benötigen für eine langfristig stabile Anpflanzung Substrate mit einem hohen Gehalt an Humus. Auch auf kohlereichen Standorten erwies sich die Pflanzung der Heidelbeeren in einem aus Sägespänen und Erde gemischten Damm als günstig. Sie erleichtern die Schaffung des notwendigen physiologisch sauren Wurzelraumes.

**Tabelle 7: Erntetermine der Wildobstarten**

Kulturen	Erntetermine
Heidelbeeren	Juli - August
Edeleberesche	Ende August - Anfang September
Preiselbeere	Ende Juli; September-Oktober
Holunder	September
Moosbeere	Oktober
Sanddorn	September - November

Moosbeeren sind Arten der Hochmoore und saurer Sandstandorte (SCHÖLLMANN, 2001). Die Mulchung verbessert die Anbaubedingungen und gleicht Standortnachteile aus.

Mit einer Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz sind vor allem verbesserte Nährstoff- und Wasserspeicherung verbunden, sowie die Förderung einer hohen biologischen Bodenaktivität.

Beim erwerbsmäßigen Anbau von Heidelbeeren, Preiselbeeren und Moosbeeren sollten die Anlagen mit einem Saum aus höherwüchsigen Wildobstarten, wie sie hier beschrieben wurden, eingefasst werden. Dadurch werden großflächige Monokulturen vermieden und nach FRIEDRICH und RODE (1996) auch wirtschaftliche Effekte erzielt wie z.B.:

- Verbesserung des Mikroklimas; besonders für den Heidelbeeranbau sind Windschutzpflanzungen obligatorisch. Ziel ist der Verdunstungsschutz, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Vermeidung von Blüten- und Früchtebruch.
- Erweiterung der Produktpalette. Damit erhöht sich die Attraktivität bei der Direktvermarktung des Fruchtegutes und verlängert sich die Erntesaison.

Der Erntezeitraum der in diesem Projekt vorgestellten Wildobstarten liegt in Abhängigkeit von der Sortenwahl in den in Tabelle 7 dargestellten Zeiträumen.

Tabelle 6 fasst die Standorteignung der untersuchten Wildobstarten zusammen. Berücksichtigt man die Anforderungen der Kulturen an Standort, Nährstoffbedarf und Wasserversorgung können Erträge analog von erwerbsmäßigen Anlagen auf geeigneten gewachsenen Böden, realisiert werden. Grundsätzlich sollte bei allen Planungen der hohe Arbeitskräfteeaufwand für Unkrautbekämpfung und Ernte neben dem hohen Investitionsbedarf berücksichtig



sichtigt werden. Auch wenn keine langjährigen Erfahrungen vorhanden sind, stützen die bisher erzielten Erträge die berechtigte Hoffnung, dass ein Wildobstanbau auf anlehmgigen Kippenböden (GW und ZI) eine ökonomisch und ökologisch anspruchsvolle Lösung darstellt.

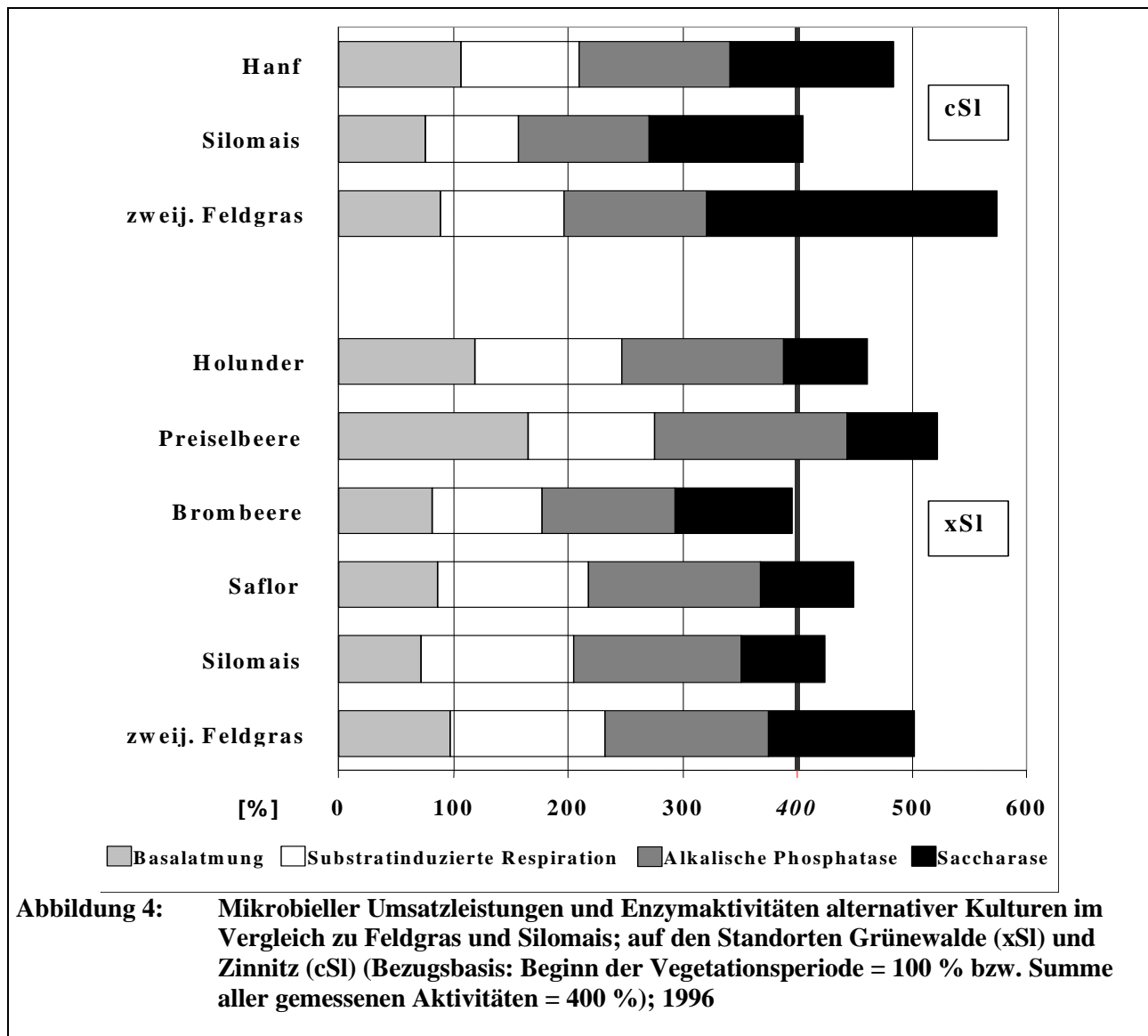
### 3.2 Bodenbiologische Begleituntersuchungen

Untersuchungen der Bodenmikroflora haben gezeigt, dass der Anbau der geprüften alternativen Kulturen und Wildobstanbau auf Kippenflächen innerhalb des Versuchszeitraumes keine ungünstigen Auswirkungen auf die Mikroflora hatte (Abbildung 4).

Ursachen einzelner Aktivitätssteigerungen konnten nicht eindeutig lokalisiert werden. Die unter Hanf nachgewiesene erhöhte mikrobiologische Bodenak-

tivität könnten auf eine kulturbedingte Förderung zurückgeführt werden. Aktivitätssteigerungen bei Preisel- und Moosbeeren sind eventuell auf Mykorrhizaeffekte zurückzuführen.

Eine Förderung bodenmikrobieller Umsatzleistungen und Enzymaktivitäten wurde unter zweijährigem Feldgras festgestellt. Eine nachhaltige Förderung bodenmikrobieller Aktivitäten, die Etablierung einer stabilen Bodenmikroflora und damit einer dauerhaften Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit auf jüngeren rekultivierten Flächen kann am ehesten über den Anbau von Kulturen erreicht werden, die zu einer starken Durchwurzelung des Oberbodens bei regelmäßigem Eintrag von organischem Material in den Boden führen (mehrjähriges Feldgras, Dauerkulturen mit Laubabfall bzw. regelmäßiger Mulchung).



**Abbildung 4:** Mikrobieller Umsatzleistungen und Enzymaktivitäten alternativer Kulturen im Vergleich zu Feldgras und Silomais; auf den Standorten Grünewalde (xSI) und Zinnitz (cSI) (Bezugsbasis: Beginn der Vegetationsperiode = 100 % bzw. Summe aller gemessenen Aktivitäten = 400 %); 1996





### 3.2 Ökologische Begleituntersuchungen

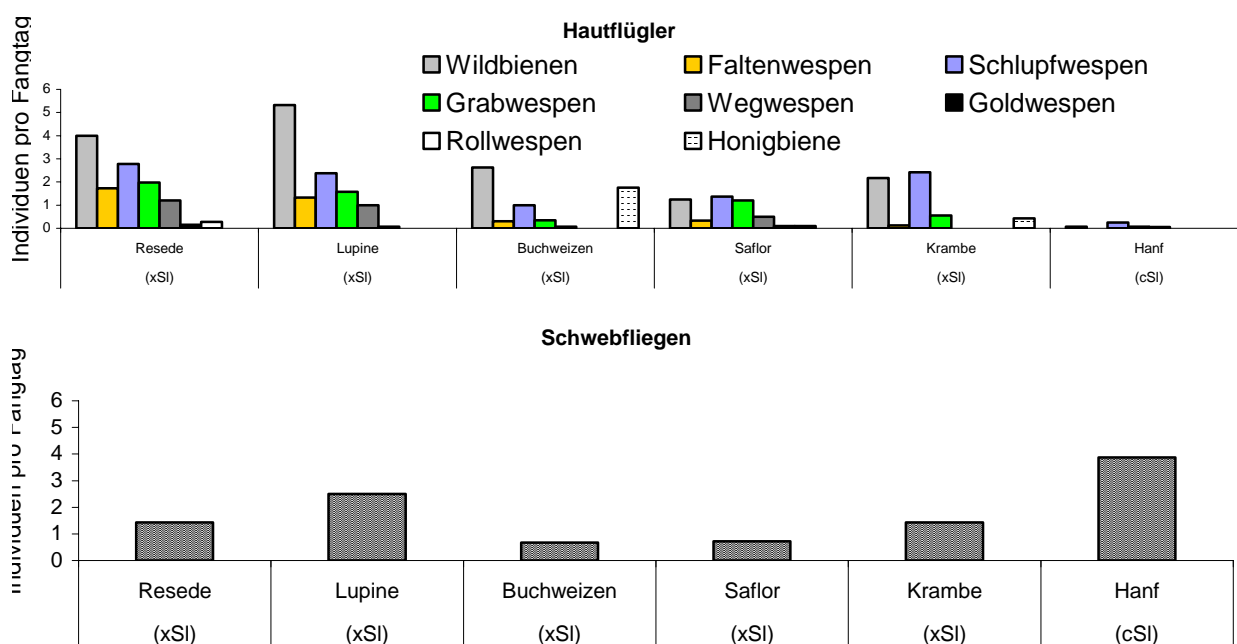
Der Wert von landwirtschaftlichen Kulturen für blütenbesuchende Insekten wird bestimmt von Blütenmorphologie, Blütendichte, Blühdauer und -häufigkeit sowie von dem Pollen- und Nektartrachtwert der Blüten. Rotationsgrasland bietet in den meisten Fällen keine ausreichenden Nektar- und Pollentrachtwerte. Dagegen weist der Nutzungstyp extensives Dauergrasland ein hohes Potential zur Etablierung von Populationen blütenbesuchender Insekten auf. Dazu trägt besonders der langfristig mögliche Umbau zu standorttypischen Beständen bei. Aus faunistischer Sicht sollte bei einer Mahdnutzung der Schnitttermin von Ende Mai bis Ende Juni gestaffelt werden, um Unterbrechungen im Blütenangebot zu minimieren (LAND-ECK et al., 2000).

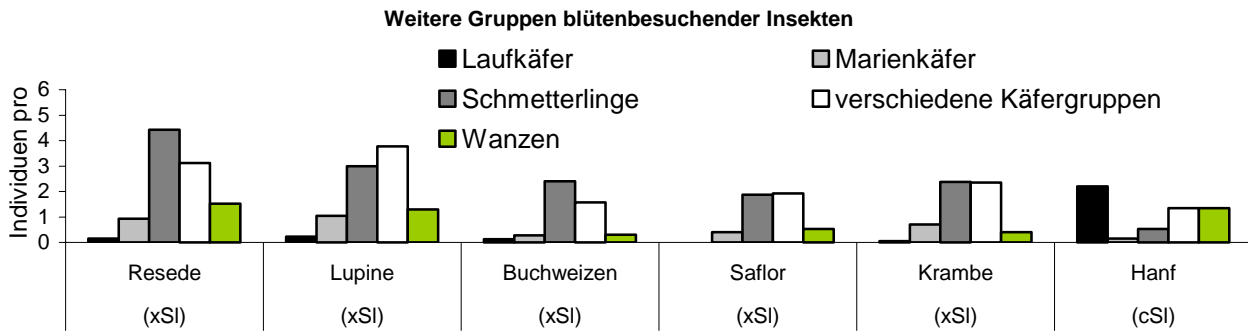
Auf großräumigen Weideflächen mit einem artenarmen Bestand finden sich nur geringe Individuendichten. Durch eine engmaschige Flächenstrukturierung besonders von extensiv genutzten armen Sandstandorten mittels Gehölzstreifen und Trockensäumen kann eine breitere Diversität erreicht werden. Die Beweidung hat nur einen kurzzeitigen Einfluss auf die Dichte von Heuschreckenpopulationen. Insgesamt wurden sieben Kurzfühlerschreckenarten und sechs Langfühlerschreckenarten, darunter auch gefährdete Arten, nachgewiesen.

Da die Beweidung großflächig und damit relativ heterogen erfolgte, werden diese Dichteänderungen durch Verschiebungen in der Verteilung der Individuen

(Aggregation in wenig beweideten Bereichen) verursacht. Dieser Effekt ist bei Beweidung im Mai bis Juni kurzzeitig. Nach dem Weidegang stellt sich die ursprüngliche Verteilung wieder ein. Sehr späte Weidetermine führen dagegen zu einer nachhaltigen Veränderung der Individuenverteilung und -dichte, was aber keinen Einfluss auf die Population ausübt, da die Eiablage bereits erfolgt ist.

Der Trachtwert von alternativen Kulturen für blütenbesuchende Insekten stellt sich sehr differenziert dar. Die höchsten Aktivitäten für die untersuchte Hautflüglergruppen wurden in den Kulturen Resede und Lupine festgestellt. Buchweizen und Krambe sind besonders für Wildbienen und Schlupfwespen von großer Bedeutung. Saflor wird von allen Hautflüglergruppen befliegen. Nur Buchweizen und Krambe werden auf den Versuchsanlagen als Trachtpflanzen von der Honigbiene genutzt. Hier bestehen Möglichkeiten, durch geeignete Kombination von Anbaukulturen die Konkurrenz zwischen Honigbiene und Wildbienen zu mindern. Lupine und Hanf werden besonders von Schwebfliegen befliegen. Beide Kulturen besitzen Pollenblüten (nektarfrei), wobei Hanf windblütig ist (ohne Schauorgan), Lupine jedoch Schauorgane besitzt und somit auch Hautflügler anlockt. Wildbienen nutzen Lupine ausschließlich als Pollenquelle für die Verproviantierung der Brutzellen. Die Aktivitäten von Faltenwespen konzentrieren sich ebenfalls hauptsächlich auf Resede und Lupine. Von Schmetterlingen werden vor allem Resede, Saflor und Buchweizen befliegen.





**Abbildung 5:** Aktivitäten blütenbesuchender Insektengruppen während der Blühperiode in alternativen Kulturen 1996. Ergebnisse von Gelbschalenfängen (n=4) als Individuen pro Fangtag.

**Tabelle 8:** Kalkulatorisch ermittelter Gewinnbeitrag [DM/ha] mit und ohne Beihilfen sowie Produktionskosten [DM/dt] beim Anbau alternativer Marktfrüchte auf anlehmigen Kippböden (xSl, cSl) der Lausitz für das Jahr 1999 in Abhängigkeit vom Flächenertrag

Kultur	angestrebter Ertrag	kalkulatorischer Gewinnbeitrag 1999	kalkulatorischer Gewinnbeitrag ohne Beihilfe	Produktionskosten
		[DM/ha]	[DM/ha]	[DM/dt]
Johanniskraut	35,00	4030,00	3423,00	252,20
Resede	20,00	2558,00	1951,00	102,45
Topinambur 2j.	250,00	695,00	88,00	11,56
Hanf	90,00	572,00	-720,00	18,47
Öllein	15,00	560,00	-366,00	94,60
Buchweizen	10,00	509,00	-98,00	69,80
Sommerbraugerste	28,00	332,00	-147,00	32,39
Lupine	15,00	238,00	-454,00	48,56
Saflor	15,00	237,00	-370,00	64,67
Leindotter	15,00	208,00	-399,00	56,60
Krambe	15,00	188,00	-419,00	57,93
Winterroggen	32,00	134,00	-345,00	32,09

### 3.3 Ökonomische Begleituntersuchungen

Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Einordnung alternativer Kulturen in Rekultivierungsfruchtfolgen auf Lausitzer Kippenböden möglich. Der Gewinn wird allerdings durch die aktuellen Förderbedingungen wesentlich beeinflusst. In Tabelle 8 wurden einige auf den Lausitzer Kippböden angebaute alternativen Kulturen und Sonderkulturen mit den erreichten Erträgen über das ökonomische Bewertungskriterium „kalkulatorischer Gewinnbeitrag“ mit den Preisen und Kosten des Jahres 1998 zusammengefasst. Die Reihenfolge kennzeichnet die monetäre Güte. Zum Vergleich wurden Winterroggen und Sommergerste nach den

Berechnungen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1997) eingeordnet.

Bei jeder anzubauenden Kultur müssen der mögliche Förderstatus und die daran gebundenen Auflagen abgeklärt werden. Besonders die Sonderkulturen, hier mit dem Beispiel Johanniskraut und Resede, erlauben die Erzielung eines hohen Gewinns. Jedoch sollte unbedingt der hohe Handarbeitskräftebedarf für die Unkrautbekämpfung berücksichtigt werden. Auch wenn dies weitestgehend in den Lohnkosten berücksichtigt wurde, sollte geklärt werden, ob saisonale Kräfte in diesem Umfang verfügbar sind.

Ein Vertragsanbau liefert die notwendige kalkulatorische Sicherheit vor allem bei Kulturen mit hohen Pflanzkosten.

Für den Wildobstanbau können nur allgemeine Hinweise für die Berücksichtigung von Kosten und für einplanbare Erzeugerpreise gegeben werden. Beispielsweise müssen für eine Holunderanlage Kosten für folgende Punkte eingeplant werden:

- Einzäunung
- Bodenvorbereitung
- Düngung einschließlich Kalkung auf tertiären Flächen; Nährstoffbedarf bei 150/50/150 kg NPK/ha in mehreren Teilgaben
- Pflanzmaterial und Pflanzaufwand
- Pflegearbeiten einschließlich Aussaat der Mulchstreifen und Freischneiden in den Pflanzreihen in den ersten 1 bis 2 Jahren; Erziehungs- und Pflegeschnitt, 5 bis 6 Mulchschnitte/a
- Arbeitskräftebedarf für Ernte
- Zusatzbewässerung im Pflanzjahr oder auf quartären Flächen dauerhaft
- Pflanzenschutz bei Blattlausbefall
- Die Erlöse richten sich nach den vertraglichen Abnahmebedingungen und können sehr unterschiedlich sein. Dabei spielt z.B. neben der Qualität der Verwertungsweg - Färbemittel, Saftgewinnung, Formulierung, etc. - eine Rolle.

#### 4. Literatur

- AG Boden, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, über Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- ANDERSON J.P.E. und K.H. DOMSCH, 1978: A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 215-221.
- BECK, T.H., 1983: Die N-Mineralisation von Böden im Brutversuch. *Z. Pflanzenernäh. Bodenk.* 146, 243-252.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, Springer Verlag.
- FRIEDRICH, G. und H. RODE, 1996: Pflanzenschutz im integrierten Obstbau. Stuttgart, Ulmer.
- GUNSCHERA, G., 1998a: Stellung der Landwirtschaft in der Abbauregion. *Pflug, W.* (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Berlin, Springer-Verlag, 513-516
- GUNSCHERA, G., 1998b: Landwirtschaftliche Rekultivierung. *Pflug, W.* (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Berlin, Springer-Verlag, 589-599
- GUNSCHERA, G. und K. GROßMANN, 1997: Ertragsvariabilität von Topinambursorten auf Kippenstandorten der Niederlausitz. *Güterfelder Pflanzenbaumitteilungen II / 1997, LVAP Güterfelde 1997*, 37-48
- GUNSCHERA, G., K. GROßMANN, I. Landeck und C. LIEBNER, 2000: Lösungen zur extensiven und alternativen Nutzung sowie zur Landschaftspflege gehölzfreier Kippenareale im Lausitzer Braunkohlenrevier. Abschlussbericht zum BMBF-LMBV-Forschungsvorhaben „Beurteilung von Bodenzustand und Entwicklung Mittel- und Ostdeutscher Kippenböden für ihre ökologierechte landwirtschaftliche Nutzung“ (FKZ: 0339634).
- GUNSCHERA, G. und G. KUNKEL, 1997: Futtergräser und Leguminosen zur landwirtschaftlichen Rekultivierung von Kippenflächen. *Merkblatt 12*, Paulinenaue, Eigenverlag.
- HEEGER, E.F., 1956: Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus. Berlin, Deutscher Bauernverlag.
- HOFFMANN, G., 1991: Methodenbuch. R. BASSLER, Band 1 - Die Untersuchung von Böden. Darmstadt, VDLUFA-Verlag.
- HOFFMANN, G. und J. PALLAUF, 1965: Eine kolorimetrische Methode zur Bestimmung der Saccharaseaktivität in Böden. *Z. Pflanzenernäh. Bodenk.* 110, 193-201.
- INGRISCH, S. und G. KÖHLER, 1998: Die Heuschrecken Mitteleuropas. Die neue Brehmbücherei, Bd. 629. Magdeburg Westarp Wissenschaften.
- KATZUR, J., 1990: Forschen für die Folgelandschaft. *Garten und Landschaft* 5, 37-40.
- KATZUR, J., 1997: Bergbaufolgelandschaften in der Lausitz - Naturraumpotentiale und Naturressourcen im Braunkohlenrevier. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 29, 114-121.
- KLAPP, E. und A. STÄHLIN, 1936: Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistungen des Grünlandes. Stuttgart, Ulmer.
- KUGLER, S., 1970: Blütenökologie. Jena, Fischer.
- LANDECK, I., V. WÖHLER und G. GUNSCHERA, 2000: Blütenangebot und blütenbesuchende Insekten - Ökologische Ausgleichsfunktion gehölzfreier Areale. *Landwirtschaft auf Rekultivierungsflächen*, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 17-21.
- MAURIZIO, A. und F. SCHAPER, 1996: Das Trachtpflanzenbuch - Nektar und Pollen, die wichtigsten Nahrungsquellen der Honigbiene. München, Ehrenwirth.



- MELF, 1997: Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg. Potsdam, Eigenverlag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg.
- MÜLLER, H.-R. und F. PANK, 1992: Aussaatverfahren von Johanniskraut (*Hypericum perforatum* L.). Drogenreport 5, 4-8.
- ROTH, L., 1992: Färberpflanzen, Pflanzenfarben - Botanik, Färbemethoden, Analytik, türkische Teppiche und ihre Motive. Landsberg a. Lech, ecomed.
- SCHÖLLMANN, C., 2001: Cranberry - eine Frucht macht Karriere.  
<http://www.cranberry.de>, Stand 22.01.2001.
- TABATABAI, M.A. und J.M. BREMNER, 1969: Use of P-Nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1, 301-307.
- WIEDEMANN, D., 1998: Naturschutz. in: Pflug, W., Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Berlin Springer, 520-530.
- WÖHLER, V., I. LANDECK und G. GUNSCHE-RA, 2000: Abwechslungsreiche Bergbaufolgelandschaften durch Grünland auf Rekultivierungsflächen. Landwirtschaft auf Rekultivierungsflächen, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 50-51.
- WÜNSCHE, M., W.-D. OEHME, W. HAUBOLD u.a., 1981: Die Klassifikation der Böden auf Kippen und Halden in den Braunkohlerevieren der Deutschen Demokratischen Republik. *Neue Bergbautechnik* 1, 12-16.
- WURL, G., 1997: Ergebnisse von Anbauversuchen aussichtsreicher Färberpflanzen. *Gülzower Fachgespräche - Färberpflanzen*, 47-61, Eigenverlag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

## 5. Danksagung

Den Kollegen und Helfern im Labor, Feldversuchswesen und der Verwaltung des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V. in Finsteralpe und den vielen Kollegen aus kooperierenden Einrichtungen, die zum Gelingen des Projekts beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlichst gedankt. Das Projekt wurde vom BMBF (FKZ-Nr. 0339634) und der LMBV gefördert.



# Auswirkungen der Flächenstilllegung von landwirtschaftlich genutzten Kippböden auf bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften

Abo-Rady, M. und Krüger, S.<sup>1)</sup>

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

<sup>1)</sup> aktuell: Sächsische Landesanstalt für Forsten

## 1. Zielsetzung

Die Stilllegung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist eine von den betrieblichen und förderpolitischen Gegebenheiten bestimmte agrarpolitische Maßnahme. Im Jahr 1996 legten die Kippenbetriebe Sachsens im Leipziger Raum rund 13,7 % und in der Lausitz rund 16,5 % ihres bewirtschafteten Ackerlandes als eine Maßnahme zur Entlastung des Agrarmarktes still. Auf diesen Flächen wurden von Januar 1996 bis Juni 1999 repräsentative Standorte untersucht. In ihren ökologischen Auswirkungen auf den Bodenzustand, speziell den Oberboden und auf die Vegetation hat sie unterschiedliche Effekte. Gesamtziel ist es, aus bodenökologischer Sicht positive und negative Auswirkungen der Flächenstilllegung vormals ackerbaulich genutzter Kippböden gegenüberzustellen, zu bewerten und daraus Empfehlungen für die zukünftige Flächenbehandlung abzuleiten. Beurteilt wird die Entwicklung bodenchemischer und bodenphysikalischer Kennwerte in Abhängigkeit von Substrat, Kohlegehalt und Brachedauer. Ergebnisse bodenbiologischer Untersuchungen des Teilprojektes der Universität Trier werden in die Interpretation einbezogen. Ackerbaulich genutzte Standorte in unmittelbarer Umgebung der Brachestandorte dienen als aktuell bewirtschaftete Vergleichsflächen. An zwei Standorten, davon einer mit spezieller Altlastproblematik (Klärschlammaufbringung rund 30 t TS/ha 1989) und darüber hinaus tertiär geprägtem Unterboden (Pyritverwitterung) sollen Wasser- und Stoffhaushalt der stillgelegten Kippenstandorte quantifiziert werden. Die Ermittlung der Metallgehalte auf den Bracheflächen dient zur Einschätzung des standörtlichen Verlagerungspotentials.

## 2. Vorgehensweise

Die Auswahl der Standorte erfolgte auf der Grundlage des „Statusberichtes zur Rekultivierung im Freistaat Sachsen“ und der im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie vorhandenen Kippsubstratkarten der Braunkohlenreviere Sachsens. Durch Recherchen bei den Bewirtschaftern der Kippenbetriebe wurde die Standortauswahl konkretisiert. Als Ergebnis dieser Auswahl wurden 20 Standorte in 14 Tagebauen für die Untersuchun-

gen festgelegt. Die an der Oberfläche anstehenden Kippsubstrate dieser Standorte repräsentieren zirka 50 % der bisher in den Kippsubstratkarten erfassten Fläche. Ausgehend von der Annahme, dass die natürliche Bodenentwicklung in stillgelegten Oberböden von oben nach unten fortschreitet, wurden die stillgelegten Standorte zunächst als Gesamtprofil beschrieben und anschließend in zwei Tiefen im Oberboden getrennt untersucht, um die Auswirkung der Flächenstilllegung auf die Bodeneigenschaften speziell im Oberboden zu prüfen. Daneben wurde für einen direkten Vergleich von Stilllegung und Ackernutzung an sechs ausgewählten Standorten in unmittelbarer Nachbarschaft zum Brachestandort ein nach wie vor ackerbaulich genutzter Standort untersucht. Auf ausgewählten Standorten wurden  $N_{min}$ -Untersuchungen jeweils zu einem Frühjahrs- und Herbsttermin durchgeführt. Zur Untersuchung des Stoff- und Wasserhaushaltes der Kippböden wurden Daten der Boden-Klima-Stationen Espenhain (Betrieb seit 11/1993) und Lippen (Betrieb seit 8/1996) ausgewertet. Die Vegetation wurde von 1996 bis 1998 auf allen Standorten aufgenommen. Für die Probenahme der mikrobiologischen und faunistischen Untersuchungen waren Mitarbeiter des Teilprojektes 5 verantwortlich.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Morphologische Charakterisierung der Standorte und Bodenentwicklung

Aufgrund des relativ jungen Alters der Böden und der unterschiedlichen Zusammensetzung und Herkunft der verkippten Substrate weisen die Standorte meist eine gering differenzierte Horizontierung, dagegen aber häufig eine komplexe Schichtung auf. Der Wechsel und die Mächtigkeit der Schichten, die Substrateigenschaften, die durchgeführten Meliorationsmaßnahmen und die zurückliegende Nutzung bestimmen den Aufbau und die Eigenschaften der Kippböden. Auf allen Untersuchungsstandorten befinden sich bodenbildende Prozesse im Anfangsstadium. Es handelt sich um Regosole aus Kipp-Lehmsand (teilweise kiesführend), kohleführendem Kipp-Lehmsand und Kipp-Kohlelehmsand, Kipp-Sandlehm, kiesführendem Kipp-Normallehm und Kipp-Löblehm oder Pararendzinen aus Kipp-



Kalklehmsand und (teilweise kiesführendem) Kipp-Kalksandlehm.

Während die mitteldeutschen Standorte deutlich von lehmigen, schluffigen und tonigen Beimengungen geprägt sind, weisen die Standorte in der Lausitz ausnahmslos hohe bis sehr hohe Sandanteile auf. Die obersten kulturfreundlichen Substrate liegen häufig über kohleführenden oder kohlehaltigen tertiären Substraten oder tertiären und quartären Gemengen. Bei der Grundmeliorierung kamen Mineräldünger, Kalk oder Kraftwerksasche und auch Klärschlämme zum Einsatz. Die vier **klassisch ackerbaulich** bewirtschafteten Flächen zeigen über den gesamten Ap-Horizont typische Mischgefüge aus Bröckeln, Krümeln, polyedrischen und subpolyedrischen Gefügeformen. Es ist innerhalb des homogenen Oberbodens keine bewirtschaftungsbedingte Differenzierung feststellbar.

Zwei **bodenschonend bewirtschaftete** Standorte, die seit 1993 einer konservierenden Bodenbearbeitung unterliegen, weisen eine Differenzierung des Oberbodens in einen rd. 10 cm mächtigen Ap-Horizont mit überwiegend krümeliger Gefügestruktur über einem bis in rd. 25 cm in die Tiefe reichenden rAp-Horizont mit geringeren Krümelanteilen auf. Ein Standort wurde für 12 Jahre (1985-1997) extensiv bewirtschaftet (**mehrjähriger Futteranbau**). Hier entwickelte sich nach 11 Jahren Luzernenutzung ein Gemisch aus Bröckel- und Einzelkorngefüge im Oberboden. Die Schurfbeschreibungen der **stillgelegten Flächen** zeigen eine von der Brachedauer abhängige Entwicklung und Differenzierung des Oberbodens.

Dabei lässt sich feststellen, dass Standorte mit einer geringen Stilllegungsdauer die typischen Merkmale der in Bewirtschaftung stehenden Flächen mit einem homogenen, in Gefügeform und Humusanteil nicht differenzierten Ap-Horizont besitzen. Standorte, die bereits seit mehr als fünf Jahren stillgelegt sind weisen im obersten Bereich zunehmend krümelige Gefügeformen mit einem wellenförmigen, diffusen Übergang vom Aih zum rAp auf. Dies geht mit einer Anreicherung von Humus und einer verstärkten Regenwurmmaktivität einher. Auf den ältesten Brachestandorten ist die Differenzierung des Oberbodens am weitesten fortgeschritten. Hier findet man überwiegend krümelige Gefügestrukturen, zahlreiche Regenwurmgänge und Humuspartikel, die bis in eine Tiefe von rund 15 cm reichen. Aus einem ehemals homogenen Ap-Horizont hat sich dort ein Ah-Horizont über einem rAp-Horizont entwickelt.

### 3.2 Entwicklung bodenchemischer Parameter

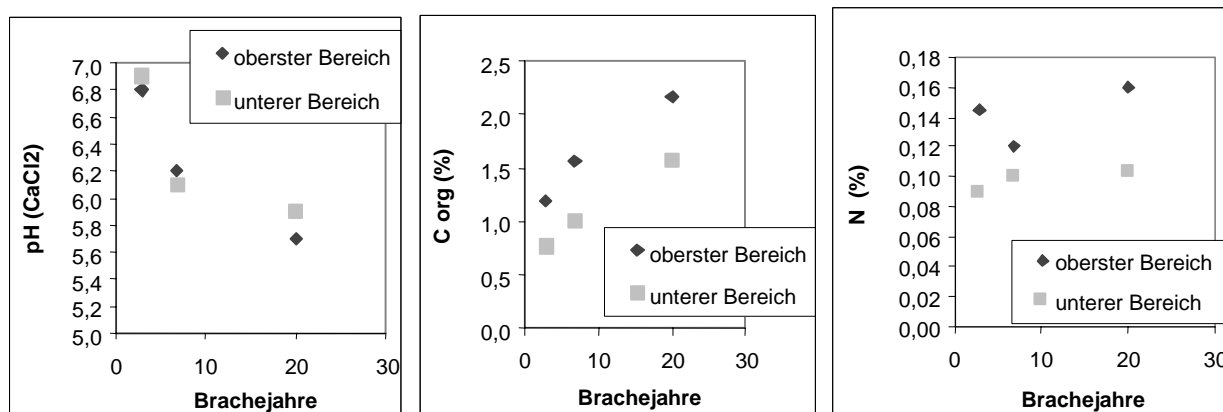
Es zeigt sich, dass mit Zunahme der Brachedauer der **pH-Wert** in der obersten Bodenschicht abnimmt. Ausgehend von Werten um pH 7 stellt sich nach über 15 Brachejahren ein pH-Wert von 5,5 bis 6,0 ein. Die beiden Bodenbereiche „oben“ und „unten“ unterscheiden sich in den Bracheklassen (0 bis 5 Jahre bzw. 6 bis 10 Jahre) im pH-Wert nur geringfügig. Die lange stillgelegten Flächen (über 15 Jahre) hingegen weisen im Vergleich zu den jüngeren und mittelalten Bracheflächen eine ausgeprägtere pH-Absenkung in den obersten Zentimetern auf. Für die **C<sub>org</sub>-Entwicklung** im Oberboden zeichnet sich folgendes ab: Mit zunehmendem Alter der Brache reichert sich, in die Tiefe fortschreitend, organisches Material (C<sub>org</sub>) an. Somit kann auf Kippenstandorten unter Brache, ähnlich wie es auf Chronosequenzstandorten unter Wald nachgewiesen wurde, eine altersabhängige Akkumulation rezenter organischer Substanz festgestellt werden. Analog zum C<sub>org</sub>-Gehalt liegen jeweils in der oberen Beprobungstiefe höhere **N-Gehalte** im Vergleich zur unteren Beprobungstiefe vor (Abb. 1). Zwischen dem Alter der Brache und dem **C/N-Verhältnis** ist nach den vorliegenden Ergebnissen keine korrelative Beziehung erkennbar. Erwartungsgemäß liegt zwischen C<sub>org</sub>-Gehalt und **KAK<sub>pot</sub>** ein hohes Bestimmtheitsmaß vor (R<sup>2</sup> > 0,80). Dies gilt sowohl für die bindigeren Substrate (Leipziger Standorte) als auch für die Lausitzer Standorte mit einem sehr hohen Sandanteil.

Auf allen Standorten zeichnet sich bei unterschiedlichem Ausgangsniveau im Verlauf der drei Untersuchungsjahre eine deutliche Absenkung der **N<sub>min</sub>-Herbst- und Frühjahrsgehalte** ab. Der arithmetische Mittelwert für alle Standorte nimmt von 66 kg N<sub>min</sub>/ha im Herbst 1996, über 43 kg N<sub>min</sub>/ha im Herbst 1997 auf 19 kg N<sub>min</sub>/ha im Herbst 1998 ab. Gemäß der Einstufung des Sächsischen Nitratberichtes 1997/1998 sind alle drei Herbstmittelwerte als niedrige Werte (<90 kg N<sub>min</sub>/ha) einzustufen. Beim Vergleich der Frühjahrswerte 1997/1998 zeigt sich eine Abnahme der N<sub>min</sub>-Gehalte auf sieben von acht Standorten. Die Werte liegen 1997 zwischen 60 kg N<sub>min</sub>/ha und 170 kg N<sub>min</sub>/ha beziehungsweise zwischen 45 und 90 kg N je ha (1998). Der arithmetische Mittelwert für alle Standorte nimmt von 96 kg N<sub>min</sub>/ha im Frühjahr 1997 auf 63 kg N<sub>min</sub>/ha im Frühjahr 1998 ab. Auf den 1.000 sächsischen Dauertestflächen lagen die NO<sub>3</sub>-N-Gehalte (vergleichbar mit N<sub>min</sub>, da NH<sub>4</sub>-Gehalt niedrig ist) im

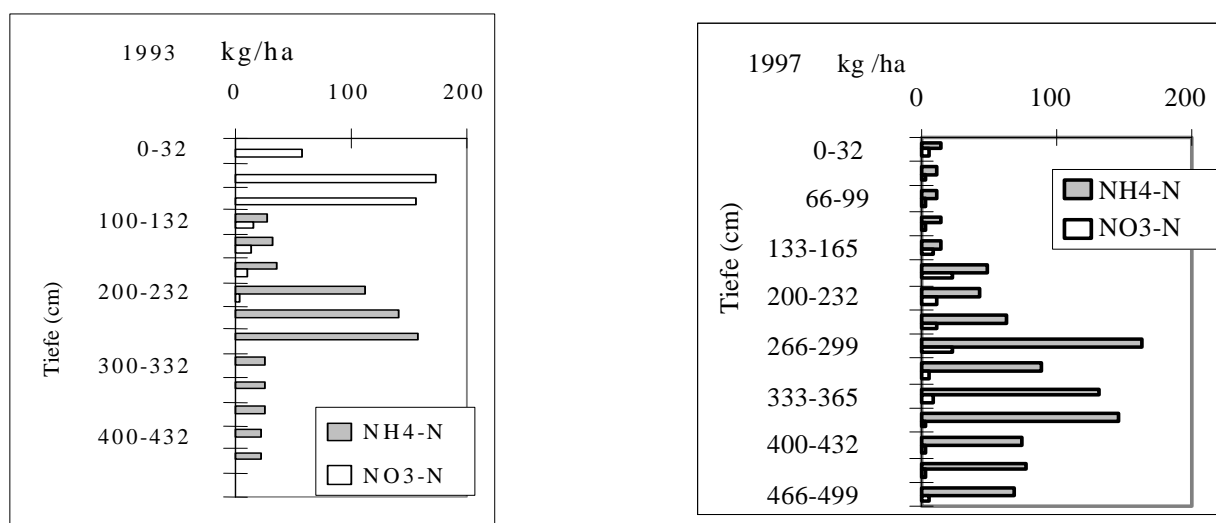
Frühjahr 1998 mit durchschnittlich 49 kg/ha auf einem geringfügig niedrigeren Niveau. Den zeitlichen Verlauf der Tiefenverlagerung von NO<sub>3</sub>-N und NH<sub>4</sub>-N am Standort 12 mit vormaliger Klärschlammausbringung zeigt Abbildung 2 für die Beprobungen 1993 und 1997.

Im Rahmen der technischen und biologischen Reaktivierung sowie der anschließenden ackerbaulichen Bewirtschaftung der Standorte wurden K-, Mg-, und P-haltige mineralische und organische Düngemittel ausgebracht. Durch die Flächenstilllegung verändert sich infolge des Wegfalls der regelmäßigen Kalk- und Düngergaben zwangsläufig die Ausstattung der **pflanzenverfügbaren Nährstoffe (K, Mg, P)** im Oberboden. Die K-

Versorgung ist auf den bindigeren Leipziger Brachestandorten optimal bis sehr hoch mit einer geringfügigen Abnahme bei der Wiederholungsbeprobung 1998 (Mittelwerte 1996/1997: 23,2 mg/100g Boden; 1998: 21,3 mg/100 g Boden). Auf den sandigen Lausitzer Standorten sind die K-Gehalte deutlich niedriger (Mittelwert 1998: 6,8 mg/100 g Boden). Bei der Mg-Versorgung ist auf den Leipziger Standorten im Vergleich der Beprobungsdurchgänge eine geringfügige Erhöhung der Gehalte festzustellen (anzustrebender Bereich). Bei den Lausitzer Standorten liegt das Versorgungs-niveau 1998 geringfügig unterhalb der Vorjahreswerte. Auffällig sind die hohen Gehalte der mit Kraftwerksasche meliorierten Standorte 17 und 20.



**Abbildung 1:** Differenzierte Entwicklung des pH-Wertes, des C<sub>org</sub>-Gehaltes und des N-Gehaltes im Oberboden stillgelegter Kippböden (oberflächennaher, oberster und unterer Bereich) in Abhängigkeit von der Brachedauer



**Abbildung 2:** Tiefenverteilung von N<sub>min</sub> am Standort Espenhain im Herbst 1993 und 1997





Die P-Versorgung der Leipziger Standorte ist bei der ersten Beprobung auf einem überwiegend niedrigen Niveau (Mittelwert 4,7 mg/100 g Boden). 1998 ist die Versorgung mit durchschnittlich 6,6 mg P/100g Boden insgesamt günstiger. Deutlich niedrigere Versorgungsgrade weisen auch hier die Lausitzer Standorte auf, die alle der Stufe A (im Anhalt an die „Richtwerte zum ordnungsgemäßen Einsatz von Düngern entsprechend der Düngeverordnung“) zuzuordnen sind. Hier werden durchschnittlich 2,0 mg P/100 g Boden (1996/1997) beziehungsweise 1,9 mg P/100 g Boden (1998) erreicht.

Die **Metallgehalte im Königswasseraufschluss** der untersuchten Böden bewegen sich mit wenigen Ausnahmen im Rahmen der Hintergrundwerte für Ackerböden im Bodenatlas der Böden Sachsens. Für die 70er und 80er Jahre werden im Tagebaugebiet Espenhain insbesondere Anreicherungen von As, Cr, Hg, Mn und Zn aufgrund von Flugascheemissionen beschrieben. Messungen der Lufteträge an der Boden-Klima-Station Espenhain weisen heute, wie der Vergleich mit anderen Untersuchungen in Sachsen zeigt, keine aktuell erhöhten Cr-Einträge auf. Die erhöhten Cd-, Cr- und Zn-Gehalte am Standort Espenhain (Nummer. 12) sind wahrscheinlich wesentlich auf die Klärschlammapplikation zurückzuführen.

Im **Ammoniumnitrat**auszug finden sich im Vergleich zu den Hintergrundwerten für Sachsen v.a. bei den Elementen As, Cd, Cu, Ni, Pb und Zn insbesondere im Unterboden teilweise erhöhte Gehalte. Diese sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Mobilisierung durch niedrige pH-Werte (Pyritverwitterung) zurückzuführen. Die differenzierte Oberbodenbeprobung zeigt, dass die Gehalte von Cr, Pb, Cu, Ni und Zn im Königswasserauszug in der oberen Entnahmetiefe höher sind als in der zweiten Probenahmetiefe. Bei As und Cd sind die Gehalte gleich hoch. Die Gehalte in der obersten Bodenschicht sind somit ein Spiegel der Einträge und Ablagerung dieser Elemente (Deposition) seit der Flächenstilllegung und der ausgebliebenen Oberbodenbearbeitung. Die Differenz der Unterschiede im Oberboden liegt in einer Größenordnung, die aufgrund der jährlichen (minimalen) Stoffeinträge plausibel ist. Dies untermauern auch die Ergebnisse der Depositionsmessungen.

Zu beachten ist jedoch, dass die Differenz der Elementgehalte beider Tiefenstufen auch im Fehlerbereich der Probenanalyse (rund 10%) liegt. Betrachtet man die mobile Fraktion der Elemente

( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Auszug) so lässt sich für Cu und Zn eine höhere Verfügbarkeit in der obersten Bodenschicht feststellen. Die Werte der Elemente Blei und Chrom liegen jeweils unterhalb der Nachweisgrenze. Die As-Gehalte sind nur geringfügig oberhalb der Nachweisgrenze von 7 ppb.

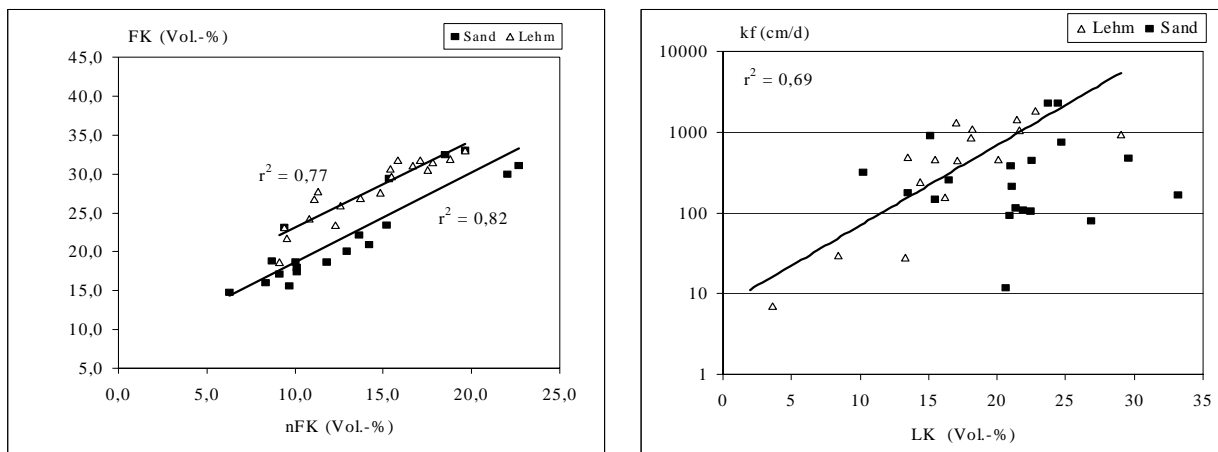
### 3.3 Entwicklung bodenphysikalischer Parameter

Die Standorte werden hinsichtlich ihrer bodenphysikalischen Eigenschaften wesentlich durch das Substrat, den Kohleanteil und von der Art der Vorbehandlung im Rahmen der Rekultivierung, ackerbaulichen Nutzung bzw. Stilllegung geprägt. Während die Lausitzer Standorte substratbedingt insbesondere durch geringere Lagerungsdichten und große Porenvolumen gekennzeichnet sind, weisen die bindigeren Leipziger Standorte häufig eine höhere **FK** bzw. **nFK** auf. Im Unterboden sind diese Standorte zum Teil verdichtet.

Die Feldkapazität der untersuchten Oberböden der stillgelegten Flächen wird erwartungsgemäß durch den Ton-, Schluff- und Feinsandanteil und die nutzbare Feldkapazität durch den Schluff- und Feinsandanteil bestimmt. Dieser Befund bestätigt einmal mehr die große Bedeutung des Feinsandes für die Wasserspeicherfähigkeit v.a. der Kippsande.

Der Einfluss des Sandanteils auf die Luftkapazität ist relativ gering. Offensichtlich hat die Gefügebildung in den untersuchten Oberböden zu einem Grobporensystem geführt, das nun die körnungsbedingte Porosität überlagert. Die grundsätzlich verschiedenen bodenphysikalischen Verhältnisse in den untersuchten sandigen und lehmigen Oberböden zeigt Abbildung 3. Bei gleicher nutzbarer Feldkapazität wird in den lehmigen Oberböden aufgrund der höheren Tongehalte eine höhere Feldkapazität gemessen. Bemerkenswert ist, dass in den lehmigen Oberböden bei gleicher Luftkapazität die gesättigte Wasserleitfähigkeit in der Tendenz ebenfalls höher ist als in den sandigen Oberböden. Die gesättigte Leitfähigkeit des Bodens wird durch den Anteil der leitenden Poren (Luftkapazität) und durch die Kontinuität dieser Poren bestimmt. Offensichtlich weisen die Grobporen in den lehmigen Oberböden eine höhere Kontinuität auf. Möglicherweise ist hier der Anteil biogener Makroporen höher als in den biologisch weniger aktiven sandigen Oberböden, in denen aufgrund der geringeren Tongehalte außerdem auch die Gefügestabilität geringer ist als in den lehmigen Oberböden.





**Abbildung 3: nFK im Vergleich zur FK (links) und Kf in Abhängigkeit von der LK (rechts) in den sandigen und lehmigen Oberböden der Brachestandorte**

Das mittlere Grobporenvolumen und die mittlere Bodendichte unterscheiden sich nicht in den sandigen und lehmigen Oberböden. In den lehmigen Oberböden werden aber erwartungsgemäß einerseits höhere Totwassergehalte und eine höhere nFK und andererseits eine geringere LK gemessen als in den sandigen Oberböden (Abbildung 4). Im oberen Teil des Oberbodens (Aih) sind die mittleren Gesamtporenvolumen um 4,9 Vol.-% (Sand) bzw. 5,5 Vol.-% (Lehm) höher als im unteren Teil (rAp). Das höhere Gesamtporenvolumen geht im wesentlichen auf eine höhere LK zurück. Die nFK ist im oberen Teil der Oberböden dagegen nur geringfügig erhöht.

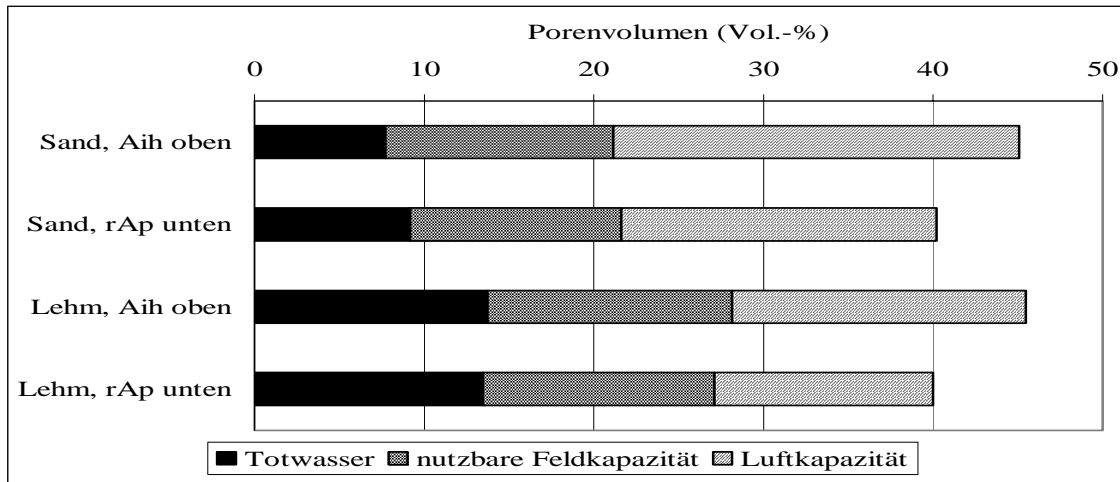
Die in den untersuchten Oberböden gemessene Luftkapazität ist als hoch bis sehr hoch und die gesättigte Wasserleitfähigkeit als sehr hoch bis äußerst hoch zu bezeichnen. Die Erhöhung von LK und Kf-Wert in den Aih-Horizonten durch die Flächenstilllegung hat daher eine begrenzte Bedeutung für die ökologische Funktionalität der Kippböden. Ökologisch limitierend auf den untersuchten Standorten ist die nutzbare Feldkapazität, die im Oberboden allgemein nur als gering einzustufen ist. Eine signifikante Erhöhung der nFK im Oberboden könnte beispielsweise die Keimbedingungen und die Jungpflanzenentwicklung verbessern und das Bodenleben fördern. Die gemessene geringfügige Zunahme der nFK im Aih reicht dazu nicht aus. Insgesamt gesehen ist bei differenzierter Untersuchung des Oberbodens eine bodenphysikalische Wirkung der Flächenstilllegung erkennbar, die aber bodenökologisch nicht überbewertet werden darf und die außerdem bei erneuter Bodenbearbeitung der stillgelegten Flächen reversibel ist.

Die Oberböden der stillgelegten und der benachbarten bewirtschafteten Ackerstandorte unterscheiden

sich deutlich in ihrem mittleren Porenvolumen. Das Porenvolumen ist unterhalb der Krume, also in der Krumenbasis der beackerten Böden erwartungsgemäß am geringsten und im Aih-Horizont der stillgelegten Standorte am höchsten. Diese Reihung ist im wesentlichen auf Unterschiede in der Luftkapazität zurückzuführen, die im Aih-Horizont der stillgelegten Böden deutlich erhöht und in der Krumenbasis deutlich verringert ist. Die mittlere gesättigte Wasserleitfähigkeit verhält sich erwartungsgemäß analog zur Luftkapazität. Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit charakterisieren den bodenphysikalischen Effekt der Flächenstilllegung im Oberboden. Beide Parameter liegen im Aih-Horizont und auch im rAp im Mittel über den Werten im Ap-Horizont der beackerten Standorte. Die Bedeutung dieser Gefügentwicklung für die Funktionalität der Böden ist aber nur gering, da sowohl die Luftkapazität als auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit im Ap-Horizont und auch in der Krumenbasis der bearbeiteten Standorte hoch bis äußerst hoch einzustufen sind.

### 3.4 Entwicklung bodenbiologischer Parameter

Die biologischen Eigenschaften einiger Brachestandorte wurden im Teilprojekt 5 untersucht. Beim Vergleich verschiedener Bodennutzungsarten (Ackerbau, Brache, Luzerne) erreichen Bracheflächen vor Luzerne und Ackernutzung die höchsten Besiedlungsdichten an Regenwürmern und Collembolen. Unter Brache und unter Luzerne werden auch hohe Werte der mikrobiellen Biomasse ( $C_{mic}$ ), der mikrobiellen Aktivität (DMSO), der Saccharase- (SAA) und alkalischen Phosphataseaktivität (APA) sowie der Netto-Stickstoffmineralisation (Netto-N) festgestellt.



**Abbildung 4: Bodenphysikalische Kennwerte in den sandigen und lehmigen Oberböden der Bra-  
chestandorte**

**Tabelle 1: Niederschlag, Verdunstung und Versickerung an den Boden-Klima-Stationen Es-  
penhain (1994 – 1997) und Lippen (1997)**

Jahr/Boden-Klima-Station	Niederschlag [mm]	Verdunstung [mm]	Versickerung [mm]	Anteil der Ver- sickerung am Jahresnieder- schlag [%]
1994 (Espenhain)	729	491	247	34
1995 (Espenhain)	766	544	249	33
1996 (Espenhain)	545	476	89	16
1997 (Espenhain)	617	500	149	24
1997 (Lippen)	735	318	416	57

### 3.5 Wasser- und Stoffhaushalt der Boden-Klima-Stationen Espenhain und Lippen

Ergebnisse der Auswertung von Messreihen der Boden-Klima-Stationen und der Modellierung mit dem Simulationsprogramm WAVE zeigt Tabelle 1. Ausgewertet wurden 4 Messjahre der Station Espenhain und ein Messjahr der Station Lippen. Der Anteil der Versickerung ist im Bereich der Boden-Klima-Station Lippen 1997 höher als der im Bereich der Boden-Klima-Station Espenhain ebenso wie die absolute Versickerungsmenge.

Von wesentlicher Bedeutung für den Stoffhaushalt der Boden-Klima-Station Espenhain ist der von tertiärem Material geprägte Untergrund. Dort werden aufgrund fortgesetzter Pyritverwitterung bei pH-Werten zwischen 2,2 und 2,8 in der Bodenlösung erhebliche Mengen an Sulfat, Nitrat, Aluminium und anderen Elementen freigesetzt. Die Gehalte im Bereich der Boden-Klima-Station Lippen weisen im Gegensatz hingegen keine vergleichbaren Veränderungen der Elementgehalte mit zunehmender

Entnahmetiefe auf. Der niedrigste mittlere pH-Wert aller Tiefenstufen beträgt 5,7. Der niedrigste Einzelmeßwert (pH 5,4) wurde 11/1996 in der Tiefe 110 cm ermittelt. Die Leitfähigkeit ist etwa um den Faktor 10 geringer als am Standort Espenhain.

### 3.6 Entwicklung der Vegetation

Auf den Untersuchungsstandorten wurden insgesamt 154 Blütenpflanzen davon 13 Arten der Roten Liste im Freistaat Sachsen ermittelt. Bei den gefährdeten Arten handelt es sich dabei einerseits um Ackerwildkräuter. Diese sind eher an eine extensive Acker-Bewirtschaftung gebunden als an eine Grünlandbewirtschaftung. Andererseits wurden an trockeneren Standorte gebundene Spezialisten ermittelt. Das übrige Pflanzeninventar, insbesondere die dominanten Pflanzenarten, besteht in der Mehrzahl aus anspruchslosen, stresstoleranten und weit verbreiteten Arten (v.a. N-Zeiger). Dementsprechend findet man bei den ökologischen Zeigerwerten hohe N-Zahlen. Des weiteren wurden Arten festgestellt, die in der gesamten Bergbaufolgelandschaft in

Ausbreitung begriffen sind (z.B. *Calamagrostis epigejos*).

Die Entwicklung der Pflanzengesellschaften verläuft im Zuge der Flächenstilllegung auf allen Untersuchungsstandorten nicht als Primärsukzession sondern als Weiterentwicklung von Acker- hin zu Grünlandgesellschaften. Dabei zeichnete sich während des Untersuchungszeitraumes für drei Standorte eine Tendenz zu *Festuca-rubra*-Gesellschaften ab, wie sie großflächig in Bergbaufolgelandschaften zu finden sind. Die übrigen Untersuchungsstandorte veränderten sich in ihrer Artenzusammensetzung während der Untersuchungen kaum. Sie sind entweder noch von der Ausgangssituation „Saatgrasland“ und durch vorherige Flächenbehandlung (Einsaat, Düngung bzw. Nährstoffangebot) geprägt oder es hat sich die bereits vor den Untersuchungen etablierte Gesellschaft im Untersuchungszeitraum als stabil erwiesen. Zwei Standorte gehören zur *Calamagrostis epigejos* Fazies. Diese Gesellschaft verträgt hohe pH-Werte, extreme Trockenheit und kommt insbesondere auch auf aschemelierten Standorten vor. Auf einem Standort dominiert eine Grünlandgesellschaft des *Tanacetum-Arrhenatheretum*, die in den nicht rekultivierten Bereichen mit spontaner Sukzession der Bergbaufolgelandschaften selten ist. Bei gleichbleibender Flächenbehandlung (Brache mit einmaliger Mahd im Frühsommer) ist auf allen untersuchten Standorten nicht mit kurzfristigen gravierenden Änderungen in der Pflanzengesellschaft zu rechnen.

#### 4. Schlussfolgerungen

Positive Effekte der Flächenstilllegung sind insbesondere bei längerer Brachedauer zu erwarten. Hier wirkt sich die Bodenruhe sehr günstig auf das Bodengefüge aus. Die verstärkte Aktivität der Regenwürmer sorgt für zunehmend krümelige Gefügestrukturen mit einem hohen Anteil an Ton-Humuskomplexen. Gleichzeitig kommt es infolge ungestörten Pflanzen- und Wurzelwachstums zu einer Anreicherung von rezenter organischer Substanz (Humus) und von Stickstoff im Boden. Diese bodenökologisch günstige Entwicklung schreitet im Oberboden mit zunehmender Brachedauer von oben nach unten fort. Der Bracheinfluss auf den pH-Wert und auf die Nährstoffausstattung im Oberboden ist mit geringem Aufwand bei Wiederaufnahme der Bewirtschaftung reversibel und deshalb in seiner Gesamtwirkung indifferent. Mit einer ökologisch wirksamen Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität infolge der Brache ist jedoch nach vorliegenden Ergebnissen nicht zu rechnen. Positiv wirkt

sich die zunehmende Porenkontinuität aus, die mit der Entwicklung des Krümelgefüges einhergeht. Die  $N_{\min}$ -Gehalte nehmen infolge eingestellter Düngergaben mit zunehmender Brachedauer kontinuierlich ab. Somit besteht während der Brachezeit auf den untersuchten Standorten kein erhöhtes Verlagerungsrisiko (mit Ausnahme des Sonderstandortes 12 mit ehemaliger Klärschlammaufbringung). Hinsichtlich der Mobilität von Metallen verhält sich die Stilllegung indifferent. Aus naturschutzfachlichen Aspekten bieten sich in erster Linie die trockeneren, nährstoffärmeren (Lausitzer) Brache-standorte für eine längerfristige Stilllegung an.

Bei Wiederaufnahme der Bewirtschaftung liegt somit ein biologisch sehr aktiver Oberboden vor. Dieser günstige Ausgangszustand lässt zu, bodenschonende extensive Bearbeitungsverfahren einzusetzen (konservierende Bodenbearbeitung). So können nachhaltig Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit gewährleistet werden, indem der Saat gute Keim- und Auflaufbedingungen geboten werden und den Wurzeln ein gleichmäßiges und tiefes Eindringen ermöglicht wird. Je nach Zielstellung des Bewirtschafters bieten sich somit unterschiedliche Behandlungsvarianten in Form der Dauer- oder der Rotationsbrache an, deren Umsetzung in Abhängigkeit von Standort (v.a. Substrat), untersuchtem Kriterium und Brachedauer Vorteile, indifferente Auswirkungen und teilweise auch (geringfügige) Nachteile im Hinblick auf eine Wiederaufnahme der regulären landwirtschaftlichen Nutzung bedingt.

#### 5. Relevante Veröffentlichungen

- ABO-RADY, M. und WEISE, A., 1994: Kippsubstratkarten von Neulandböden in den Braunkohlenrevieren Sachsens i. M. 1 : 10 000, 98 Blätter. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie, Freiberg.
- ABO-RADY, M.; WEISE, A.; HOFFMANN, R. und TENHOLTERN, R., 1997: Kippsubstratkarten von den Böden der Bergbaufolgelandschaften in Sachsen. - Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg, 27 S.
- ABO-RADY, M.; WEISE, A. und SEIFFERT, S., 1997: Substratverbreitung auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus in Sachsen und ihre Bedeutung. - Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 84, 7-14.
- ABO-RADY, M.; WEISE, A.; OEHME, W.; HAUBOLD, A.; MÖBES, A.; VOGEL, E.; NEUMANN, E.; KÜHN, D. und BRANDTNER, W., 1998: Substratansprache auf Kippen



- und Halden des Braunkohlenbergbaus. - Schriftenr. Angew. Geowiss. 3, 21-34.
- ABO-RADY; M. und KRÜGER; S., 1999: Abschlussbericht im BMBF-Forschungsvorhaben "Beurteilungen von Bodenzustand und Entwicklung Mittel- und Ostdeutscher Kippenböden und Erarbeitung von Empfehlungen für ihre ökologiegerechte landwirtschaftliche Nutzung. – Teilprojekt 3, "Auswirkungen einer 5-jährigen Flächenstillegung landwirtschaftlich genutzter Kippenböden Mitteldeutschlands und der Lausitz auf bodenphysikalische, -chemische und biologische Eigenschaften", BMBF-Förderkennzeichen: 03396344, Unveröffentlicht, 264 S.
- ABO-RADY, M.; KRÜGER, S., 2000: Begrünte Brache – ein aktiver Beitrag zur Rekultivierung. In: Landwirtschaft auf Rekultivierungsflächen – ökologische Funktionen, standortgerechte Nutzung, neue Nutzungsverfahren -. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden 30 – 33
- KRÜGER; S.; BARTH, N., ABO-RADY, M. und SEIFERT; S., 1998: Boden-Messstationen in Sachsen: Erste Ergebnisse und Möglichkeiten zur Interpretation. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 87, 327 – 330
- REINSTORF, F.; GEISLER; A.; ABO-RADY, M.; KRÜGER, S.; WALTHER, W., 2001: Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes eines landwirtschaftlich genutzten Kippenbodens im Tagebau Espenhain mit dem Modell WAVE. Wasser und Abfall 4, 14 - 18



## Auswirkungen der Beweidung auf die Standortparameter von Kippböden unter Berücksichtigung der Eignung verschiedener Schafrassen

T. Schmalwasser<sup>1)</sup>, K. Schrittmatter<sup>2)</sup>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

<sup>1)</sup> aktuell: Deutscher Entwicklungsdienst GmbH

<sup>2)</sup> aktuell: Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Nutztierwissenschaften Leipzig e.V.

### Zusammenfassung

An Hand von Weideversuchen in der Koppel- und Hütehaltung wurden die Möglichkeiten der Landschaftspflege mit Schafen verschiedener Rassen in Bergbaufolgelandschaften untersucht. Die einbezogenen Kippböden repräsentieren eine anspritzbegünstigte, bisher ungenutzte Tagebauböschung (Koppelversuch) und eine ehemals ackerbaulich genutzt Knaulgrasweide (Hüteversuch).

Neben einer teilweise geringen Phosphorversorgung stellen die niedrigen  $N_{\min}$ -Gehalte der Böden (2-11 kg/ha) einen stark begrenzenden Faktor für das Pflanzenwachstum dar. Kalium und Magnesium weisen an beiden Standorten ausreichend hohe Gehalte auf. Die Mikronährstoffversorgung (Cu, Mn, Mo, Zn) ist durch einen Manganmangel der Kippböden der Tagebauböschung, der sich auch in niedrigen Pflanzengehalten niederschlägt, gekennzeichnet. Die Beweidung zeigte keinen Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Böden.

Das untersuchte Erosionsgeschehen lies keinen Zusammenhang zum Beweidungsmanagement erkennen. Auch eine intensive Beweidung forcierte nicht nachhaltig das Erosionsgeschehen.

Entsprechend den nährstoffarmen Böden weisen die Versuchstandorte eine lückige Vegetation und geringe Erträge (20-25 dt Trockenmasse/ha) auf. Die Vegetationserhebungen lassen bei den Hauptbestandbildnern, mit Ausnahme einer starken Vermehrung von *Vicia cracca*, keine eindeutig durch die Beweidung verursachten Veränderungen der Deckungsgrade erkennen.

Dem gegenüber wird die Artendiversität der artenarmen Anspritzbegünstigung durch die Beweidung signifikant erhöht. Wiederholte Messungen ergaben darüber hinaus eine gesicherte Zunahme der Pflanzendichte im Verlauf der Beweidungsperioden.

Verbissintensitäten und -präferenzen sind weitgehend rassenunabhängig, werden aber im hohen Maße von der Besatzdichte beeinflusst.

Bei einem Besatz von  $< 0,4$  GV/ha war eine hohe Strukturvielfalt der Flächen und starke Artenselektion zu verzeichnen, die sich bei höheren Besatzdichten (bis  $0,8$  GV/ha) mit wenigen Ausnahmen nivellierte. *Calamagrostis epigejos* wird auch bei hohem Weidedruck und Futterknappheit nicht durch die Schafe aufgenommen. Einzelaufwüchse von Gehölzen werden von den Schafe durch den gezielten Verbiss der Sämlinge und das Abschälen der Rinde junger Aufwüchse kontrolliert.

Die Rassen Schwarzköpfiges Fleischschaf, Merinoland- und Merinolangwollschaf sowie Graue Gehörnte Heidschnucke sind in der Lage unter den extensiven Haltungsbedingungen dem Rassenstandard entsprechende Leistungen zu erbringen, wobei die Merinofleischschafe im Rassenvergleich Leistungseinbußen aufweisen.

Die Verhaltens- ergaben ebenso wie die Blutuntersuchungen rassenspezifische Abweichungen. Während die SKF-, HS- und ML-Versuchsschafe höhere Zeiten der Futteraufnahme aufweisen, wechseln die MF-Tiere häufiger in die Aktivitäten Laufen und Stehen, was sich in signifikant differenzierten Körpermasseentwicklungen niederschlägt.

Die Hitzeperioden der Hochsommermonate stellen mit stark reduzierten Futterqualitäten eine kritische Phase für eine bedarfsgerechte Ernährung unter extensiven Weidebedingungen dar und wirken als limitierender Faktor für die Höhe der möglichen Besatzdichte.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Versuche, dass eine Schafhaltung auf Kippböden unter den Bedingungen geringer Besatzdichten möglich ist. Bei  $0,5-0,6$  GV/ha ist das Nahrungsangebot der zumeist nährstoffarmen Flächen ausreichend, die Grasnarbe wird durch den Verbiss verdichtet und es treten keine erosionsfördernden Trittschäden auf. Die Entwicklung der Strukturvielfalt und Artendiversität der Flächen kann über den Besatz beziehungsweise das Beweidungsmanagement reguliert und begünstigt werden.



## 1. Aufgabenstellung

In den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg sind im Rahmen der Sanierung stillgelegter Braunkohlentagebaue vielfältige Offenlandschaften entstanden, die aus Gründen des Biotop- und Artenschutzes sowie der landschaftlichen Akzeptanz zu erhalten sind und zur Verhinderung einer fortschreitenden Sukzession einer Pflege bedürfen. Dem aus diesen Offenlandflächen resultierenden Handlungsbedarf stehen erhebliche Wissensdefizite über die Möglichkeiten einer nachhaltigen und ökonomisch vertretbaren Pflege gegenüber. Bei der Wiederherstellung und Erhaltung von wertvollen Biotopen (z.B. Trocken-, Halbtrockenrasen, Heiden) hat sich die Pflege mit Schafen als eine schonende, kostengünstige und für Hanglagen besonders prädestinierte Methode erwiesen. Für die oben erwähnten Flächen liegen diesbezüglich jedoch wenig Erfahrungswerte vor, sowohl in Bezug auf die Standortentwicklung unter differenzierten Pflegeregime, als auch über die Eignung der territorial vorherrschenden und verfügbaren Schafrassen für ihren Einsatz in der extensiven Landschaftspflege.

## 2. Versuchsprogramm

Die Untersuchungen wurden an zwei Versuchsanstellungen, einem Koppelversuch und einem Hüterversuch, durchgeführt. Im folgenden werden vor allem die detaillierteren Untersuchungen des Koppelversuches dargestellt und durch Angaben aus dem Hüterversuch ergänzt. Die Ergebnisse des Hüterversuches sind in den Abschlußberichten von SCHMALWASSER & STRITTMATTER (1999) und, insbesondere die Vegetationsentwicklung betreffend, von GUNSCHERA (1999) umfassend dargelegt.

An Hand des Koppelversuches sollten die Auswirkung einer Erstabweidung bei unterschiedlichen Besatzdichten auf die Standortparameter Boden und Vegetation geprüft sowie die Eignung der Rassen für ihren Einsatz unter den extensiven Bedingungen der Bergbaufolge abgeschätzt werden. Muttertiere 5 verschiedener Schafrassen wurden auf einer anspritzbegrünten Tagebauböschung der MIBRAG im Raum Profen (Gemarkung Schwerzau) in Form von Standweiden mit unterschiedlichen Besatzdichten gekoppelt. Die Verteilung der Tiere auf die Versuchspartellen ist in Tabelle 1 schematisch dargestellt. Bis auf eine einmalige Mahd im Herbst 1995 unterlag die Fläche keiner vorherigen Nutzung oder Pflege. Die Weideperioden erstreckten sich von Mai/ Juni bis August/September. Die Bodenarten der Versuchsfäche variieren von stark lehmigem Sand (S14) bis schwach sandigem Lehm (Ls2), wobei die stark lehmigen Sande überwiegen.

Im Hüterversuch sollten die Effekte differenzierter Hüteweiden auf die Phytozönose untersucht werden. Auf einer ehemals ackerbaulich genutzten Knaulgrasweide auf Kippböden im Gebiet Kleinleipisch (Raum Lauchhammer), die bereits seit Ende der 80iger Jahre einer Beweidung unterlag, wurden einzelne Versuchspartellen durch eine Herde von zirka. 500 Muttertieren verschiedener Rassen zu 6 unterschiedlichen Weidezeiten und -häufigkeiten überhütet.

Handelt es sich bei dem Koppelversuch um eine Erstabweidung und signifikante Nutzungsänderung wurde im Hüterversuch eine gegenüber dem Ausgangszustand extensivere Bewirtschaftungsweise in ihren Auswirkungen auf den Standort untersucht.

**Tabelle 1: Schema der Aufteilung des Tiermaterials auf die Versuchsfächen des Koppelversuches**

Besatzdichte [GV/ha]	Koppelgröße [ha]	Anzahl Mutterschafe pro Rasse und Koppel					Kontroll- flächen
		MF	MLW	SF	ML	HS	
0,4	2	8	8	8	8	8	Keine Pflege
0,8	1	8	8	8	8	8	

SF - Schwarzköpfiges Fleischschaf

ML - Merinolandschaf

MLW - Merinolangwollschaf

MF - Merinofleischschaf

HS - Heidschnucken (Graue Gehörnte Heidschnucke)



### 3. Ergebnisse und Diskussion der Einzeluntersuchungen

#### 3.1 Nährstoffversorgung der Böden

Der Bodenuntersuchungen für die Mikronährstoffe Cu, Mn, Mo und Zn weisen am Versuchsstandort Schwerzau (Koppelversuch) nur für Mangan eine Unterversorgung der Kippböden nach (Tabelle 2).

Während im Hüteversuch die Versorgungslage bei Kupfer und Zink weitgehend mit dem Koppelversuch identisch ist, liegen die Mn-Werte deutlich über den in Schwerzau gemessenen Gehalten. Eine Ursache dafür könnte die jahrelange Ackernutzung und die damit verbundene, jedoch nicht dokumentierte Düngung sein.

In den Folgeuntersuchungen sind während der Beweidung keine, die zufällige Schwankungsbreite übersteigende, Veränderungen gegenüber den Kontrollflächen festzustellen (Abbildung 1).

Durch die Schafe werden nur geringe Nährstoffmengen abgeschöpft, der Hauptteil der Nährstoffe wird über die Ausscheidungen der Fläche wieder zugeführt. Im Hüteversuch sind ebenfalls keine Einflüsse der Beweidung auf die Bodennährstoffe nachzuweisen. Die losen Beziehungen zwischen Beweidung und Bodennährstoffen werden auch in Untersuchungen auf Halbtrockenrasengesellschaften (LEHNERT et al. 1999) und durch Bodenuntersuchungen von Schafweiden auf Agrarbrachen NICOLAI (1996) bestätigt.

**Tabelle 2: Mikronährstoffe der Böden (mg/kg Boden)**

		Fläche	Cu	Ref.-gehalt*	Mn	Ref.-gehalt	Mo	Zn
Koppelversuch	1996	Weide	1,9-2,3	2,0-4,5	9,4-11,2	15,0-25,0	7,3-8,3	1,1-1,2
		Kontrolle	2,4		8,4		8,7	1,2
	1997	Weide	4,8-5,0		9,3-9,9		/	1,5-2,4
		Kontrolle	2,9		28,0		/	1,6
Hüteversuch	1997	Weide	1,7-2,4	1,5-3,5	23,8-45,1	5,0-10,0	/	2,1-2,2
		Brache	1,7		16,6		/	2,4

\*Referenzgehalt Versorgungsstufe C (nach LUFA THÜRINGEN 1993); für Mo und Zn existieren keine Richtwerte für Grünland.

#### 3.2 Erosion

Die Ergebnisse der Kartierung aller offenen Bodenstellen im Hüteversuch zeigen keine gerichtete Vergrößerung der bestehenden Erosionsflächen durch die Weidenutzung (Tabelle 3). Demgegenüber wiesen einige kleinflächige Erosionsstellen (0,5-1,0 m<sup>2</sup>) und Erosionsbereiche mit lückigem Bewuchs die Tendenz zum Zuwachsen auf.

Über fotografische Analysen und durchgeführten Vermessungen von repräsentativen Flächen zu verschiedenen Zeitpunkten war ebenfalls kein negativer Einfluss der Beweidung auf das Erosionsgeschehen nachweisbar.

Im Unterschied zu den schon vor Versuchsbeginn vorhandenen Erosionsflächen, die während der Beweidungsperioden in ihren Ausmaßen weitgehend konstant geblieben sind, entstanden in Bereichen hoher Beanspruchung temporäre Erosionsstellen, die starken Modifikationen unterlagen. Die Areale von Tränken, Fangbuchten und Liegeplätzen

wiesen mit fortschreitender Nutzung sich ständig vergrößernde offene Bodenstellen von bis zu 20 m<sup>2</sup> Größe auf.

Die fortlaufenden Beobachtungen ließen in allen Versuchsjahren bereits zwei bis drei Wochen nach Weideabtrieb innerhalb der neu entstandenen Lücken einen Neuaufwuchs erkennen. In Abhängigkeit von den Niederschlägen waren 2 Monate nach Weideabtrieb bereits eine Vielzahl der vorher erodierten Flächen zugewachsen. Die entstandenen temporären Erosionsflächen haben sich jeweils bis zum Weideauftrieb im Folgejahr, mit Ausnahme einiger Triften, vollständig regeneriert.

Zusammenfassend lassen sich an Hand der vorgenommenen Beobachtungen keine negative Auswirkungen der Schafbeweidung auf das Erosionsgeschehen im sensiblen Böschungsbereich nachweisen. Temporäre durch intensive Beanspruchung entstandene Erosionsflächen regenerieren sich in der Ruhephase in hohem Maße.

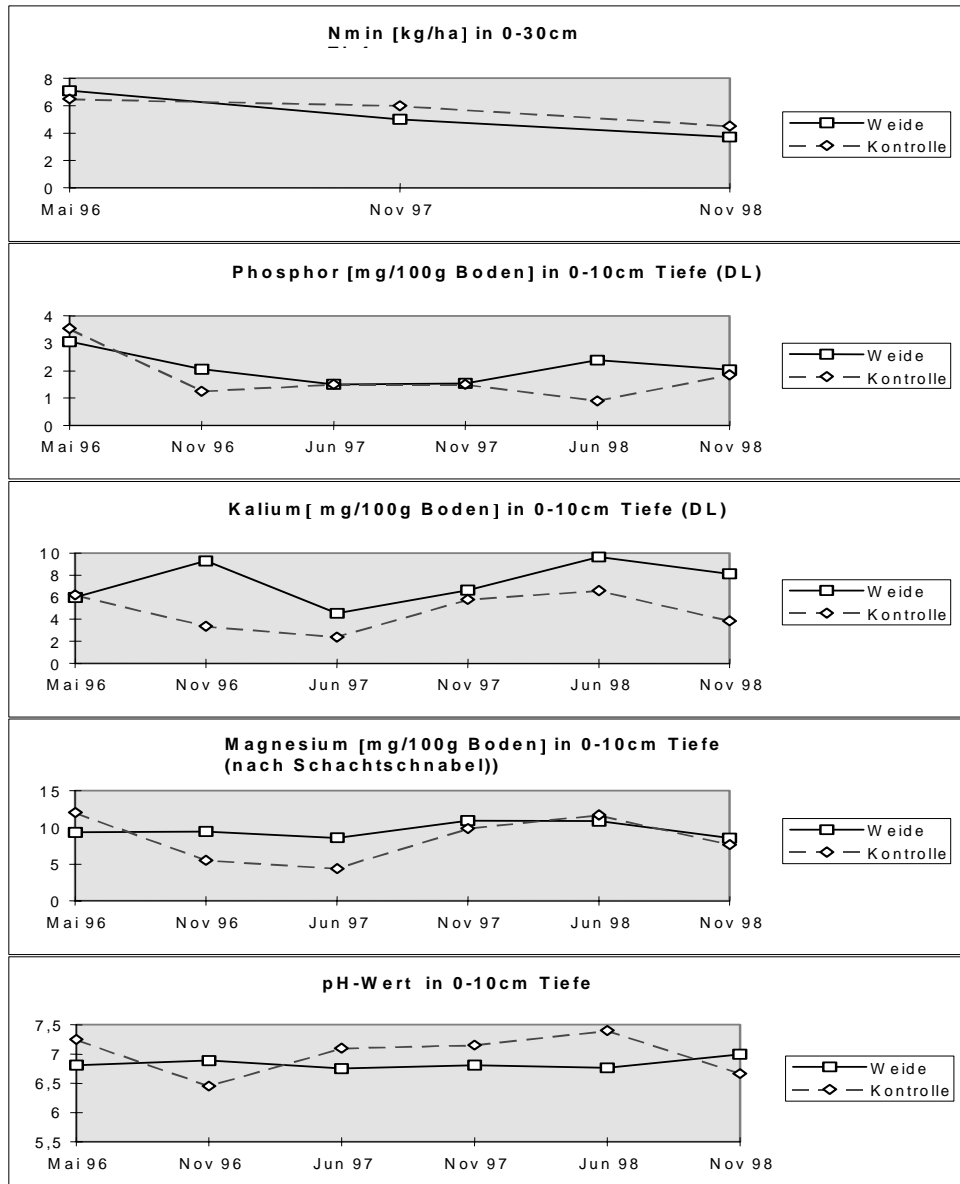


Abbildung 1: Verlauf der Nährstoffversorgung im Koppelversuch

### 3.3 Vegetation

#### 3.3.1 Verbiss

Der Verbiss wurde innerhalb von 26 Dauerbeobachtungsquadrate entsprechend folgender Skala bewertet:

- 0 - kein Verbiss nachzuweisen
- I - nur Blattspitzen- und Blütenverbissen, auch Neugierfraß
- II - Pflanze bis zu 50 % verbissen; häufig identisch mit ausschließlichen Verbiss der Blätter
- III - Pflanze über 50 % verbissen bis zum vollständigen Verbiss nahe dem Erdboden

Ergänzt wurden diese Aufnahmen durch Bewertungen auf der Gesamtfläche. Dies betrifft insbesondere die Arten, die in den Quadraten nicht oder nur in geringer Anzahl vertreten waren.

#### Verbiss der Pflanzenarten

In der ersten Periode der Beweidung beziehungsweise bei ausreichendem Futterangebot sind unabhängig von der Besatzdichte die in Tabelle 4 an Hand der mittleren Verbissraten dargestellten Präferenzen zu beobachten. Die Verbissintensitäten der Einzelarten sind in enger Abhängigkeit vom Futterangebot zu beurteilen. Die selektive Fressweise der Schafe und die damit verbundene Präferenz bestimmter Arten kommt nur bei einem Futterüberangebot und unmittelbar nach dem Beginn der Bewei-





dung bei intaktem Pflanzenbestand vollständig zum Tragen.

Zu Beginn der Beweidung werden Blütenknospen sowie Blüten- und Fruchtstände der Kräuter bevorzugt, gefolgt von den jungen Blättern schmackhafter Kräuter und Gräser. Dabei werden anfänglich jedoch nur begrenzte Areale beweidet. Der Blütenverbiss ist vielfach durch den Neugierfraß erklärbar und betrifft vorrangig auffällige Blütenstände.

Der Zusammenhang zwischen Verbissintensität und Futterangebot ist an Hand der praktizierten unterschiedlichen Besatzdichten von 4 und 8 Schafen pro Hektar nachvollziehbar. Bereits nach einem Monat Weidedauer war eine Differenzierung in den Verbissraten zwischen den Besatzdichten zu verzeichnen. Bei den 1996 durchgängig realisierten 0,8 GV/ha wurden die Versuchspartzen im Laufe der Versuchsperiode ab Ende Juli gleichmäßig beweidet und auch überständige und weniger gern aufgenommene Pflanzen gefressen, so dass kaum ein Weiderest verblieb. Das selektive Fressverhalten reduzierte sich im Laufe der Weideperiode auf geringfügige Differenzen in der Verbissintensität der einzelnen Spezies. Die durchschnittliche Ver-

bisshöhe lag bei 3 – 5 cm mit Extremen von bis zu 0,5 cm über dem Boden. Vom Verbiss ausgenommen waren nur *Cirsium vulgare*, *Carduus acanthoides* und *Calamagrostis epigejos* sowie Halme von zur Blüte gelangten Gräsern. 1997 war dieser Effekt schon bei den auf Grund des geringen Futteraufwuchses reduzierten Besatzdichten von 0,5 - 0,6 GV/ha zu verzeichnen. Es bestätigt sich die Tatsache, dass in trockenen Jahren auf vergleichbaren Kippbodenstandorten eine Besatzdichte von 8 Schafen/ha nicht durchgehend realisiert werden kann. Bei 0,5-0,6 GV/ha konnte ein weitgehend gleichmäßiger Verbiss der Flächen ohne weitere Narbenschädigungen beobachtet werden.

Das Blütenangebot innerhalb der 1 ha Koppeln sank im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollflächen drastisch. Der Sommerblühaspekt blieb aus. Analog dazu wurde im Hüteversuch nach dem Überhüten im Juli ein völliger Abbruch der Sommerblühphase festgestellt. Von ähnlichen Ergebnissen berichten DEMISE et al. (1996), die auf extensiven Elbtalauenstandorten bei Besatzdichten von 1,2 GV/ha nur wenige Fruchtstände selbst von den nicht vollständig verbissenen Pflanzenarten beobachten konnten.

**Tabelle 4: Mittlere Verbissintensität (V) der Pflanzenarten bei ausreichender Selektionsmöglichkeit**

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	V	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	V
<i>Lotus corniculatus</i>	Gemeiner Hornklee	2,5	<i>Bromus erectus</i>	Aufrechte Trespe	1,5
<i>Melilotus officinalis</i>	Hoher Steinklee	2,3	<i>Hypericum perforatum</i>	Tüpfelhartheu	1,5
<i>Artemisia vulgaris</i>	Gemeiner Beifuß	2,2	<i>Silene pratensis</i>	Weißer Lichtnelke	1,5
<i>Trifolium repens</i>	Weiß-Klee	1,9	<i>Festuca rubra</i> agg.	Rot-Schwengel	1,3
<i>Coronilla varia</i>	Bunte Kronwicke	2	<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras	1,3
<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras	2	<i>Festuca ovina</i> agg.	Echter Schaf-Schwengel	1,2
<i>Lactuca serriola</i>	Kompaß-Lattich	2	<i>Achillea millefolium</i>	Gemeine Schafgarbe	1,1
<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer	2	<i>Tussilago farfara</i>	Huflattich	1
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	1,9	<i>Agrostis capillaris</i>	Rot-Straußgras	1
<i>Verbascum densiflorum</i>	Großblütige Königskerze	1,9	<i>Elytrigia repens</i>	Gemeine Quecke	1
<i>Melilotus alba</i>	Weißer Steinklee	1,9	<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufkraut	1
<i>Vicia cracca</i>	Vogel-Wicke	1,9	<i>Centaurea stoebe</i>	Rispenflockenblume	1
<i>Bromus inermis</i>	Unbegrante Trespe	1,8	<i>Trifolium dubium</i>	Kleiner Klee	1
<i>Echium vulgare</i>	Gemeiner Natternkopf	1,7	<i>Bromus arvensis</i>	Acker Trespe	0,8
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	Gemeiner Löwenzahn	1,7	<i>Poa compressa</i>	Platthalm-Rispengras	0,8
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitzwegerich	1,7	<i>Picris hieracioides</i>	Gemeines Bitterkraut	0,8
<i>Trifolium pratensis</i>	Rot-Klee	1,7	<i>Bromus sterilis</i>	Taube Trespe	0,5
<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf	1,6	<i>Bromus tetorum</i>	Dach-Trespe	0,5
<i>Rumex acetosella</i>	Kleiner Ampfer	1,5	<i>Cirsium vulgare</i> R	Landzett-Kratzdistel	0,3
<i>Matricaria recutita</i>	Echte Kamille	1,5	<i>Carduus acanthoides</i>	Stachel-Distel	0,1
<i>Sisymbrium altissimum</i>	Hohe Rauke	1,5	<i>Calamagrostis epigejos</i>	Land-Reitgras	0
<i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	1,5			



Die Auswirkungen dieser Blütenarmut und der einheitlich niedrigen Vegetationsstrukturen auf die Arthropoden sind als negativ einzuschätzen. Untersuchungen von DOLEK (1993) und NICOLAI (1996) belegen einen Rückgang der Artenzahlen von Schmetterlingen und Wanzen infolge von Schafbeweidung, der bei dem einschneidenden Eingriff, wie ihn die Beweidung der 1 ha Koppeln darstellt, in hohem Maße auch auf den Versuchsflächen erwartet werden kann. Die starke Reduzierung hoher Vegetationsstrukturen wird sich auch nachteilig auf die netzbauenden, tagaktiven Spinnen auswirken (KEEP & MAELFAIT 1988 nach NICOLAI 1996).

In den 2 ha Koppeln prägte sich die selektive Fressweise der Schafe weiter aus. Kräuter wurden gegenüber den zunehmend überständigen Gräsern stark bevorzugt, wobei trotz des Verbisses der Blütenstände, eine Kräuterblüte auf der Gesamtfläche zu verzeichnen war.

Mit dem ersten Auftrieb konnte eine unterschiedlich starke Beweidung einzelner Koppelareale beobachtet werden, die sich auch in den Folgejahren zeigte. Dem Artenbestand scheint hierbei nur eine untergeordnete Rolle zuzukommen. Anfangs eher zufällig überweidete Teilflächen wurden in der Folgezeit bevorzugt aufgesucht. Diese Bevorzugung resultierte aus dem frischen Aufwuchs der verbissenen Flächen. Auf den weniger frequentierten Bereichen bildeten sich als Rückzugsräume für Insekten wichtige Inseln mit Altbeständen heraus. Mit Ausnahme der Randbereiche entlang der Zäune war über die drei Jahre hinweg kein festes Schema der Bevorzugung einzelner Areale festzustellen.

Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Verbissraten bei praktizierten Besatzdichten von 0,4 und 0,8 GV/ha. Die besprochene starke Differenzierung im Verbiss wird bei den bestandsbildenden Arten besonders deutlich. KNAUER (1993) weist auf analoge Zusammenhänge zwischen Besatzdichte und Verbissintensität am Beispiel einer beweideten Pfeifengraswiese hin. Am Pflanzenbestand der Böschung ließen sich keine Differenzen zwischen den Rassen im Verbiss ermitteln. Die in Tabelle 4 angegebene Beliebtheitsskala war im wesentlichen bei allen eingesetzten Rassen zu verzeichnen.

### **Verbiss von *Calamagrostis epigejos* (Land-Reitgras).**

Eine 1996 versuchsmäßig durchgeführte Beweidung eines Land-Reitgrasbestandes vor der Blüte sollte die Möglichkeiten des Zurückdrängens dieser „Problem“-art klären. Mitte Juli wurden 8 Mutterschafe der Rasse SKF auf einer Fläche von 500 m<sup>2</sup> mit dominierenden und dichten *Calamagrostis*-Bestand gekoppelt und an Hand von Dauerbeobachtungsquadraten der Verbiss abgeschätzt.

Selbst bei dem realisierten hohem Tierbesatz (entspricht 16 GV/ha) wurde *Calamagrostis epigejos* im geschlossenen Bestand nicht durch die Schafe befressen. Einzelne hochwachsende Kräuter wurden gezielt herausgefressen, ohne Land-Reitgras aufzunehmen. Die jährlich folgenden Vegetationsaufnahmen zeigten keine Veränderungen des *Calamagrostis*-bestandes.

Das Verschmähen von Land-Reitgras zeigte sich auch auf der Versuchskoppeln. In allen drei Weideperioden entwickelte sich die Land-Reitgras-Bestände innerhalb der Parzellen ungestört, während die anderen Pflanzen insbesondere in den 1 ha Koppeln einen durchgängig hohen Verbiss aufwiesen. Erhebungen aus dem Hüteversuch (GUNSCHERA 1999) und Untersuchungen von Troxler (1990), in denen Land-Reitgras als nicht gefressene Art eingestuft wird, bestätigen diese Untersuchungsergebnisse.

Nach den vorliegenden Resultaten scheint ein Zurückdrängen von *Calamagrostis epigejos* durch Schafbeweidung unter Praxisbedingungen nicht möglich zu sein. Um überhaupt einen Verbiss zu erzielen, müsste mit sehr hohem Weidedruck beim Hüten bzw. hohen Besatzdichten beim Koppeln gearbeitet werden, wobei eine Narbenschädigung der oft sensiblen Kippbodenstandorte nicht ausgeschlossen werden kann.

Auf Trockenrasenstandorten ist darüber hinaus der erhöhte Nährstoffeintrag zu berücksichtigen. Wie der FBM-Versuch (FBM 1999) und Erhebungen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (DOORMANN 1997) zeigen, ist durch eine einschürige Mahd eine Schädigung der *Calamagrostis*-Bestände zu erzielen. Eine gesicherte Aussage zum effektiven Management steht allerdings noch aus.

### **Gehölzverbiss**

Gehölzsämlinge, im vorliegenden Fall *Populus tremula*, wurden bis zu einer Stärke von 0,5 cm von



allen Rassen vollständig verbissen und wiesen in den darauffolgenden Vegetationsperioden keinen Neuaustrieb auf.

Auch bei älteren Gehölzaufwüchsen (2-3 m Höhe) ist bis zu einer Höhe von ca. 1,30 m ein Abschälen der Rinde und der gezielte Verbiss junger Triebe und Blätter durch die Schafe zu verzeichnen. Junge Aufwüchse (1-2 cm Durchmesser) die 1996 und 1997 auf diese Weise geschält wurden, starben bis zum Ende des Folgejahres weitgehend ab.

Die Schafe sind demnach in der Lage bei den realisierten Besatzdichten eine weitere Sukzession zu verhindern. Diese Aussage ist vorerst auf Flächen mit insgesamt geringem Gehölzanteil (< 1 %), analog zu den Versuchspartellen, einzuschränken. Auf stark verbuschten Weiden kann eine alleinige Kontrolle des Gehölzaufwuchses über die Weidetiere durch die dazu erforderliche, jedoch nicht vertretbare hohe Besatzdichte nur begrenzt möglich sein (TROXLER et al. 1990).

### 3.3.2 Deckungsgrade der Hauptbestandbildner

Für die Untersuchungen im Koppelversuch wurden pro Versuchskoppel und Kontrollfläche 2-3 Beobachtungsquadrate von je 4 m<sup>2</sup> Größe angelegt. Die Begehungen erfolgten unmittelbar vor Weideaustrieb beginnend, alle 4-6 Wochen.

Die in der Pflanzensoziologie üblichen Zeichen für Artmächtigkeitsanteile von unter 5 % wurden für die rechnerische Auswertung den folgenden Prozentzahlen zugeordnet, um Mittelwerte an Hand der erfassen Artmächtigkeiten zu berechnen  $r \Rightarrow 0,1 \%$ ;  $+ \Rightarrow 0,5 \%$ ;  $1 \Rightarrow 2 \%$ ;  $2 \text{ m} \Rightarrow 3 \%$ .

Bei den Begehungen der Gesamtflächen wurden alle vorkommenden Arten erfasst.

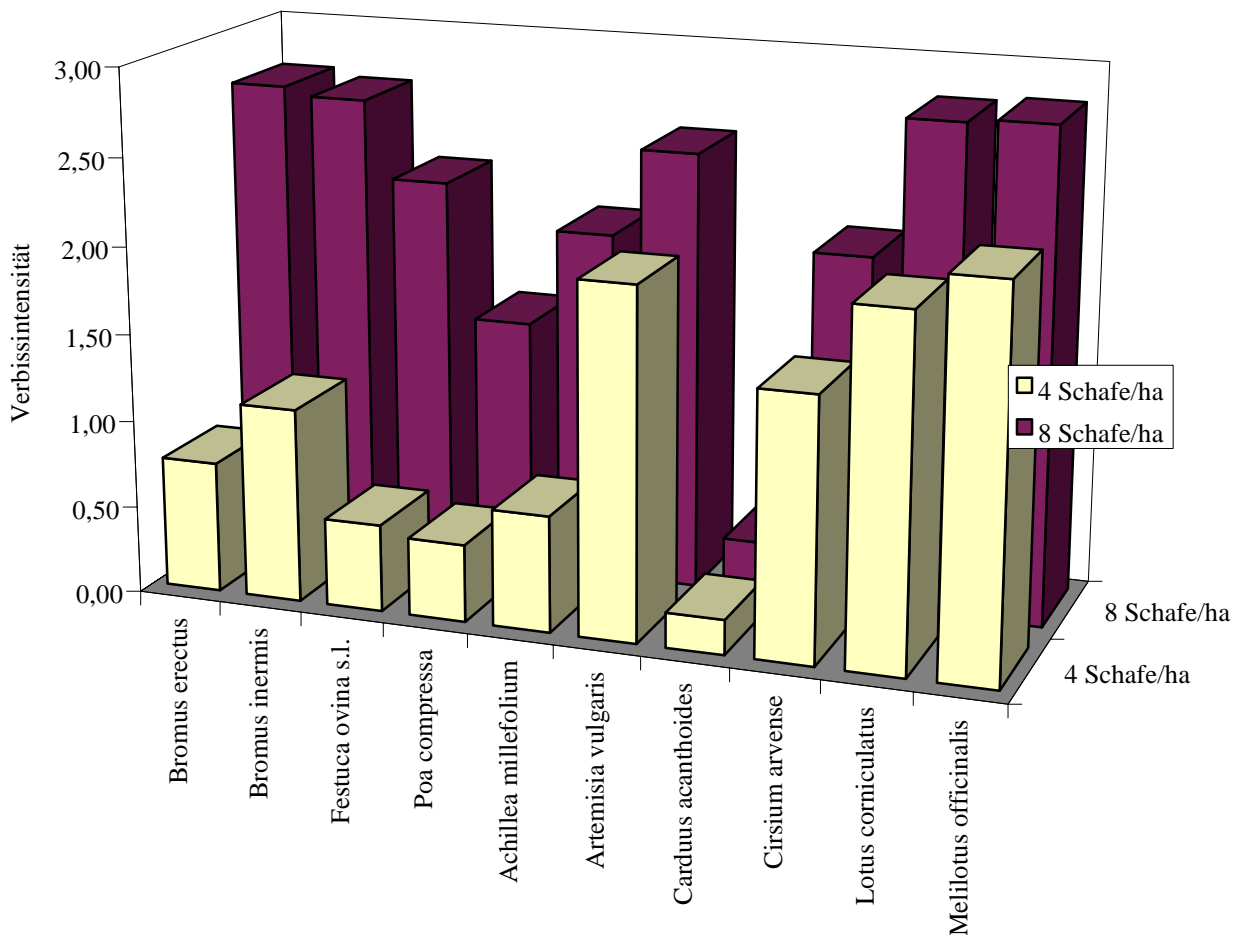
Die vor Beginn der Versuche genommenen Aufnahmen von Mai 1996 weisen niedrige Gesamtdeckungsgrade, die in Einzelfällen bei nur 60 % liegen, sowie eine lückige Vegetation nach. Die Erstaufnahmen lassen eine geringe Artendiversität, wie sie für junge begrünete Kippenflächen charakteristisch ist, erkennen. In der Mehrzahl der Dauerquadrate sind weniger als 10 Pflanzenarten vertreten, wobei 8 Spezies mit einer Stetigkeit von mindestens 60 % die Hauptbestandbildner darstellen. Die Deckungsgrade dieser Arten unterliegen jedoch einer sehr hohen Schwankung.

Die sich in Abbildung 3 abzeichnenden Veränderungen in den mittleren Deckungsgraden, können in Folge der hohen Variation der Basisdaten nicht eindeutig auf den Effekt Schafe zurückgeführt werden. Die den Mittelwerten zugrunde liegenden Dauerbeobachtungsquadrate wiesen innerhalb einzelner Arten verschiedene Entwicklungen mit teilweise konträren Tendenzen auf. Auf diese Problematik der gegensätzlichen Entwicklungen der einzelnen Aufnahmefläche unter einheitlichem Beweidungsregime, die oft auf kleinräumige Standortunterschiede zurückzuführen sind, verweist auch RIEGER (1996) im Ergebnis von 11-jährigen Beweidungsversuchen. Selbst Verschiebungen, die im Laufe der Untersuchungen in der Mehrzahl der Quadrate gleichgerichtet verliefen, lassen sich vorerst nicht durch die Beweidung und speziell den differenzierten Verbiss erklären, da ähnliche Effekte auch in den unbeweideten Kontrollflächen auftraten.

Nur die starke Ausbreitung von *Viccia cracca* war auf die Weideflächen begrenzt und setzte sich nicht in die benachbarten, unbeweideten Flächen fort. Die Gesamtdeckung lässt in der Mehrzahl der Dauerquadrate auf den Weideflächen einen Anstieg gegenüber den unbeweideten Arealen erkennen. Im Mittel der Versuchspartellen stieg die Gesamtbedeckung von 1996 bis 1998 um 8 %, während sie auf den Kontrollflächen eine rückläufige Tendenz aufwies. Diese Entwicklung wird durch eine signifikante Zunahme der Pflanzendichte bestätigt. Im Hüteversuch sind anhand der Frühjahrserhebungen nach zwei Versuchsjahren ebenfalls keine eindeutigen auf den abgeänderten Rhythmus der Schafbeweidung zurückzuführenden floristischen Veränderungen zu erkennen.

Bei der Beurteilung der indifferenten Vegetationsentwicklung zwischen den Jahren nach Einsetzen der Beweidung muss die aus pflanzensoziologischer Sicht kurze Untersuchungsperiode beachtet werden. Die Regenerationsmöglichkeit vieler Pflanzenarten über die vegetative Vermehrung wird in dieser kurzen Periode kaum beeinträchtigt. Darüber hinaus besteht der Pflanzenbestand zu einem großen Teil aus perennierenden Hemikryptophyten, deren an der Erdoberfläche liegenden Erneuerungsknospen nicht durch den Verbiss geschädigt werden.

Mögliche Störungen der generativen Vermehrung durch den ständigen Blütenverbiss können somit erst in größeren Zeitabständen zum Tragen kommen.



**Abbildung 2: Mittlere Verbissintensität in Abhängigkeit von der Besatzdichte (Durchschnittswerte aus 26 Beobachtungsquadraten, Aufnahmezeitpunkt 2. Junihälfte 1996)**

### 3.3.2 Gesamtartenzahl

Entgegen den weitgehend ungerichteten Veränderungen der Deckungsgrade der Hauptbestandbildner ist die Zahl aller in den beweideten Beobachtungsquadraten nachgewiesenen Pflanzenarten während der Versuchsperiode kontinuierlich angestiegen (Tabelle 5).

Die Gesamtanzahl nahm innerhalb des Beobachtungszeitraumes um 10 Arten zu. In den Kontrollflächen blieb die Artenanzahl nahezu konstant. Diese Zunahme war in allen Koppeln zu verzeichnen. Pro Beobachtungsquadrat stieg die Zahl der nachgewiesenen Arten um durchschnittlich 1,6 an.

Der Zuwachs in den beweideten Quadraten betrifft im wesentlichen die Kräuter, wobei es sich aus-

nahmslos um Arten handelt, die bereits im ersten Jahr auf der Versuchsfläche beobachtet, jedoch nicht durchgängig durch die Quadrate erfasst wurden. Eine nachweisbare Einwanderung von Arten von außerhalb des Versuchsareals erfolgte nicht. Die signifikant erhöhte Artenzahl in den Quadraten ist folglich durch eine Artenvermischung auf den beweideten Flächen bedingt, wobei die kleinräumige Samenverbreitung über den Kot (endozoochore Verbreitung), die Wolle und die Klauen (epizoochore Verbreitung) und die günstigeren Keimbedingungen (Beseitigung der Altstreuaufgabe, Auslichtung der Vegetation, durch Tritt verursachte kleinräumige Bodenverwundungen) eine wesentliche Rolle spielen dürften. Sowohl die Entwicklung eingeschleppter Samen als auch des Diasporenvorrates des Bodens wird hierdurch begünstigt.

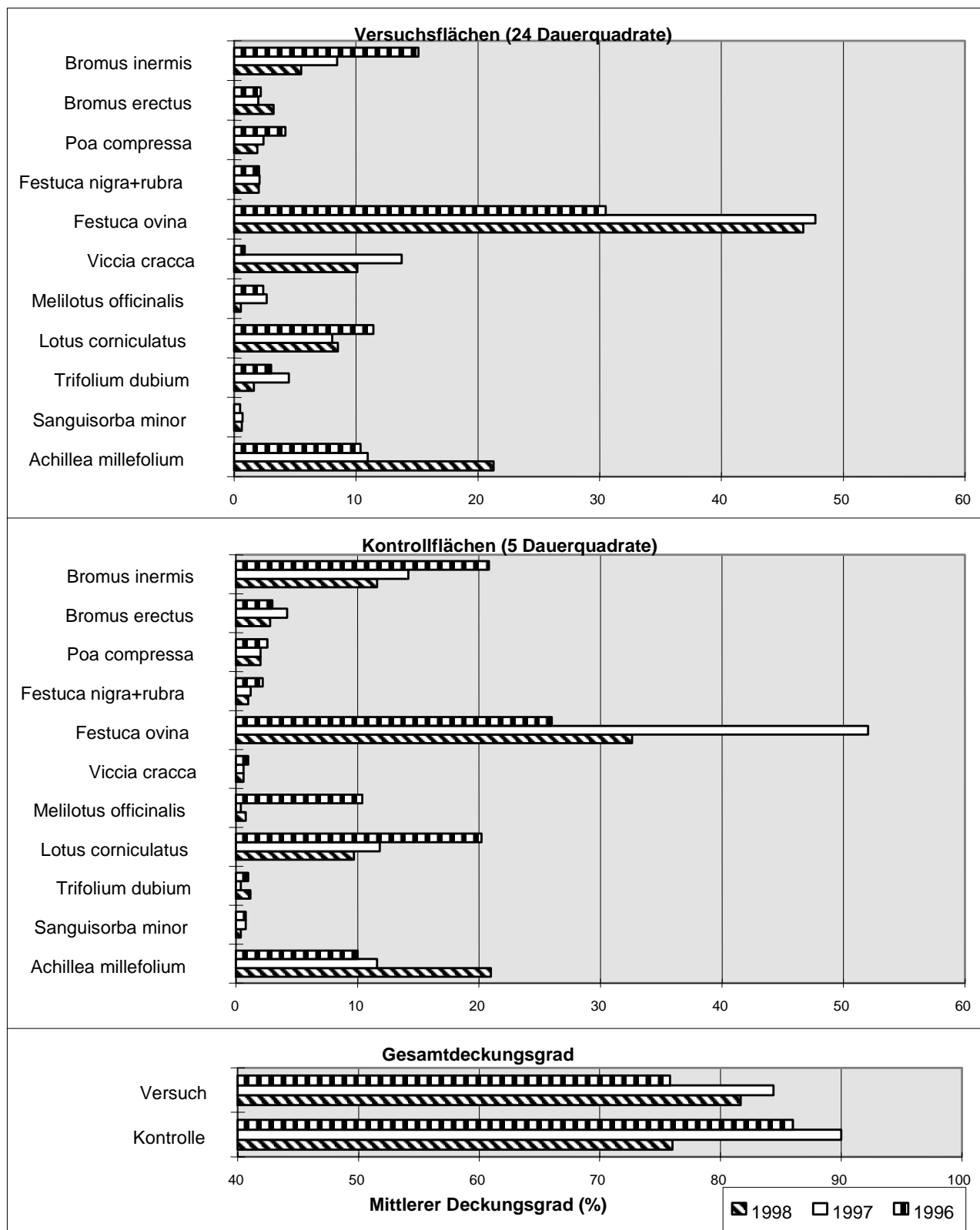


Abbildung 3: Deckungsgrade der Hauptbestandsbildner zu Weidebeginn



**Tabelle 5:** In den Dauerbeobachtungsquadraten nachgewiesene Pflanzenarten  
(Versuch: 24 Quadrate; Kontrolle: 5 Quadrate)

		Anzahl der Arten gesamt			Arten pro Quadrat					
		Gräser	Kräuter	Gesamt	Gräser		Kräuter		Gesamt	
		n	n	n	MW	STAW	MW	STAW	MW	STAW
Versuch	1996	11	18	29	4,62	1,44	5,08	1,82	9,70	2,69
	1997	10	21	31	4,04	1,16	5,42	1,50	9,46	1,96
	1998	12	27	39	4,58	1,56	6,75*	1,92	11,33*	2,85
Kontrolle	1996	8	17	25	4,8	1,10	5,8	3,03	10,6	3,71
	1997	7	14	21	3,4	0,55	5,2	1,79	8,6	2,07
	1998	8	17	24	3,4	0,55	6,6	2,70	10,0	3,16

\*signifikante Differenz zwischen 1996 und 1998  $\alpha=0,05$

In Untersuchungen an Schafen und den von ihnen verfrachteten Samen (FISCHER et al. 1995, 1996) ist die Verbreitung der Diasporen von Gräsern und Kräutern über die Wolle, die Hufe und den Kot eindeutig belegt. RIEGER (1996) konnte nach einer 11-jährigen Intervallbeweidung durch Koppelhaltung ebenfalls deutlich erhöhte Artenzahlen pro Flächeneinheit auf vorher brachliegenden Halbtrockenrasen nachweisen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass unter Praxisbedingungen durch eine Beweidung die Entwicklung der Artendiversität auf jung begrüntem Kippböden wesentlich forciert werden kann. Der Austauschereffekt wird sich bei einer Hüteschaffaltung und der damit verbundenen Bestreichung mehrerer Flächen im Laufe der Hüteperiode verstärken, vor allem wenn artenreiche Biotop (z.B. Magerrasen) in den Weiderhythmus integriert sind. Unter der Voraussetzung, dass die Koppelhaltung auf kleineren Splitterflächen zeitlich begrenzt und mit der Weide auf anderen Flächen kombiniert sein wird, ist auch bei diesem Haltungsverfahren mit einer Sameneinbringung von außerhalb zu rechnen, zumal keimungsfähige Samen über Monate im Fell transportiert werden können.

### 3.3.4 Pflanzendichte

Ergänzend zur subjektiven Einschätzung der Deckungsgrade wurde an drei Zeitpunkten die Vegetationsdichte gemessen. Hierbei erfolgte eine Auszählung der Berührungspunkte von Gräsern und Kräutern mit einem waagerechten 30 cm langen Stab in 5 cm, 10 cm, 30 cm und 60 cm Höhe. Die Ermittlung erfolgte zu Beginn der ersten Versuchsperiode (05/96), während der Beweidung (08/96) und zu Beginn der dritten Weidesaison (05/98).

Die ersten Messungen im Mai 1996 widerspiegeln die Struktur der unbehandelten Fläche. Die Augustmessungen 1996 lassen bei Gegenüberstellung der Kontroll- und Versuchsflächen den unmittelbaren Einfluss des Verbisses auf die unteren Vegetationsschichten (5 cm und 10 cm) erkennen. Unterschiede werden nur bei den Kräutern deutlich, während die Gräser keine wesentlichen Differenzen aufweisen.

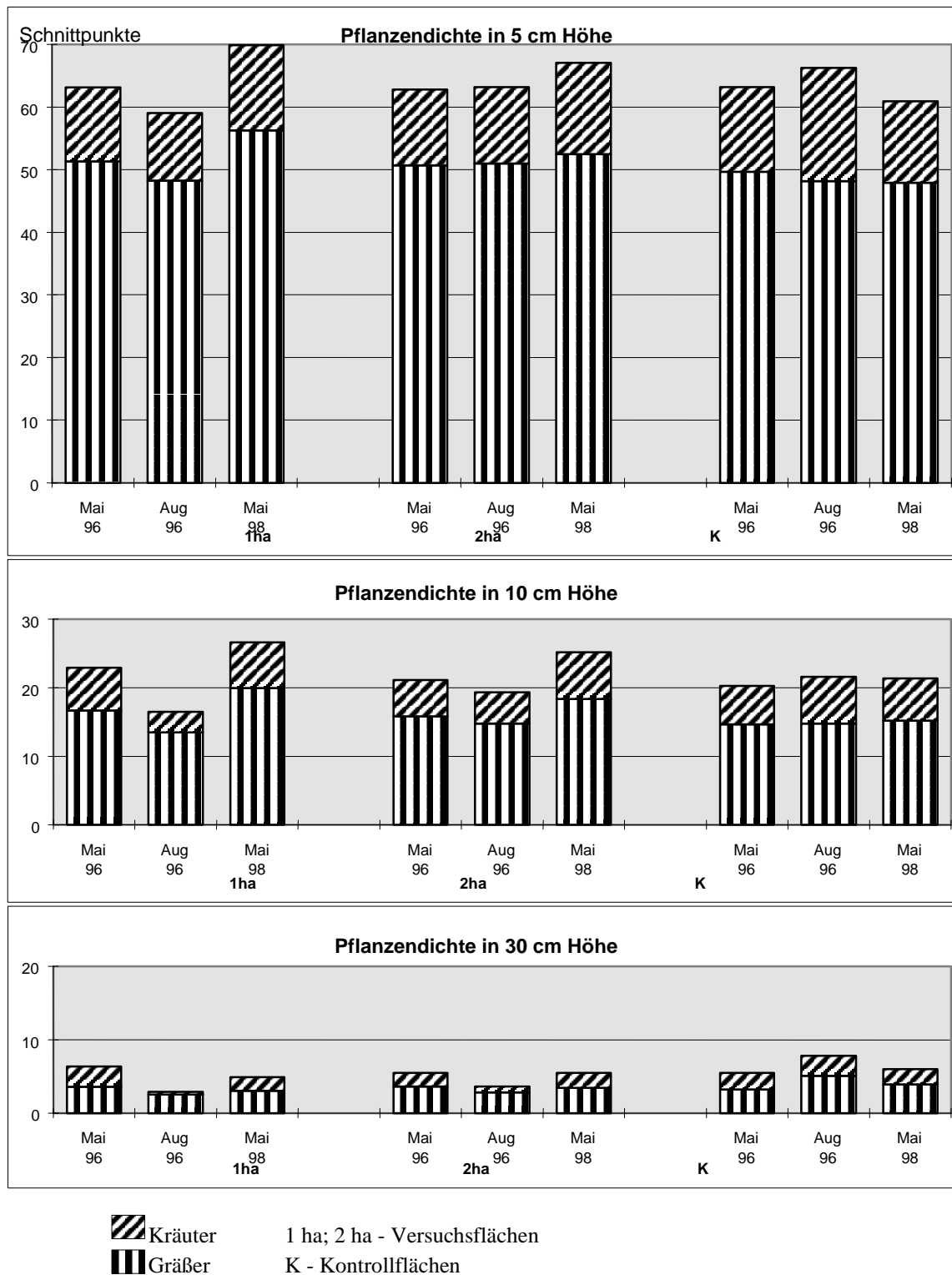
Die höheren Vegetationsebenen ab 30 cm unterlagen auf allen Versuchsflächen bis Anfang August einer deutlichen Reduzierung in Folge der Beweidung. Für die 1 ha Parzellen bedeutet dies eine fast vollständige Beseitigung der fertilen Triebe höherwachsender Kräuter.

Die Mai-Erhebungen zu Beginn der letzten Weideperiode zeigen einen deutlichen Effekt des Verbisses auf die Entwicklung der Pflanzendichte (Abbildung 4). Die beweideten Flächen weisen einen signifikanten Anstieg der Vegetationsdichte in 5 cm und 10 cm Höhe gegenüber der Erstaufnahme 1996 auf, wobei die Parzellen, die in den vorangegangenen zwei Weideperioden dem intensivsten Verbiss ausgesetzt waren, in der untersten Vegetationsschicht den höchsten Anstieg erkennen lassen. Die Anzahl vegetativer Organe nimmt in 5 cm Höhe innerhalb der 1 ha Flächen um 11 % zu, innerhalb der 2 ha Flächen liegt der Zuwachs bei 7 %. Selbst ein Verbiss von bis zu 0,5 cm über dem Erdboden und die damit verbundene teilweise Offenlegung des Bodens, wie sie u.a. in der Koppel III zu verzeichnen war, führte zu keiner dauerhaften Schädigung der Grasnarbe. Die Zunahme der Pflanzenzahl resultiert aus dem kumulativen Anstieg der ausgezählten Gräser und Kräuter. Vor allem in den Narbenlücken scheint die Beweidung die Keimungsraten zu erhöhen, wie auch Untersuchungen



von RIEGER (1984) zeigen. Bei den Kontrollflächen sind keine gerichteten über der natürlichen Schwankungsbreite liegenden Veränderungen nachzuweisen. Anhand der Ergebnisse der Dichtemessung kann von einer Förderung des Vegetati-

onsdichte durch die Beweidung insbesondere in den für einen Erosionsschutz wesentlichen unteren Pflanzenschichten ausgegangen werden. Eine nachhaltige Schädigung der Grasnarbe bei Besatzdichten von bis zu 0,8 GV ist nicht zu erwarten.



**Abbildung 4: Entwicklung der Vegetationsdichte im Hüteversuch**



### 3.4 Futterparameter

#### 3.4.1 Futterqualität (Weendener Futtermittelanalyse)

Monatlich erfolgte in allen drei Versuchsjahren während der Weidesaison die Erfassung der Futterreste mittels wechselnder Quadrate auf den genutzten Versuchsflächen (einschließlich Kontrollareale). Die Werte für die Monate Mai/Juni repräsentieren den noch unbeweideten Aufwuchs, während die September-Zahlen die Situation nach dem Weideabtrieb charakterisieren.

Bei einer Interpretation der Ergebnisse (Tabelle 6) ist davon auszugehen, dass in den Futterproben der Monate Juni/Juli, August und September - bei ständiger Beweidung der Flächen - der jeweils vorhandene Futterrest überrepräsentiert erscheint, während der frische, kurze Aufwuchs bei der Probennahme schwer zu erfassen war. Die genommenen Proben weichen andererseits in ihren Nährstoffgehalten mit Sicherheit vom tatsächlich durch die Schafe aufgenommenen Futter ab, weil die Tiere sehr selektiv fressen (RUMP 1994). Wenn 100 - 120 Gramm Rohprotein im kg Trockenmasse den Erhaltungsbedarf niedertragender Mutterschafe abdecken, macht Tabelle 6 sichtbar, in welchen Versuchsmonaten der Vegetationsperiode sich die normgerechte Versorgung der Versuchsschafe problematisch gestaltete.

Gravierend ist der Abfall der TM- und RP-Werte nach einem Monat Beweidung, wenn man die Ergebnisse der Monate Mai und Juni miteinander vergleicht. Während sich der Trockenmassegehalt durchschnittlich um 32,5 % verschlechterte, sind es beim Merkmal Rohprotein sogar 45,0 %.

Die Stärkeeinheiten weisen wie die Trockenmasse eine Verminderung von Beginn bis zum Ende der Vegetationsperiode, allerdings in abgeschwächter Form, auf. Wenn 450 - 540 Stärkeeinheiten den Erhaltungsbedarf güster Mutterschafe absichern, sind besonders die Monate August und September problematisch für die Deckung des Energiebedarfes auf Bergbaufolgeflächen. Die Umsetzbare Energie (ME) wurde erst 1998 als neuer Richtwert in die Tierfütterung eingeführt. Danach liegt für niedertragende Mutterschafe - in Abhängigkeit von der Körpermasse - der tägliche Energiebedarf bei zwischen 8,2 und 11,5 ME MJ/kg TM (50 bis 80 kg Körpermasse).

Bei einer Trockenmasseaufnahme von 1,0 (HS) - 1,5 kg (SKF; ML) pro Tier und Tag kann man davon ausgehen, dass 7,50 - 8,00 ME MJ im kg Trockenmasse ausreichen, um die Versuchsschafe aller Rassen ausreichend mit Energie zu versorgen. Nur in drei Koppeln fielen 1997/98 die Werte für die Umsetzbare Energie für einen Monat unter 7,00 ME MJ/kg TM.

Hinsichtlich der Absicherung des Energiebedarfes für die Versuchsschafe fallen die Werte für Umsetzbare Energie am Standort Schwerzau günstiger als die vergleichbaren Stärkeeinheiten aus. Deshalb sollten diese Werte bei der Einschätzung des Energiegehaltes von Weidefutter auf extensiven Standorten zukünftig favorisiert werden. Bei allen Futterinhaltsstoffen der Versuchsfläche Schwerzau liegen die Ergebnisse der Kontrollflächen günstiger als die Mittelwerte der 10 Koppeln. Ursächlich dürfte dieses Ergebnis auf den höheren und nicht verbissenen Kräuteranteil der Kontrollflächen zurückzuführen sein.

Für Areale mit einem hohen Gräseranteil, wie er für den Standort des Hüteversuches (Kleinleipisch) gegeben war, beeinflussen Beweidung und Mahd die Futterqualität scheinbar positiv. Insgesamt fielen auf der ungenutzten Kontrollfläche 1 schlechtere Mittelwerte für die Futterinhaltsstoffe an, als auf der im Juni gemähten Kontrollfläche 2 und den zweimal innerhalb der Vegetationsperiode - zu differenzierten Zeitpunkten - überhüteten Flächen I - IV.

In Tabelle 7 werden mittels der Weendener Futtermittelanalyse zusätzlich erfasste Inhaltsstoffe der Futterproben für beide Standorte im Verlauf der Vegetationsperiode dokumentiert.

Bei JILG et al (1997) verschlechterte sich der Rohfasergehalt im kg Trockenmasse von Weidefutter auf normalen Grünland von 211 g im Monat Mai auf 335 g im September. Das macht deutlich, dass es sich bei den Werten der Standorte Schwerzau und Kleinleipisch um Anschlusswerte handelt. Nach NEHRING et al. (1972) sollten die Werte für Weidefutter entsprechender Qualität bei 70 - 100 g Rohasche und 19 - 34 g Rohfett liegen. Für beide Versuchsflächen lagen damit die Rohasche- und Rohfett-Werte im Normalbereich.





**Tabelle 6: Entwicklung von Futterparametern im Mittel der Vegetationsperioden (VP) 1996-1998 für die Koppeln 1 - 10 und Kontrollflächen (KF)**

Fläche	Trockenmasse [% der FM]						Rohprotein [g/kg TM]					
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	VP	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	VP
Weide*	23,8	35,4	40,7	46,6	51,0	39,5	163	106	92	95	90	109
KF 1	20,4	30,2	31,5	37,0	43,4	32,5	193	123	107	110	101	127
KF 2	22,2	31,2	31,7	38,1	39,9	32,6	171	116	113	101	98	120
	Stärkeeinheiten [je kg TM]						Umsetzbare Energie [ME MJ/kg TM]					
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	VP	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	VP
Weide*	585	523	444	421	416	478	9,81	9,24	8,16	8,02	8,20	8,69
KF 1	618	580	505	488	477	534	10,08	9,50	8,74	8,88	8,66	9,17
KF 2	568	558	502	445	420	499	10,19	9,39	8,69	8,21	8,08	8,91

\*Mittel der Versuchskoppeln 1 – 10

**Tabelle 7: Entwicklung weiterer Inhaltsstoffe der Futterproben im Verlauf der Vegetationsperiode (VP) im Mittel der Jahre 1997/98 für die Standorte Schwerzau und Kleinleipisch**

	Parameter (g/kg TM)	Standort	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Mittel VP
Rohfaser	Schwerzau	Koppeln 1 – 10	253	278	316	330	328	301
		Kontr. 1 und 2	212	266	290	301	312	276
	Kleinleipisch	Flächen I – IV	275	288	313	316	296	298
		Kontr. 1 und 2	287	281	328	318	291	301
Rohasche	Schwerzau	Koppeln 1 – 10	80	72	69	66	71	72
		Kontr. 1 und 2	94	73	74	83	78	80
	Kleinleipisch	Flächen I - IV	94	78	79	98	94	89
		Kontr. 1 und 2	92	76	77	99	90	87
Rohfett	Schwerzau	Koppeln 1- 10	34	26	24	20	22	25
		Kontr. 1 und 2	41	27	29	26	22	29
	Kleinleipisch	Flächen I – IV	31	29	24	22	25	26
		Kontr. 1 und 2	30	30	24	22	28	27

**Tabelle 8: Entwicklung des durchschnittlichen Gehaltes an Spurenelementen 1996 und 1998 in den Futtermittelproben ausgewählter Flächen vom Standort Schwerzau**

Spurenelemente	Flächen	Aug. 1996	Mai 1998	Sept. 1998	Mittel	Variation
Calcium [g im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	9,8	9,2	6,5	8,5	3,9-12,3
	KF 1	12,1	8,5	12,4	11,0	8,5-12,4
Phosphor [g im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	2,2	2,1	2,0	2,1	1,7-2,9
	KF 1	2,3	2,1	2,3	2,2	2,1-2,3
Natrium [g im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	0,1	0,1	0,2	0,1	* 0,3
	KF. 1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1-0,3
Magnesium [g im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	1,5	1,9	1,3	1,6	0,7-2,3
	KF. 1	1,9	2,4	0,4	1,6	0,4-2,4
Kupfer [mg im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	17,3	8,9	8,6	11,6	6,9-22,4
	KF. 1	9,1	9,1	10,1	9,4	9,1-10,1
Zink [mg im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	29,0	31,9	40,4	33,8	23,6-60,6
	KF. 1	23,0	42,7	43,6	36,4	23,0-43,6
Mangan [mg im kg TM]	Mittel Ko. 3-9	50,3	42,5	76,2	56,3	31,5-104,3
	KF. 1	59,0	34,1	45,2	46,1	34,1-59,0

\*- nicht einschätzbar



### 3.4.2 Gehalt an Spurenelementen in den Futtermittelproben

1996 im August und 1998 in den Monaten Mai/September wurden die Futtermittelproben ausgewählter Koppeln und der Kontrollfläche 1 in Schwerzau auf Spurenelemente in Elementform untersucht (Tabelle 8).

Es fällt auf, dass die Mai-Werte 1998 bei den wenigsten Spurenelementen mit den August-Ergebnissen 1996 Übereinstimmung aufwiesen. Am Ende der Vegetationsperiode 1998 gab es beachtliche Verschiebungen bei einzelnen Spurenelementen, wenn man die September-Werte mit den Auftriebswerten vergleicht, die in Zusammenhang mit der Beweidung zu sehen sind, da sie teilweise auf den Kontrollflächen nicht so deutlich auftraten. Besonders gravierend fällt die Minderung der Calcium- und Magnesium-Werte aus, geringer dagegen die bei den Parametern Phosphor und Kupfer. Ein Anstieg der Werte war bei den Spurenelementen Natrium (gering), Zink (mittelmäßig) und Mangan (hoch) festzustellen

Verglichen mit Richtwerten an Spurenelementen, die NEHRING et al. (1972) für Weidefutter vor dem Ährenschieben bis nach der Blüte ausweisen, lagen die Phosphor- und Manganwerte darunter, die Ergebnisse bei Calcium, Magnesium, Kupfer und Zink demgegenüber darüber. Als Gründe für eine zu beobachtende Anreicherung bzw. Reduzierung von Spurenelementen bei spät genutzten Grünlandaufwüchsen gibt STEINHÖFEL (1997) eine Zunahme der Faserbestandteile, die Verringerung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe und die Verschiebung des Gräser : Kräuter - Verhältnisses an.

### 3.4.3 Ertragsschätzungen

Der Ertrag für den Standort Schwerzau (Hüteversuch) wurde mit Hilfe von Referenzflächen außerhalb der Koppeln geschätzt. Der Aufwuchs auf den Referenzflächen wurde zweimal geschnitten und der Trockenmasseertrag je Schnitt addiert. Zusätzlich wurde die je Hektar erzeugte Menge an Rohprotein in dt rechnerisch ermittelt und ausgewiesen. Während 1996 noch durchschnittlich 30,0 dt Trockenmasse und 3,2 dt Rohprotein geschätzt werden konnten, waren es 1998 nur noch 23,9 bzw. 1,9 dt (Tabelle 9).

Die rückläufige Tendenz im Trockenmasse- und Rohproteintrag war in erster Linie auf die diffe-

renzierten Witterungseinflüsse in den drei Versuchsjahren zurückzuführen. Die Kontrollflächen wiesen in Schwerzau in allen drei Versuchsjahren gegenüber den Referenzflächen leicht erhöhte Trockenmasse- und Rohproteinträge auf.

Für den Standort Kleinleipisch (Koppelversuch) erfolgte die Ertragsschätzung für die Jahre 1997/98 durch die Zusammenfassung der gewachsenen Biomasse vor der ersten Beweidung und dem folgenden Aufwuchs bis zum Ende der Versuchssaison (30.9.) und vor der zweiten Beweidung.

Ursache für die deutlich geringeren Erträge am länger landwirtschaftlich genutzten Standort Kleinleipisch -im Vergleich zu Schwerzau- dürften der geringere Anteil an Kräutern und Leguminosen sein. Die durchschnittlich geschätzten Erträge lagen an beiden Standorten für die beweideten Flächen bei 20 - 25 dt TM je Hektar. RIEDER (1983) bewertet Flächen bis 25 dt TM/ha und unter 1000 kg StE/ha als Hutungen, die nach Möglichkeit nicht unterteilt werden sollten. RIEHL (1998) geht davon aus, dass es sich bei Erträgen von 15 - 30 dt TM um sehr extensives Grünland handelt, welches nur zweimal nach Ruhezeiten von 100 - 200 Tagen mit weniger als 0,5 GV/ha beweidet werden sollte. BRIEMLE (1990) bezeichnet Flächen mit einem Ertrag von unter 35 dt TM bzw. 1000 kStE/ha als Mager- oder Trockenrasen, auf denen nur ein Heuschnitt nicht vor dem 15. Juli erfolgen sollte. Von RIEHL (1995) wurden auf extensiviertem Grünland in Sachsen Erträge von 2,4 bzw. 2,9 dt Rohprote/ha in mit Zweitschnittnutzung pro Jahr realisiert. Während die Werte in Schwerzau 1996/98 Anschlusscharakter aufwiesen, betrug sie in Hohenleipisch 1997/98 nur 63 % dieses Niveaus.

### 3.5 Blutparameter

Während der Weideperioden 1996 und 1997 wurden an drei Terminen von zufällig ausgewählten Tieren Blutproben genommen. Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig durchgeführt.

Die Monatsmittelwerte der untersuchten Parameter beider Jahre lagen weitgehend im physiologischen Toleranzbereich und schließen somit eine deutliche Mangel- oder Fehlernährung aus (Tabelle 10).



**Tabelle 9: Geschätzter mittlerer Ertrag für die Jahre 1996 – 1998 in dt Trockenmasse und dt Rohprotein**

Flächen	Geschätzter Ertrag in		Geschätzter Ertrag in	
	dt Trockenmasse	Variation	dt Rohprotein	Variation
Schwerzau				
Mittelwert Ko. 1- 10	23,9	6,5 – 46,0	2,5	0,6 – 4,8
KF 1 + 2	25,0	16,8 – 30,6	2,9	2,2 – 3,6
Kleinleipisch	dt Trockenmasse	Variation	dt Rohprotein	Variation
Mittelwert Fläche I-IV	19,5	11,7 – 28,8	1,8	1,4 – 2,4
KF. 1 (ohne Pflege)	19,7	12,5 – 26,9	1,8	1,7 – 2,0
KF. 2 (Mahd)	17,2	15,8 – 18,6	1,6	1,5 – 1,7

**Tabelle 10: Mittlere Blutwerte der Versuchstiere (innerhalb Rassen) während der Weidesaison**

			Harnstoff	Bilirubin 1	Bilirubin 2	GEW	AP	ASAT	Glukose	BHB
			[mmol/l]	[micromol/l]	[micromol/l]	[g/l]	[IU/l]	[IU/l]	[mmol/l]	[mmol/l]
1996	Juli	n=60	/	1,47	2,81	74,88	287,40	108,36	3,81	0,41
	Aug	n=52	/	1,62	2,07	76,98	244,80	118,56	3,12	0,43
	Okt	n=50	/	3,27	4,41	76,44	201,00	115,30	3,62	0,31
1997	Juli	n=52	6,13	1,81	3,50	77,92	244,73	102,59	3,69	0,26
	Aug	n=44	7,75	1,57	3,06	81,38	256,95	97,16	2,87	0,41
	Sept	n=54	10,13	1,96	3,73	78,67	216,17	92,56	3,67	0,29

GEW: Gesamteiweiß, AP: Alkalische Phosphatase, ASAT: Aspartat–Amino–Transferase, BHB:  $\beta$ -Hydroxy–Buttersäure

Bei den Glukosewerten, die sich insgesamt auf einem hohen Niveau bewegen, sind in beiden Jahren im August die niedrigsten Werte zu verzeichnen.

Parallel zu den steigenden Temperaturen, die eine eingeschränkte Futteraufnahme und ein verringertes Futterangebot bewirkten, stiegen die BHB-Werte. Sie signalisieren eine erhöhte Ketokörperbildung in Folge der Mobilisierung von Depotfett zur Energiegewinnung. Die Hochsommermonate stellen somit die kritischste Phase für eine bedarfsgerechte Ernährung unter den extensiven Weidebedingungen auf Kippböden dar.

Zwischen den Rassen lassen sich statistisch gesicherte Differenzen in den Reaktionen auf ein vermindertes Futterangebot nachweisen. 1997 ist der erwähnte Anstieg der Beta-Hydroxy-Buttersäure (BHB) bei den HS-, SKF- und MF-Tieren besonders ausgeprägt (Abbildung 5). Die ersten beiden Entnahmetermine dieses Untersuchungsjahres repräsentieren den Ernährungsstatus

bei stark variierendem Futterangebot. Unter diesen Bedingungen bauen die Merinofleischschafe, bei einem insgesamt niedrigeren Niveau der Körpermassen und damit einem geringeren Erhaltungsbedarf gegenüber den ML- und MLW-Tieren, verstärkt Körperfett ab. Dies schlägt sich in deutlichen Lebendmasseverlusten nieder.

Die wesentlich schwereren SKF regulieren ihren Energiebedarf ebenfalls zunehmend über die Depotfettmobilisierung. 1997 weisen die SKF im August sowie die SKF und die MF im September gegenüber den anderen Rassen signifikant höhere BHB-Werte auf. Die tendenziell hohen Werte bei den Heidschnucken in beiden Jahren deuten auf eine hohe Stoffwechselaktivität hin und sind nicht an Lebendmasseverluste gekoppelt.

Bei der Beurteilung der BHB-Werte ist zu berücksichtigen, dass sie sich bei allen Versuchstieren unterhalb des physiologisch bedenklichen Grenzwertes bewegen.

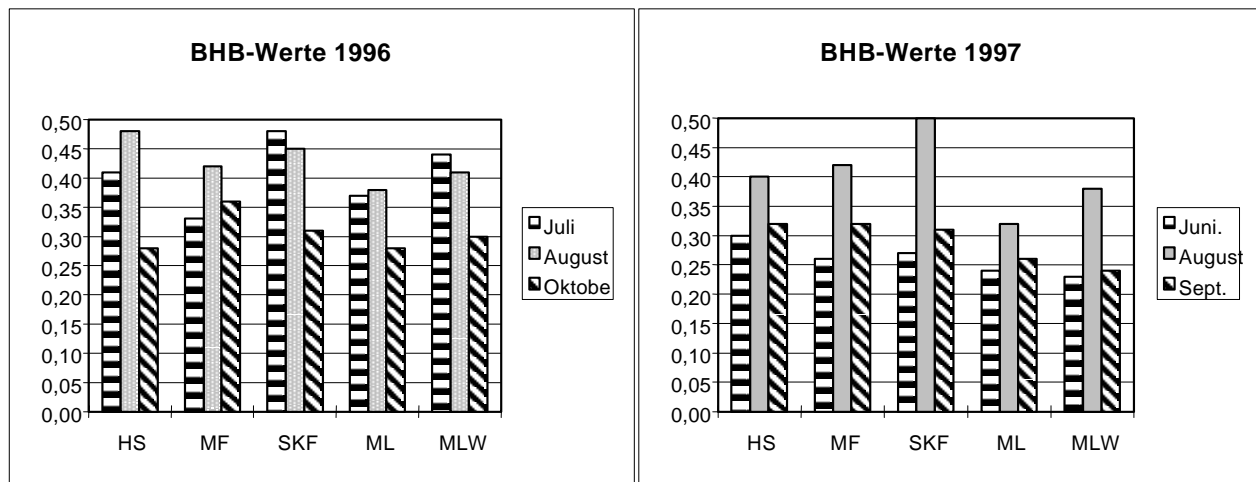


Abbildung 5: Beta-Hydroxy-Buttersäure-Konzentration [BHB] im Blut der Versuchstiere [mmol/l]

### 3.6 Leistungen der Versuchsschafe

#### 3.6.1 Körpermasseentwicklung

Alle Versuchsschafe wurden unmittelbar vor und nach der Weidesaison im Anschluss an die Schur und somit ohne Wolle gewogen. Erkrankte Tiere wurden von der Auswertung ausgenommen. Bei allen berücksichtigten Auf- und Abtriebsgewichten innerhalb eines Jahres handelt es sich um gepaarte Werte.

Die Lebendmasseentwicklung der Versuchsschafe (Tabelle 11) von 1996 bis 1998 lässt insgesamt, analog zu den ausgewerteten Blutparametern, eine ausreichend hohe Nährstoffversorgung erkennen. Nur mit ausreichend hohen Gewichten zum Ende der Weidesaison, die dem Rassenmittel entsprechen sollten, ist eine sichere Basis für das Erzielen guter Fruchtbarkeitsergebnisse gegeben. Gemessen an den Körpermassen zu Weideabtrieb entsprechen MLW, SKF sowie ML dem Mittel der Zuchtzielanforderungen während die MF-Tiere die Forderungen (70-80 kg) nicht ganz erreichen. Die HS wiesen 1997 und 1998 ein deutlich über dem Rassendurchschnitt (40-45 kg) liegendes Körpergewicht auf.

Ein gesicherter Effekt der Besatzdichte ist nicht nachzuweisen, wie eine getrennte Auswertung der 1996 durchgängig mit 0,4 und 0,8 GV/ha besetzten Koppeln zeigte.

Wie aus den in Tabelle 12 dargestellten Differenzen zwischen Auf- und Abtriebsgewicht zu ersehen ist, übt die Rasse einen signifikanten Einfluss auf die Lebendmasseentwicklung während der

Weideperiode aus. Die Prüfung der Gewichtsdaten ergibt über die drei Versuchsperioden hinweg eine tendenzielle Überlegenheit der ML gegenüber den MF. Die Rassen MLW, SKF und HS nehmen bei diesem Parameter eine Mittelstellung ein. Die MF-Tiere weisen als einzige Rasse in allen drei Jahren signifikante Abnahmen auf.

Bei der Einschätzung der Gewichtsentwicklung ist die negative Beziehung zwischen Anfangslebensmassen und Zunahmen und die unterschiedliche genetische Wachstumskapazität der Rassen zu berücksichtigen.

Die bei allen Rassen beobachtete ungünstigere Gewichtsentwicklung der zu Weidebeginn schwereren Tiere kann neben dem erhöhten, abzudeckenden Erhaltungsbedarf durch eine eingeschränkte Futteraufnahme gegenüber den leichteren Tieren bedingt sein, wie es Untersuchungen von ARNOLD & BIRRELL (1977) belegen. In Anbetracht der in allen Jahren nachgewiesenen negativen Korrelationen zwischen Zunahmen und Anfangslebensmassen fällt die günstigere Gewichtsentwicklung der ML und SKF gegenüber den MF noch stärker ins Gewicht, da beide Rassen von etwa gleichem bzw. höherem Niveau aus die Weideperiode begonnen haben. Bei Korrektur der Zunahmen auf die Regression zum Anfangslebensgewicht innerhalb der Intensivrassen (Tabelle 12), die ähnliche rassenspezifische Wachstumskapazitäten aufweisen, werden wesentliche Unterschiede erkennbar. Die MF-Tiere liegen bei der Gewichtsentwicklung deutlich unter dem Niveau der anderen Rassen.



**Tabelle 11: Gewichtsentwicklung [kg] im Koppelversuch**

Rasse		1996				1997				1998			
		Auftrieb	R*	Abtrieb	R*	Auftrieb	R*	Abtrieb	R*	Auftrieb	R*	Abtrieb	R*
HS	n	15		15		16		16		16		16	
	x	42,47	3	49,00	3	52,63	3	52,49	3	58,81	3	54,53	4
	s	5,46		2,78		5,51		4,05		11,29		9,02	
MF	n	15		15		16		16		15		15	
	x	71,33	1,5	66,27	2	68,81	2	66,56	2	71	2	64,62	3
	s	8,93		5,09		6,61		5,21		7,9		7,95	
MLW	n	13		13		16		16		16		16	
	x	80,54	1,5	76,11	1	71,13	1,5	73,71	1,5	71,56	2	74,08	2
	s	8,9		8,8		12,13		10,53		11,06		7,89	
ML	n	13		13		16		16		15		15	
	x	68,92	2	78,73	1	74,44	1,5	79,39	1	79,47	2	77,27	1,5
	s	10,59		7,54		11,54		8,61		17,13		11,85	
SKF	n	15		15		16		16		15		15	
	x	82,2	1	82,47	1	78,25	1	80,54	1	90,06	1	84,08	1
	s	17,09		11,25		9,62		9,54		18,32		11,72	

R\* - Rang; signifikante Differenzen zwischen den Rassen bei Rangunterschieden  $\geq 1$  ( $\alpha=0,05$ )

**Tabelle 12: Zu- /Abnahmen [kg] der Versuchsschafe während der Weideperioden**

Rasse	Unkorrigiert						Korrigiert auf Anfangsgewicht		
	1996	R	1997	R	1998	R	1996	1997	1998
HS	6,53	1,5	-0,14	2	-4,28	2	/	/	/
MF	-5,06	2,5	-2,25	2,5	-6,38	2	-6,97	-3,19	-7,56
MLW	-4,43	2,5	2,58	1,5	2,52	1	-2,42	2,14	1,55
ML	9,81	1	4,95	1	-2,2	1,5	6,88	5,23	-0,22
SKF	0,27	2	2,29	1,5	-5,98	2	2,98	3,39	-0,06

**Tabelle 13: Gewichtsentwicklung [kg] im HütEVERSUCH**

Rasse		1996			1997			1998		
		7.5.	27.9.	Zunahme	30.6.	30.10.	Zunahme	17.07.	7.11.	Zunahme
SKF	n	26	26		26	26		22	22	
	MW	65,6	72,3	6,7*	79,7	89,4	9,7*	77,00	88,75	11,75*
SU	n	27	27		22	22		25	25	
	MW	64,9	70,9	6,0*	80,6	87,9	7,3*	79,68	84,74	5,06*
ML x	n	25	25		20	20		24	24	
MLW	MW	64,5	73,4	8,8*	80,8	86,9	6,1*	80,13	84,56	4,44*
RH x	n	20	20		18	18		19	19	
ML	MW	58,1	67,2	9,1*	72,3	74,8	2,5	70,37	73,45	3,08

\*signifikante Differenzen zwischen 1. und 2. Wägung ( $P<0,05$ )

SKF: Schwarzköpfiges Fleischschaf, SU: Suffolk, ML: Merinolandschaf, MLW: Merinolangwollschaf, RH: Röhnschaf



An Hand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist davon auszugehen, dass die Futteransprüche für eine wollbetonte Intensivrasse, wie sie das MF darstellt, auf den nährstoffarmen Kippbodenstandorten nicht ausreichend erfüllt werden können. Wie sich schon bei den Blutwerten andeutet, reagieren die Merinofleischschafe auf ein eingeschränktes Futterangebot mit einem überdurchschnittlichen Depotfettabbau. Diese Rasse scheint darüber hinaus in Hitzeperioden nur in eingeschränktem Maße zur Thermoregulation in der Lage zu sein, wodurch die Futteraufnahme eingeschränkt ist. In den drei untersuchten Weideperioden des Hüteversuches sind deutliche Zunahmen bei allen Rassen zu verzeichnen (Tabelle 13). Die Körpermassen zeigen das hohe Leistungsvermögen der vertretenen Rassen auf extensiven Kippstandorten. Nährstoffarme Kippböden mit geringem Ertragspotential können eine ausreichend hohe Futtergrundlage für Mutterschafe während der Sommermonate darstellen.

Differenzierter ist die mögliche Lebendmasseentwicklung von Lämmern unter dem Gesichtspunkt der Mastlammproduktion zu sehen. Die Herde in Kleinleipisch wurde in allen drei Jahren nach dem Absetzen ohne Lämmer auf die Kippenflächen aufgetrieben, da nach den Erfahrungen des Schäfers eine ausreichende Versorgung von Mastlämmern auf diesen Standort nicht gegeben ist. Wie die Untersuchungen von WALTHER (1997) zeigen, lassen sich bei ausschließlicher Beweidung von Kippenflächen nur geringe Lebensstagszunahmen bei den Mastlämmern realisieren.

Eine Beeinträchtigung der späteren Leistungsentwicklung von Remonten muss durch solche für

die Erzeugung von Mastlämmern unrentable Zunahmen allerdings nicht gegeben sein.

### 3.6.2 Wollertrag und Wollfeinheit

Der Wollertrag wurde im Ergebnis zweier Halbschuren, getrennt nach Weide und Stallhaltung, jährlich für den Zeitraum der Versuchsdauer (88 – 133 Tage) quantifiziert. Die zweimalige Schur innerhalb eines Jahres begünstigt naturgemäß den Wollertrag in der Zeiteinheit. Die daraus hochgerechnete Jahresleistung (365 Tage) dürfte um 15 - 25 % überschätzt sein (in Abhängigkeit von der jeweiligen Rasse). Die höchste Wollerzeugung für alle Rassen war 1996 zu beobachten, dem Jahr mit Höchstwerten für Futterertrag und -qualität.

Rückschlüsse auf den Wollertrag erlauben auch die objektiven Wollfeinheitsdaten, jeweils bei der Schur vor Weideauftrieb mittels entsprechender Flankenproben an 100 Wollhaaren festgestellt. Nach diesen Werten war das Jahr mit der höchsten Wollfeinheit 1996, entsprechend der positiven Korrelation zwischen Wollfeinheit und Schurertrag, bei allen Rassen identisch mit dem jeweilig höchsten Schurertrag in der Weidesaison. Im Mittel der drei Jahre liegen die MF- und ML-Versuchsschafe erwartungsgemäß mit 25,14 bzw. 26,47 Mikron im Feinwollbereich (23,5 - 26,5 Mikron). Im halbfeinen Sortiment (28,5 - 32,5 Mikron) liegen die MLW- und HS-Tiere mit durchschnittlich 29,97 bzw. 32,1 Mikron. Die HS-Versuchsschafe entsprechen damit nicht dem Zuchtziel, das 37 - 40 Mikron fordert. Grobe Wolle mit im Mittel 33,2 Mikron weisen die SKF-Versuchsschafe auf und entsprechen damit dem Rassenstandard.

**Tabelle 14: Zuwachs an Schweißwolle (SW) während der Weidesaison nach Rassen**

Rasse	Jahr	Anzahl Tiere	WWT	kg SW	s	Zuwachs Gramm SW je Tag
MF	1996	15	143	2,77	0,50	19,4
	1997	16	114	1,84	0,27	16,1
	1998	7	224	3,40	0,63	15,2
ML	1996	13	143	2,36	0,25	16,5
	1997	16	114	1,65	0,25	14,5
	1998	15	147	2,18	0,41	14,9
MLW	1996	15	143	2,86	0,56	20,0
	1997	16	114	1,96	0,33	17,2
	1998	9	147	2,34	0,36	16,0
SKF	1996	16	143	1,91	0,40	13,4
	1997	16	114	1,37	0,22	12,0
	1998	13	177	2,14	0,34	12,1
HS	1996	16	143	1,30	0,13	9,1
	1997	16	114	0,91	0,14	8,0
	1998	16	147	1,21	0,20	8,3

\* WWT-Wollwachstumstage



### 3.6.3 Fruchtbarkeitsleistungen

Verglichen mit der Hütelhaltung der Schafe der Herde Oberholz, wo die Versuchstiere während der Winterperiode eingestallt waren, ergaben sich für die Lammzeit 1996/97 nur geringfügig schlechtere Werte für die Koppelschafhaltung im Bereich von -2,3 % für die Ablammergeburt und -5,8 % im Ablammergeburtsergebnis. Nicht befriedigend konnten 1996/97 bei den Versuchsmutterschafen mit 18,0 % (im Normalfall 5-10 %) die Anzahl güster (leerer) Tiere und die Lämmerverluste in Höhe von 24,1 % (tolerierbar bis zu 15,0 %). Die hohen Lämmerverluste gehen eindeutig zu Lasten der Stallhaltung, mit teilweise zu einseitiger Silagefütterung an die Mutterschafe und eine dadurch bedingte schlechte Säugeleistung derselben. Dagegen dürfte die nicht

normgerechte Futterbereitstellung in den Monaten August und September 1996/97 in Verbindung mit der mangelnden Vorbereitungsfütterung für die Versuchsmutterschafe die unzureichenden Befruchtungsergebnisse stark mit beeinflusst haben. 1997 wurden die Mutterschafe sofort nach Abtrieb in die bereits laufende Deckperiode einbezogen, ohne eine Anpassungsperiode bei der Umstellung von Weide auf Stallhaltung zu realisieren und ohne die vierzehntägige Zufütterung von energiereichem Kraftfutter (Flushing) in Vorbereitung auf die Bedeckung nutzen zu können, wodurch sich die Fruchtbarkeitsleistungen verschlechterten (Tabelle 15). Diese Zahlen machen sichtbar, dass bei der Haltung von Mutterschafen einheimischer Rassen unter extensiven Bedingungen der Vorbereitung auf die Deckperiode eine wesentliche Bedeutung zukommt.

**Tabelle 15: Fruchtbarkeitsleistungen von Versuchsschafen und Kontrolltieren für 1997/98**

Kennzahlen	Versuchsschafe	Hüteschafe (Oberholz)
Befruchtungsziffer %	*87,2	94,2
Ablammergeburt %	157,8	175,4
Aufzuchtergebnis %	117,6	137,4
Anteil leerer Tiere %	27,0	11,6

\*die durchschnittliche Befruchtungsziffer wurde ohne die Daten der streng saisonalen HS-Tiere berechnet

**Tabelle 16: Verhaltensaktivitäten der Rassen MF, ML, SKF und HS nach der Ereignis-Teil-Methode bei Berücksichtigung der Temperaturklassen für 1998**

Temp. Klasse	Anzahl Tage	Mittel Temp.	Aktivitäten in % der Untersuchungszeit						
			Rasse	Liegen	Stehen	Fressen	Laufen	Saufen	sonst. Aktivität
1	8	14,4°C	MF	22,1	39,6	35,2	3,1	---	---
			ML	39,7	29,6	27,4	2,9	---	3,7
			SKF	30,3	16,1	52,1	0,9	---	0,6
			HS	33,9	14,9	48,7	2,0	0,2	0,3
2	14	21,6°C	MF	35,7	39,8	17,4	6,0	0,8	0,4
			ML	36,3	28,8	29,4	3,8	0,1	1,7
			SKF	39,3	17,1	41,0	2,0	0,2	0,2
			HS	60,4	13,2	23,6	2,0	0,1	0,6
3	9	29,6°C	MF	24,7	46,5	23,7	3,9	1,2	---
			ML	52,2	29,2	18,2	---	---	0,2
			SKF	34,3	21,8	40,3	3,2	0,3	---
			HS	53,6	27,0	17,5	1,6	0,2	0,1
TK 1-3	31	22,1°C	Mittel	39,4	26,7	30,4	2,8	0,3	0,5





### 3.7 Verhalten der Versuchstiere

Das Verhalten der Versuchsschafe wurde in allen drei Versuchsjahren durch die Ereignis-Teil-Methode nach BOGNER & GRAUVOGEL (1984) quantifiziert.

Die Werte in Tabelle 16 zeigen, dass HS- und ML-Tiere bei höheren Temperaturen deutlich die Aktivität Liegen bevorzugen, die weniger stoffwechselbelastend als das von den MF-Schafen favorisierte Stehen sein dürfte. FISCHER (1998) fand beim Vergleich des Verhaltens von 2 Schaf- und 2 Rinderrassen auf extensivierter Nieder-moorweide heraus, dass MF-Tiere statistisch gesichert länger stehen als Skudden (SK) und eine negative Beziehung zwischen Futteraufnahme und Sonnenscheindauer aufweisen.

In Temperaturklasse 3 überzeugten die SKF-Tiere mit der höchsten Fresszeit von 40,3 % und weisen damit ihre Eignung für die Freilandhaltung überzeugend nach.

Auffällig ist in allen drei Versuchsjahren das Fressverhalten der MF-Tiere, welches häufig durch die Aktivitäten Laufen und Stehen häufig unterbrochen wurde und dadurch insgesamt unruhig wirkte (Tabelle 17). In der Aktivität Fressen dominierten eindeutig die SKF-Versuchstiere, gefolgt von HS- und ML-Schafen. Am niedrigsten und mit negativen Auswirkungen auf die Entwicklung der Körpermasse gekoppelt war der Wert der MF-Tiere, die wegen ihres dichten Vlieses vor allem bei höheren Temperaturen Thermoregulationsprobleme bekamen. FISCHER (1998) schätzt das MF als ungeeignet für extensive Standweiden ein, weil die Tiere außerdem eine schlechte Weideauslastung aufwiesen, welche

eine ungleichmäßige Vegetationsstruktur in den genutzten Weidearealen zur Folge hatte. Die Aktivität Liegen wurde von den HS dominiert, gefolgt von ML- und SKF-Schafen. Die sicherlich den Stoffwechsel mehr belastende Aktivität Stehen wird eindeutig von den MF-Schafen angeführt. Es folgen die ML und SKF-Versuchsschafe. Während die MF-Tiere, mit den geschilderten Auswirkungen die Aktivität Laufen dominieren, sind es bei sonstigen Aktivitäten die Rassen ML und HS.

Die Akzeptanz der installierten Schutzhütten wies ebenfalls Unterschiede nach Rassen und Temperaturen auf. An 26 insgesamt für Verhaltensuntersuchungen genutzten Tagen der Weidesaison 1998 wurden die Schutzhütten wie folgt frequentiert:

ML - 4 Tage; HS - 5 Tage; MF - 14 Tage; SKF - 24 Tage.

Während die SKF-Tiere bei Regen, normaler Witterung und Hitze ziemlich gleichmäßig die Schutzhütten beanspruchten, wurden sie von den ML- und HS-Schafen bei niedrigen Temperaturen gemieden. Eine zunehmende Inanspruchnahme der überdachten Hütten ist bei den Merinorassen (MF, ML) mit steigender Temperatur festzustellen.

Anders das Verhalten der SKF- und HS-Tiere, die bei sehr hohen Temperaturen lieber auf unbedeckter Erde lagerten und die ausgewählte Liegestelle vor der Nutzung vom heißen Sand frei scharften. FISCHER (1998) merkt an, dass die MF-Versuchsschafe deutlich länger ihre Schutzhütte beanspruchten als die Skudden. Die Errichtung von seitlich offenen aber überdachten Schutzhütten trägt nach vorliegenden Untersuchungen zur Steigerung des Wohlbefindens der Versuchsschafe bei.

**Tabelle 17: Vergleich der prozentualen Aktivitäten von Versuchsschafen im Mittel der Versuchsjahre**

Rasse	Jahre	Aktivitäten in % der Untersuchungszeit					
		Liegen	Stehen	Fressen	Laufen	Saufen	Sonst.
MF	1996-1998	27,2	44,2	23,3	4,5	0,4	0,3
ML	1996-1998	43,7	24,4	27,3	2,9	0,1	1,6
SKF	1996-1998	35,7	20,6	41,1	2,0	0,3	0,2
HS	1997-1998	49,4	15,8	32,2	1,4	0,3	1,0





#### 4. Schlussfolgerungen

- Junge anspritzbegrünte Kippböden können bereits ab dem dritten Jahr nach ihrer Ansaat einer Beweidung unterzogen werden. Die Pflanzendichte und Artenvielfalt wird durch eine Beweidung gefördert. Eine Schafhaltung ist auch in sensiblen Böschungsbereichen möglich, ohne die Grasnarbe zu schädigen und die Erosion zu forcieren.
- Während der Weideperiode durch häufige Frequentierung entstehende offene Bodenstellen regenerieren sich in Ruhephasen in hohem Maße. Um ihre Entstehung zu reduzieren, sollten Tränk- und Futterplätze, Fangstände sowie Schutzdächer bei längerer Weidenutzung (z.B. Standweide) mindestens einmal pro Weidesaison umgesetzt werden.
- Als Weideverfahren sind sowohl die Hüte- als auch die Koppelhaltung möglich. Die Wahl des Verfahrens ist in Abhängigkeit von der Flächengröße, der Erreichbarkeit der Flächen und dem Pflegeziel zu treffen.
- Hinsichtlich der Förderung des Artenaustausches und der Aufwertung junger Ansaatflächen ist die Hütehaltung unter Einbeziehung von Biotopen mit hoher Artendiversität (z.B. Magerrasen) zu favorisieren. Unter der Voraussetzung der zeitlich begrenzten Koppelung auf kleineren Splitterflächen, können ebenfalls artenreiche Weideflächen im Vorfeld überhütet werden, um die gewünschte Sameneinbringung zu realisieren.
- Durch die Beweidung lassen sich unterschiedliche Pflegeziele realisieren. Steht die Etablierung eines jungen Pflanzenbestandes (z.B. nach Ansaat oder Anspritzbegrünung) im Vordergrund ist eine intensivere Beweidung und ein tiefer Verbiss förderlich, um die Pflanzendecke zu schließen.
- Durch Unterbeweidung bei geringen Besatzdichten (in den vorliegenden Untersuchungen  $< 0,4$  GV/ha) können abwechslungsreiche, die faunistische und floristische Artendiversität fördernde Strukturmosaiks entstehen.
- Die angegebene Besatzdichte von 4 Schafen pro Hektar kann nur einen Ansatz für nährstoffarme, begrünte Kippböden darstellen. Die tatsächlich zu veranschlagende Besatzdichte ist nach dem Futterbestand und dem Pflegeziel zu wählen. Eine unerwünschte Sukzession der Flächen kann durch den gezielten Verbiss der Gehölzsämlinge und das Abschälen der Rinde bei jungen Aufwachsen verhindert werden. Diese Aussage ist vorerst nur für Einzelaufwüchse zu treffen.
- Landreitgrasbestände (*Calamagrostis epigejos*) lassen sich kaum durch eine Schafbeweidung reduzieren. Literaturangaben folgend scheint ein Zurückdrängen von *Calamagrostis epigejos* nur über eine Mahd vor der Blüte möglich zu sein, wobei gesicherte Aussagen zum effektiven Management noch ausstehen.
- Unter Beachtung einer niederschlagsabhängigen Höchstgrenze von 0,5 - 0,6 GV/ha ist während der Hauptvegetationsperiode auf den nährstoffarmen Kippböden eine leistungsgerechte Ernährung der Muttertiere aller Rassen zu realisieren.
- Die Hitzeperioden der Hochsommermonate stellen eine kritische Phase für eine bedarfsgerechte Ernährung unter extensiven Weidebedingungen dar und wirken als limitierender Faktor für die Höhe der möglichen Besatzdichte. In der Praxis zu realisierende Weideverfahren auf Kippböden müssen Ausweich-/Reserveflächen für die Zeiten von trockenheitsbedingten Minderaufwüchsen berücksichtigen. Ist die Ausweitung der Weidefläche vor Ort nicht gegeben, muss die Möglichkeit der Reduzierung der Besatzdichte durch den Abtrieb eines Teilbestandes gegeben sein.
- Die Notwendigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode auf extensivem Grünland in gewissen Abständen die Futterqualität bei Standweideversuchen zu erfassen, ergibt sich durch den hohen Abfall der Futterinhaltsstoffe nach einmonatiger Beweidung und der Verteilung der Niederschläge nach Monaten (im Vergleich mit einem langjährigen Mittel). Die Ergebnisse der Untersuchungen ergeben auch Aussagen zur Beweidungswürdigkeit der genutzten Flächen.
- Die eingesetzten Rassen Heidschnucken, Schwarzköpfige Fleischschafe, Merinolandschafe und Merinolangwollschafe sind in der Lage, unter den extensiven Haltungsbedingungen dem Rassenstandard entsprechende Leistungen zu erbringen und können in der Pflege von Bergbaufolgefleichen eingesetzt werden. Als mit Einschränkungen geeignete Rasse für ein solches Weideregime erwiesen sich die Merinofleischschafe, die im Rassenvergleich verhaltensbiologisch und physiologisch bedingte Leistungseinbußen aufwiesen.

#### 5. Literaturverzeichnis

ARNOLD, G.W. & BIRREL, H.A., 1977: Food intake and grazing behaviour of sheep varying in body condition. Anim. Prod., Edinburgh 34, S. 343-353



- BOGNER & GRAUVOGEL, 1984: Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag E. Ulmer, Stuttgart
- DEMISE, S. et al., 1996: Einfluss von Schaf- und Ziegenbeweidung auf die Vegetation von extensiver Weide in Lenzen. 3. Lenzener Gespräche, Internationale Fachtagung am 25./26.09.1996 in Lenzen/Elbe, S. 62-66
- DOLEK, M., 1993: Der Einfluss der Schafbeweidung von Kalkmagerrasen in der Südlichen Frankenalb auf die Insektenfauna (Tagfalter, Heuschrecken). – Agrarökologie Bd. 10, Bern – Stuttgart
- DOORMANN, C.F., 1997: Sandrohr (*Calamagrostis epigejos*) in Trockenrasen des Biosphärenreservates Schorfheide – Chorin: Bestandsstruktur, ökologische Auswirkungen und Pflegemaßnahmen. Z. Ökologie und Naturschutz. Heft 6, S. 207-217
- FBM (Forschungsverbund Braunkohlentagebaulandschaften Mitteldeutschlands), 1999: Konzepte für die Erhaltung, Gestaltung und Vernetzung wertvoller Biotope und Sukzessionsflächen in den Bergbaulandschaften Mitteldeutschlands. Halle, BMBF-Abschlussbericht
- FISCHER, A., 1999: Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten von Wiederkäuern (Rind und Schaf) auf extensiven Niedermoorweiden, Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin,
- FISCHER, S., POSCHLOD, P., BEINLICH, B., 1995: Die Bedeutung der Wanderschäferei für den Artenaustausch zwischen isolierten Schaftriften. Beihefte Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg 83, S. 229-256
- FISCHER, S., POSCHLOD, P., BEINLICH, B., 1996: Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grassland. *Journal of Applied Ecology*, 33, S. 1206-1222
- GUNSCHERA, G., 1999: Lösungen zur extensiven und alternativen landwirtschaftlichen Nutzung sowie zur Landschaftspflege gehölzfreier Kippenareale im Lausitzer Braunkohlenrevier - Finsterwalde, BMBF-Abschlussbericht
- JILG, T., LUICK, R., 1997: Futterwert des Weidefutters (Extensive Beweidung von Grünlandbiotopen mit leichten Rinderrassen), Landinformation, Pflanzliche Erzeugung, Baden-Württemberg, 8/97, S.13 - 16
- KNAUER, N., 1993: Beweidung mit Nutztieren - Das Ziel bestimmt den Weg. *Neue Landwirtschaft* 2, S.64-66
- LEHNERT, S., et al., 1999: Auswirkungen extensiver Bewirtschaftungsvarianten auf einer Bergwiese im Harz. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 31 (6), S. 181-186
- LUFÄ THÜRINGEN, 1993: Schriftenreihe LUFÄ Thüringen, 6/1993
- NEHRING, K. et al., 1972: Futtermitteltabellenwerk, Deutscher Landwirtschaftsverlag
- NICOLAI, V., 1996: Ökologische Untersuchungen auf offengelassenen Tagebauflächen und auf unterschiedlich bewirtschafteten Agrarbrachen in Hessen. *Agrarökologie: Bd. 20*, Bern, Stuttgart, Wien: Haupt
- RIEDER, J. B., 1983: Dauergrünland. DLG - Verlag Frankfurt am Main
- RIEGER, W., 1984: Gutachten über die Ergebnisse eines Beweidungsversuches auf Halbtrockenrasenflächen im NSG Weper (Landkreis Northeim). Bezirksregierung Braunschweig – Dezernat für Naturschutz und Landschaftspflege
- RIEGER, W., 1996: Ergebnisse elfjähriger Pflegebeweidung von Halbtrockenrasen. *Natur und Landschaft*, 71.Jg. Heft 1, S 19-25
- RIEHL, G., 1998: Grünlandbewirtschaftung und Grünlandpflege in der Schafhaltung, Vortrag auf dem 6. Sächsischen Schäfertag am 17.10.98 in Radebeul
- RUMP, M., 1993: Vergleichende Untersuchungen extensiver und intensiver Weidebetriebe mit Rindern und Schafen aus grünlandwirtschaftlicher und ökologischer Sicht an acht Standorten, Dissertation, Universität - Gesamthochschule Kassel
- SCHMALWASSER, T., STRITTMATTER, K., 1999: Landschaftspflege mit einheimischen Schafrassen in Bergbaufolgelandschaften, BMBF-Abschlussbericht der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- STEINHÖFEL, O., 1997: Hinweise zur Einschätzung des Futterwertes von spätgenutzten Grünlandaufwüchsen, *Infodienst-Tierproduktion*, 12/97, S. 102-107
- TROXLER, J., JANS, F., WYSS, U., 1990: Weidenutzung und Landschaftspflege an Trockenstandorten mit Mutterkühen und Schafen. *Landwirtschaft Schweiz*, Band 3 (6), S. 315-322
- WALTHER, R., 1997: Nutzungsmöglichkeiten von rekultiviertem, verkippten Bergbaugebieten, Tagebaurandgebieten und Bergbauerwartungsgebieten durch Schafe mit dem Ziel der Produktion von Qualitätslammfleisch. *Infodienst der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 10/97, S. 73 - 81



# **Biomasse, Aktivität und Besiedlung von Bodenorganismen (Mikroorganismen, Collembolen, Regenwürmer, Streuabbau) als Indikatoren einer standortgerechten landwirtschaftlichen Nutzung von Kippenböden**

Christoph Emmerling, Nicola Werbter  
Universität Trier

## **Zusammenfassung**

Im Leipziger und Lausitzer Rekultivierungsgebiet wurden verschiedene rekultivierte Böden bodenbiologisch hinsichtlich der Aspekte Qualität der Ausgangssubstrate, Bodennutzung sowie Bodenbearbeitungsintensität im Verbund mit den Projektpartnern untersucht. Die untersuchten Böden hatten sich aus quartären, kohlefreien bis kohlearmen und schwach bis stark kohlehaltigen tertiären Sanden und Anlehmsanden sowie vorwiegend lößreichen karbonathaltigen bis -freien Kippsubstraten entwickelt. Das Spektrum der Bodennutzung umfasste Getreideanbau, mehrjährigen Luzernefutterbau, Brache, Schafweide und Sonderkulturen (Gras, Topinambur, Lein). Bei der Bodenbearbeitung wurde in beiden Untersuchungsgebieten zwischen konservierender (bodenschonender) und konventioneller Bodenbearbeitung differenziert. Die mikrobielle Biomasse, mikrobielle Aktivitäten und Enzymaktivitäten der Neulandböden nahmen von den Lehmen zu den Sanden kontinuierlich ab. Kohlehaltige, sandige Kippenböden und Böden aus Asche wiesen aufgrund der günstigeren biophysikalischen Standorteigenschaften ebenfalls hohe Niveaus auf. In der Reihenfolge (Kies-) Lehme – sandige Lehme – lehmige Sande – Sande nahmen ebenfalls bei insgesamt niedrigem Niveau die Besiedlungsdichten, Biomassen und Artenzahlen von Lumbriciden und Collembolen ab, wobei letztere in der vorliegenden Untersuchung das Besiedlungsoptimum in lehmig-sandigen Böden aufwiesen. Im Gegensatz zu den bodenmikrobiologischen Eigenschaften wiesen die tertiären kohlehaltigen Substrate selbst unter Dauerkulturen eine nur äußerst geringe Besiedlung mit Regenwürmern auf. Collembolen waren mit durchschnittlichen Besiedlungsdichten vertreten. Die untersuchte Aschekippe war ebenfalls von Regenwürmern unbesiedelt. Innerhalb der verschiedenen Bodennutzungstypen wiesen die extensiven Nutzungen (Brache, mehrjähriger Luzernefutterbau, Graskultur) die höchsten mikrobiellen Biomassen, mikrobielle Aktivitäten und Enzymaktivitäten auf. Die Netto-N-Mineralisationsraten waren erwartungsgemäß unter Luzerneanbau erhöht. In kohlearmen bis -freien Substra-

ten korrespondierte die Besiedlung durch Regenwürmer und Collembolen mit den bodenmikrobiologischen Eigenschaften.

Bei ackerbaulicher Nutzung der rekultivierten Böden wurden durch eine konservierende Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen die mikrobiologischen Eigenschaften in der Oberkrume erhöht.

Dies korrelierte mit der Entwicklung der Humusgehalte. Durch die bodenschonende Bearbeitung wurden insgesamt auch die Regenwürmer und Collembolen gefördert. Die Bearbeitungsintensität hatte auch Einfluss auf das Artenspektrum und die Anteile an verschiedenen Lebensformen der untersuchten Tiergruppen.

## **1. Einleitung**

Nach der Verkippung und Melioration stehen die Kippsubstrate ähnlich natürlichen Anfangsbodenbildungen am Beginn einer Bodenentwicklung und ökosystemeigene Funktionen und Fähigkeiten müssen erst erworben werden. An der Entwicklung dieser Bodenfunktionen sind die Bodenorganismen maßgeblich beteiligt. "Der Boden ist in seiner Entstehung, Entwicklung und Erhaltung vollständig von der Mitwirkung von Lebewesen und biologischen Vorgängen abhängig" (RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1985). Die Bodenorganismen sind an allen wichtigen Prozessen im Boden beteiligt, z.B. an der Humusbildung, der Rezyklierung von Bestandesabfällen und der Mineralisation von Nährstoffen. Die Funktion von Bodenmikroorganismen besteht in erster Linie in der eigentlichen Zersetzung der organischen Substanz (Mineralisation) und dem Aufbau stabiler organischer Verbindungen (Humifizierung), während Bodentiere primär die mechanische Zerkleinerung der organischen Abfälle (z.B. Pflanzenrückstände, Exkrementen), die Stabilisierung von Aggregaten und die Einmischung organischer Substanz in den Mineralboden bewerkstelligen. Weitere wichtige Funktionen sind phytosanitärer und regulatorischer Art. Wichtig ist, dass an der Bewältigung dieser zahlreichen Aufgaben eine umfangrei-



che Organismensukzession beteiligt ist und dass im Zuge der Tätigkeiten von Bodenorganismen auch positive Rückkopplungen mit den biophysikalischen Standorteigenschaften zu erwarten sind.

Die Substrate, die nach der Rekultivierung für eine Bodenentwicklung zur Verfügung stehen, sind zunächst durch niedrige Gehalte an organischer Substanz und Nährstoffen, sowie durch eine geringe mikrobielle Diversität und Biomasse gekennzeichnet. Ausgangssubstrate aus tertiärem, kohlehaltigem Material enthalten zudem hohe Mengen an Pyrit und/oder Markasit, die chemisch durch Luftsauerstoff und mikrobiologisch durch *Thiobacillus* spp. zu Schwefelsäure oxidiert werden und damit ein hohes Versauerungspotenzial bergen (VISSER et al. 1983, HÜTTL & MAYER 1996).

Bodenmikroorganismen können über die Verkitung von Bodenpartikeln mit Polysacchariden und Pilzhyphen zur Gefügestabilisierung beitragen. Dieser Prozess ist in rekultivierten Böden, in denen die Entwicklung des Bodengefüges lange Zeiträume in Anspruch nimmt, von besonderer Bedeutung (SCHAFER et al. 1980).

Die Wiederbesiedlung von meliorierten Kippböden durch Regenwürmer wurde eingehend von DUNGER (1968) untersucht. In den jungen Kippböden ist Nahrungsmangel ein wichtiger Faktor für eine langsame, verzögerte Verbreitung der Regenwürmer. Die Verbreitung einer Art ist im Wesentlichen von ihrer Vermehrungsrate abhängig. DUNGER (1969) konnte nachweisen, daß *A. caliginosa* bis zu 60 m Jahr<sup>-1</sup> in meliorierte Kippböden einwandern kann.

Bei kohlefreien Kippsubstraten haben sich nach 20-30 Jahren hinsichtlich der Wiederbesiedlung vergleichbare Verhältnisse wie in gewachsenen Böden eingestellt.

Sind die Kippsubstrate kohlehaltig, muss mit erheblich verzögerter oder sogar ausbleibender Wiederbesiedlung mit Regenwürmern gerechnet werden (DUNGER 1968, eigene Untersuchungen). Die Lumbriciden reagieren sehr empfindlich auf den hohen Schwefelgehalt (Schwefelsäure) in den kohlehaltigen Substraten, insbesondere ihre Haut und der Darmkanal sind stark betroffen (DUNGER 1968). In aschemelierten kohlehaltigen Tertiärsubstraten scheint auch der hohe Ascheanteil infolge einer Erweiterung der CN-Verhältnisse und einer verstärkten Festlegung von Nährstoffen für die pes-

simalen Entwicklungsbedingungen der Regenwürmer verantwortlich zu sein (EMMERLING 1999).

Die Besiedlung frisch aufgeschütteter Braunkohlentagehalden durch Collembolen wurde von DUNGER (1968), SCHULZ & DUNGER (1997), ZERLING (1990) und ZIMDARS & SCHULZ (1998) eingehend untersucht. Pionierarten, wie *Proisotoma minuta* und *Entomobrya languinosa* sind nach Untersuchungen von DUNGER (1968) nach einem Jahr nachweisbar. Die Populationsdichten betragen im ersten Jahr nach der Verkipfung 5.000 Individuen m<sup>-2</sup>. Bei der Besiedlung der frisch verkippten Flächen spielt die Windverfrachtung („Luftplankton“) eine entscheidende Rolle.

Das vorliegende Teilprojekt 5 "Untersuchung von Bodenzustand und -entwicklung der ostdeutschen Neulandböden anhand mikrobiologischer Eigenschaften und ausgewählter Bodentiere im Hinblick auf eine standortgerechte Landnutzungsplanung" war eingebunden in das BMBF-Vorhaben "Beurteilung von Bodenzustand und Entwicklung mittel- und ostdeutscher Kippenböden und Erarbeitung von Empfehlungen für ihre ökologiegerechte landwirtschaftliche Nutzung", welches von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Leipzig koordiniert wurde. Hierzu wurden die Untersuchungen im vorliegenden Teilprojekt mehrfaktoriell angelegt: Im Untersuchungsraum Lausitzer Braunkohlenrevier wurden quartäre, kohlefreie und schwach bis stark kohlehaltige tertiäre Sande und Anlehmsande, im Mitteldeutschen Revier vorwiegend lößreiche (lehmige) karbonathaltige und -freie Substrate ausgewählt. Das Spektrum der Bodennutzung umfasste den Getreideanbau, Luzernefutterbau, Brache, Schafweide und Sonderkulturen (Topinambur, Gras, Öllein). Bei der Bodenbearbeitung wurde in beiden Untersuchungsräumen zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung differenziert.

Als bodenbiologische Indikatoren wurden quantitative mikrobiologische Parameter, wie die mikrobielle Biomasse, mikrobielle Aktivitäten sowie Enzymaktivitäten aus dem C-, N- und P-Kreislauf ausgewählt. Darüber hinaus sollte der Einfluss von verbreiteten Rekultivierungssubstraten, verschiedener Bodennutzung und unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung auf die Verbreitung und Zusammensetzung von Collembolen- und Regenwurm-Gemeinschaften untersucht werden, um Aussagen zum Bodenzustand und zur standortgerechten Bodennutzung treffen zu können.



Als ein zwischen bodenmikrobiologischen und -zoologischen Eigenschaften integrierender Ansatz wurden auf ausgewählten Flächen Dekompositionsstudien unter Freilandbedingungen über einen Zeitraum von 9 Monaten durchgeführt. Die Flächen wurden dankenswerterweise von den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsflächen

Im vorliegenden Projekt wurde ein breites Spektrum an Bodenarten/Substraten und Bodennutzungen in den beiden Untersuchungsräumen Mitteldeutsches und Lausitzer Braunkohlenrevier abgedeckt (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Nutzung, Substrat (Herkunft), Alter sowie pH-Werte und C<sub>org</sub>-Gehalte der Oberböden, Mittelwerte (n=12) und Standardabweichungen = S.D. (Flächen um Untersuchungsgebiet Niederlausitz sind hellgrau unterlegt, Oberböden mit Kohlebeimengungen sind dunkelgrau unterlegt)**

Nutzung *		Substrat	Alter	pH	S.D.	C <sub>org</sub> [%]	S.D.
Schafbeweidung 1		oj-ls	7	<b>7,2</b>	0,71	<b>1,34</b>	0,63
Schafbeweidung 2		oj-csl	7	<b>7,6</b>	0,04	<b>0,92</b>	0,39
Brache 1		oj-ll	34	<b>7,6</b>	0,08	<b>1,68</b>	0,37
Brache 2		oj-csl	33	<b>7,1</b>	0,14	<b>1,28</b>	0,24
Brache 3		oj-csl	33	<b>7,4</b>	0,11	<b>1,01</b>	0,23
Brache 4		oj-(k) ll	k.A.	<b>5,3</b>	0,31	<b>2,13</b>	0,30
Brache 5		oj-sl	39	<b>6,5</b>	0,17	<b>3,24</b>	0,32
Brache 6		oj-ls	29	<b>5,9</b>	0,15	<b>1,28</b>	0,26
Brache 7		oj-ls	31	<b>6,1</b>	0,27	<b>1,04</b>	0,11
Brache 8		oj-ls	39	<b>5,4</b>	0,13	<b>1,40</b>	0,23
Brache 9		oj-xls	20	<b>4,9</b>	0,62	<b>5,40</b>	0,75
Luzerne 1		oj-(k) ll	28	<b>6,3</b>	0,22	<b>1,19</b>	0,15
Luzerne 2		oj-(x) ls	27	<b>7,1</b>	0,24	<b>3,03</b>	0,33
Luzerne 3		Yab	23	<b>7,4</b>	0,05	<b>4,91</b>	1,53
Luzerne 4		oj-(c) ls	23	<b>7,4</b>	0,05	<b>1,01</b>	0,06
Luzerne		oj-(k) csl	12	<b>7,5</b>	0,03	<b>0,99</b>	0,14
Luzerne-Umbruch		oj-(k) csl	12	<b>7,5</b>	0,03	<b>0,79</b>	0,12
Gehölz		oj-(k) csl	12	<b>7,6</b>	0,06	<b>0,68</b>	0,12
Gras	0-10 cm	oj-(c) ls	23	<b>7,4</b>	0,10	<b>0,65</b>	0,09
	10-20 cm			<b>7,4</b>	0,04	<b>0,64</b>	0,07
Topinambur	0-10 cm	oj-(c) ls	23	<b>7,4</b>	0,07	<b>0,68</b>	0,07
	10-20 cm			<b>7,4</b>	0,08	<b>0,66</b>	0,10
Lein	0-10 cm	oj-(c) ls	23	<b>7,3</b>	0,08	<b>0,96</b>	0,09
	10-20 cm			<b>7,4</b>	0,08	<b>0,86</b>	0,10
Gras	0-10 cm	oj-xls	39	<b>5,9</b>	0,42	<b>6,86</b>	1,29
	10-20 cm			<b>6,0</b>	0,52	<b>6,69</b>	1,22
Topinambur	0-10 cm	oj-xls	39	<b>5,3</b>	0,31	<b>5,69</b>	0,38
	10-20 cm			<b>5,2</b>	0,21	<b>5,90</b>	0,76
Lein	0-10 cm	oj-xls	39	<b>5,8</b>	0,64	<b>4,46</b>	0,80
	10-20 cm			<b>5,8</b>	0,61	<b>4,80</b>	0,67
Acker 1 kons.	0-15 cm	oj-csl	15	<b>7,4</b>	0,03	<b>0,96</b>	0,12
	15-25 cm	oj-csl		<b>7,5</b>	0,05	<b>0,74</b>	0,13
Acker 1 konv.	0-15 cm	oj-csl	15	<b>7,5</b>	0,04	<b>0,68</b>	0,07
	15-25 cm	oj-csl		<b>7,5</b>	0,03	<b>0,74</b>	0,10
Acker 2 kons.	0-15 cm	oj-ls	10	<b>6,0</b>	0,60	<b>0,99</b>	0,24
	15-25 cm	oj-ls		<b>6,0</b>	0,57	<b>0,99</b>	0,26
Acker 3 konv.	0-15 cm	oj-ls	k.A.	<b>6,6</b>	0,34	<b>1,13</b>	0,31
	15-25 cm	oj-ls		<b>6,8</b>	0,26	<b>1,03</b>	0,17

\*Nutzungen ohne Vermerk wurden in 0-15 cm Krumentiefe beprobt





Die sandigen Böden im Lausitzer Revier (hellgrau unterlegt) wiesen mit im Mittel pH 6,4 niedrigere pH-Werte auf, als die lößreichen und sandig-lehmigen Kippböden im Leipziger Revier (ohne Schattierung). Bei den sandigen Substraten war nach carbonatreichen und carbonatfreien Substraten zu unterscheiden. Die carbonathaltigen Substrate ((c) ls) wiesen pH-Werte um 7,4 auf. In den carbonatfreien und kohlehaltigen Substraten hingegen wurden pH-Werte um 5,9 ermittelt. Demgegenüber konnten in den carbonathaltigen, lößreichen Substraten im Leipziger Revier pH-Werte um 7,2 nachgewiesen werden.

Die  $C_{org}$ -Gehalte in den Oberböden der verschiedenen Untersuchungsflächen schwankten zwischen 0,64 und 6,86 in Abhängigkeit von der Nutzung, dem Alter und insbesondere dem Kohlegehalt (Tabelle 1). Die Kohlebeimengungen in den tertiären Substraten wiesen ein extrem heterogenes Verteilungsmuster auf. Die  $C_{org}$ -Gehalte schwankten pro Untersuchungsfläche stark, was durch hohe Standardabweichungen der Mittelwerte deutlich wird. Im Mitteldeutschen Revier waren die rekultivierten Böden in der Krume nur schwach kohlehaltig bis kohlefrei. Die Bodenarten variierten von lehmiger Sand zu sandigem Lehm. In Zwenkau waren Kieslehme verbreitet. Die Krumen der untersuchten Böden der Kippe Espenhain waren karbonathaltig. Im Lausitzer Revier dominierten kohlehaltige (Koyne) bis schwach kohlehaltige (Schlabendorf) Sande und Anlehmsande, die in Schlabendorf karbonathaltig waren. In Groß-Jehser wurde eine Ascheffläche untersucht.

Das Verkippungsalter der untersuchten Flächen variierte zum Zeitpunkt des Projektbeginns 1995 von 5 Jahre in Profen bis 37 Jahre in Koyne und Lohsa. Die meisten Flächen waren älter als 20 Jahre.

## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Probennahme

Die Probennahme auf den Untersuchungsflächen fand in den Jahren 1996 bis 1998 im Frühjahr statt, nachdem annähernd die Jahresmitteltemperaturen erreicht waren. Die Flächen unter Sonderkulturnutzung in Schlabendorf und Koyne wurden in der Nacherntephase im Herbst 1995 bis 1997 beprobt, um die Vorfruchtwirkung der einzelnen Sonderkulturen auf die Besiedlung und Aktivität der Bodenorganismen erfassen zu können.

Bei jeder Probennahme wurde mit 15-20 Einstichen und vierfacher Wiederholung beprobt. Die Versuchsflächen ohne Bodenbearbeitung wurden in 0-15 cm Tiefe, die bearbeiteten Versuchsflächen wurden den Bearbeitungstiefen entsprechend, in 0-15 und 15-25 cm oder 0-10 und 10-20 cm Tiefe differenziert.

### 2.2.2 Bodenchemische, mikrobiologische und zoologische Methoden

Die pH-Werte wurden potentiometrisch in 0,01 M  $CaCl_2$ -Lösung, die  $C_{org}$ -Gehalte durch trockene Veraschung im Sauerstoffstrom (RC-Analysator, Fa. Leco) gemessen. Die Bestimmung der Basalität und der substratinduzierten Respiration erfolgte nach ANDERSON & DOMSCH (1978) am Infrarotanalysator nach HEINEMEYER et al. (1989). Zur Charakterisierung der mikrobiellen Aktivität wurde die Dimethylsulfoxid-Reduktaseaktivität nach ALEF & KLEINER (1989) bestimmt. Die Saccharaseaktivität (SAA) wurde nach HOFFMANN & PALLAUF (1965) und die alkalische Phosphataseaktivität (aPA) nach TABATABAI & BREMNER (1969) gemessen. Die Netto-N-Mineralisationspotenziale wurden im Brutversuch über 14 Tage bei 27°C nach KEENEY & BREMNER (1966), mod. nach BECK (1983) ermittelt.

Die Regenwürmer wurden im späten Frühjahr und im Herbst auf den verschiedenen Flächen aus je 4 Plots à 0,25 m<sup>2</sup> mittels 0,35%iger Formalinlösung aus dem Unterboden extrahiert. Der Austreibung war eine Handauslese des Oberbodens bis 25 cm Tiefe vorausgegangen. Die Tiere wurden in 4%igem Formalin konserviert. Zur Artbestimmung wurden die Tiere mit frischem Wasser gespült und danach zur Wägung auf Filterpapier abgetrocknet. Bei den Gewichtsangaben handelt es sich immer um Abtropf-Frischgewichte. Alle Angaben zu Gewichten oder Abundanzen beziehen sich auf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup>.

Die Beprobung der Collembolen erfolgte in 192 cm<sup>3</sup>-Stechringen aus PVC. Die Probennahme erfolgte in 0-5 cm Bodentiefe. Die Stechringe wurden unmittelbar nach der Probennahme in ein Kempson/McFayden-Extraktionsgerät zur thermischen Extraktion der Collembolen überführt. Die Austreibung der Collembolen erfolgte über 7 Tage unter Temperatursteigerung. Die Anfangstemperatur betrug 20 °C und die Endtemperatur 60 °C. Als Auffangflüssigkeit wurde 70 %ige Isopropanollösung gewählt. Die Tiere wurden nach 2-wöchiger Lagerung im Alkohol unter dem Mikroskop bis auf

Artniveau (GISIN 1960) bestimmt. Alle Angaben zu Abundanzen beziehen sich auf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> und eine Bodentiefe von 0-5 cm.

Der Streuabbau wurde in Minikontainern nach EISENBEIS (1993) ermittelt. Zur Untersuchung des Streuabbaus wurden an 22 Standorten jeweils 4 Minikontainerstäbe horizontal in 10 cm Bodentiefe eingebracht. Als Streumaterial wurde Heu, welches zur Standardisierung bei 60 °C getrocknet wurde, eingesetzt. Jeweils 4 Minicontainer eines Probestabes wurden mit Gaze der Maschenweite 2500 µm (= grob), 4 Minicontainer mit der Maschenweite 250 µm (= mittel, ohne Makrofauna) und 4 Minicontainer mit einer Maschenweite von 25 µm (= fein, ohne Meso- und Makrofauna) umschlossen. Pro Standort und Maschenweite erfolgte eine 16-malige Wiederholung der Versuchsansätze. Die Minikontainerstäbe sind im September 1997 ausgebracht worden und wurden im Mai 1998, nach 9 Monaten Expositionsdauer, aus dem Boden entnommen. Unmittelbar anschließend an die Entnahme der Probestäbe wurden die Minicontainer mit grober und mittlerer Maschenweite in ein Kempson-Extraktionsgerät zur Austreibung von Bodenorganismen aus den Containern überführt. Die aschefreie Reststreu wurde nach Vermuffeln bei 600°C gewogen und berechnet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss unterschiedlicher Rekultivierungssubstrate auf bodenbiologische Eigenschaften der untersuchten Kippböden

##### 3.1.1 Bodenmikrobielle Eigenschaften

Als wichtige bodenmikrobiologische Summenparameter sind in Abbildung 1 und 2 die mikrobielle Biomasse und die mikrobielle Aktivität (Dimethylsulfid-Reduktaseaktivität) der untersuchten Substrate dargestellt. Die mikrobielle Biomasse war in den lehmigen Böden (oj-csl, oj-ll, oj-(k)ll) ohne Berücksichtigung des Rekultivierungsalters mit im Mittel 535 µgC gTS<sup>-1</sup> annähernd doppelt so hoch wie in den quartären und tertiären Sanden

(Quartär: oj-ls, oj-(c) ls; Tertiär: oj-xls), wo die mikrobielle Biomasse im Mittel 263 µgC g TS<sup>-1</sup> betrug (Abbildung 1). Hohe Werte wurden auch im den Aschesubstrat unter Luzerne (600 µg C gTS<sup>-1</sup>) gemessen, allerdings auch die höchsten Standardabweichungen berechnet. Die kohlehaltigen Sande (oj-xls) nahmen eine Zwischenstellung ein. Mit im Mittel 325 µg C gTS<sup>-1</sup> lag die mikrobielle Biomasse in den kohlehaltigen Sanden höher als in den kohlefreien (armen) Sanden und niedriger als in den lehmigen Kippsubstraten.

Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass die sandigen, kohlefreien Substrate (oj-ls, oj-(c) ls) niedrigere Aktivitäten als die lehmigen Substrate (oj-csl, oj-ll, oj-(k) ll, oj-sl) aufwiesen. Im Mittel lagen die mikrobiellen Aktivitäten in den lehmigen Böden bei 725 ng DMS gTS h<sup>-1</sup> und in den Sandböden bei 418 ng DMS gTS h<sup>-1</sup>. Zwischen den karbonathaltigen (oj-cls) und den karbonatfreien (oj-ls) Sanden konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (ANOVA, Tukey-B-Test, p < 0,05), wohingegen die carbonathaltigen sandigen Lehme gegenüber den carbonatfreien Lehmen und kiesigen Lehmen niedrigere mikrobielle Aktivitäten aufwiesen. Auffällig war weiterhin, dass die mikrobielle Aktivität im Aschesubstrat sehr niedrig war (438 ng DMS gTS h<sup>-1</sup>), obwohl eine hohe mikrobielle Biomasse (C<sub>mic</sub>) ermittelt wurde (609 µg C g TS<sup>-1</sup>).

Die mikrobiellen Stickstoffmineralisationsraten und Enzymaktivitäten der untersuchten Substratgruppen (Lehme, Sande, Kohlesande und Braunkohlenkraftwerksasche) sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Enzymaktivitäten zeigten ebenfalls eine deutliche Substratabhängigkeit. In den lehmigen Substraten (oj-csl; oj-ll; oj-(k) ll; oj-sl) waren die Saccharase-(SAA) und Phosphataseaktivitäten (APA) signifikant höher als in den Sanden und Kohlesanden. Die Netto-N-Mineralisationsraten waren dagegen im Mittel über alle Nutzungen in allen Substraten vergleichbar.

**Tabelle 2: Netto-N-Mineralisationsraten und Enzymaktivitäten (SAA und APA) der Kippsubstratgruppen, signifikante Unterschiede sind mit ungleichen Buchstaben gekennzeichnet (Tukey-B, p < 0,05)**

Substrat	Netto-N [µg N <sub>min</sub> gTS <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]	S.D.	SAA [µg Inv.Z. gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	S.D.	APA [µg p-Np gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	S.D.
oj-csl; oj-ll; oj-(k) ll; oj-sl (n=168)	0,189 <sup>a</sup>	0,417	2783 <sup>b</sup>	1370	407 <sup>b</sup>	111
oj-ls; oj-(c) ls (n=144)	0,235 <sup>a</sup>	0,247	1147 <sup>a</sup>	478	186 <sup>a</sup>	56
oj-xls (n=60)	0,189 <sup>a</sup>	1,026	1442 <sup>c</sup>	838	n.n.	-
Yab (n=12)	0,204 <sup>a</sup>	0,234	n.n.	-	n.n.	-



### 3.1.2 Besiedlung durch Regenwürmer und Collembolen

Die lehmigen Substrate wiesen die höchsten Besiedlungsdichten mit Regenwürmern auf. Auch die Anzahl der Arten war in den lehmigen Substraten am höchsten (Tabelle 3). Die sandigen Substrate zeigten demgegenüber erheblich geringere Besiedlungsdichten mit Regenwürmern und die Artenzahl war niedriger. Im kohlehaltigen Substrat wurden im Vergleich zu den kohlefreien Substraten niedrigere Besiedlungsdichten von Regenwürmern verzeichnet. Regenwürmer traten nur sporadisch auf (0,5 Individuen m<sup>-2</sup>).

Die Besiedlungsdichte mit Collembolen waren in den kohlehaltigen Substraten mit 9874 Ind. m<sup>-2</sup> vergleichsweise am höchsten (Tabelle 3). Die Artenzahlen waren mit 16 Arten gegenüber 21-22 Arten in den kohlefreien Sanden nur leicht erniedrigt. Die Besiedlungsdichten der Collembolen lagen in den sandigen Substraten im Mittel auf einem höheren Niveau als in den lehmigen Substraten.

Im Aschesubstrat traten keine Regenwürmer auf und die Collembolenbesiedlung war extrem niedrig. Die Besiedlungsdichte betrug 10 % der kohlefreien Substrate und die Artenzahl ging auf 18 % der Artenzahl in den kohlefreien Substraten zurück.

**Tabelle 3: Regenwurm- und Collembolengemeinschaften in den untersuchten Substratgruppen; Mittelwerte der Abundanzen [Ind. m<sup>-2</sup>], Biomassen [g m<sup>-2</sup>] mit Minimal- und Maximalwerten (aus 5 bis 10 Beobachtungen) und Artenzahlen (Arten sind unten aufgeführt)**

Substratgruppe	Lumbriciden				Arten	Collembolen		
	Abundanz	Min-Max	Bio-masse	Min-Max		Abundanz	Min-Max	Arten
oj-csl; oj-ll; oj-(k) ll; oj-sl	82	5-215	23	1-50	8 <sup>(*1)</sup>	6.765	519-29.103	21 <sup>(*4)</sup>
oj-ls; oj-(c) ls	27	0-90	11	0-40	4 <sup>(*2)</sup>	8.131	883-33.998	22 <sup>(*5)</sup>
oj-xls	0,5	0-2	0,1	0-0,4	1 <sup>(*3)</sup>	9.874	364-15331	16 <sup>(*6)</sup>
Yab	0	-	0	-	0	831	-	4 <sup>(*7)</sup>

(\*1): *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea terrestris longa*, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea antipae*, *Octolasion cyaneum*

(\*2): *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*

(\*3): *Aporrectodea caliginosa*

(\*4): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Neotullbergia tricuspis*, *Onychurus jubilarius*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Folsomia candida*, *Hypogastrura succinea*, *Hypogastrura assimilis*, *Cryptopygus bibunctata*, *Isotoma propinqua*, *Folsomia quadioculata*, *Hypogastrura vernalis*, *Heteromurus nitidus*, *Megelothorax minimus*, *Entomobrya multifascinata*, *Pseudosiniella alba*, *Lepodocryptus cyaneus*, *Smiturides schoetti*, *Frisea claviseta*.

(\*5): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Neotullbergia tricuspis*, *Onychurus jubilarius*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Folsomia candida*, *Hypogastrura succinea*, *Hypogastrura assimilis*, *Cryptopygus bibunctata*, *Isotoma propinqua*, *Cryptopygus scapellifera*, *Folsomia quadioculata*, *Hypogastrura vernalis*, *Heteromurus nitidus*, *Megelothorax minimus*, *Entomobrya multifascinata*, *Pseudosiniella alba*, *Lepodocryptus cyaneus*, *Smiturides schoetti*, *Frisea claviseta*.

(\*6): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Neotullbergia tricuspis*, *Onychurus jubilarius*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Folsomia candida*, *Hypogastrura succinea*, *Cryptopygus bibunctata*, *Isotoma propinqua*, *Folsomia quadioculata*, *Hypogastrura vernalis*, *Megelothorax minimus*, *Entomobrya multifascinata*, *Lepodocryptus cyaneus*.

(\*7): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Onychurus armatus*, *Folsomia candida*



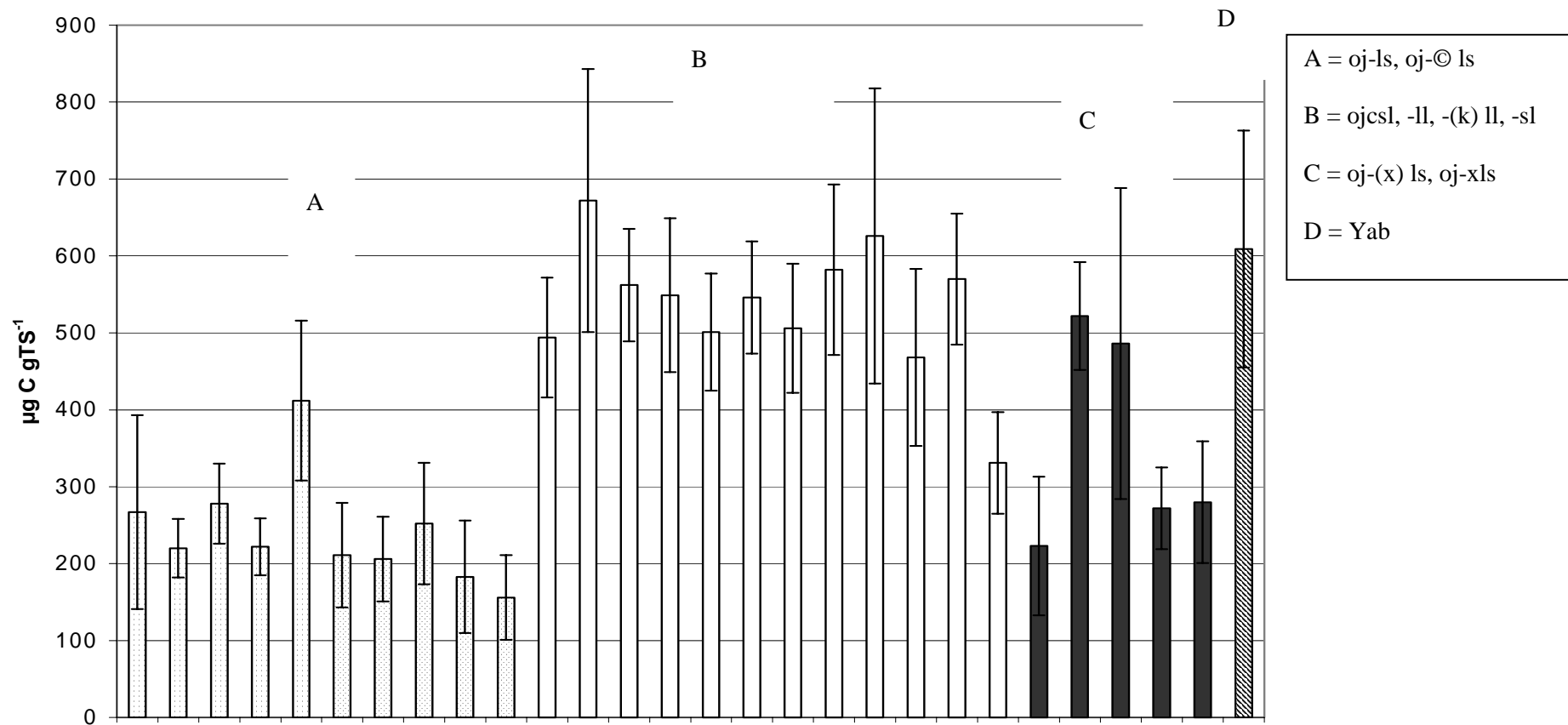
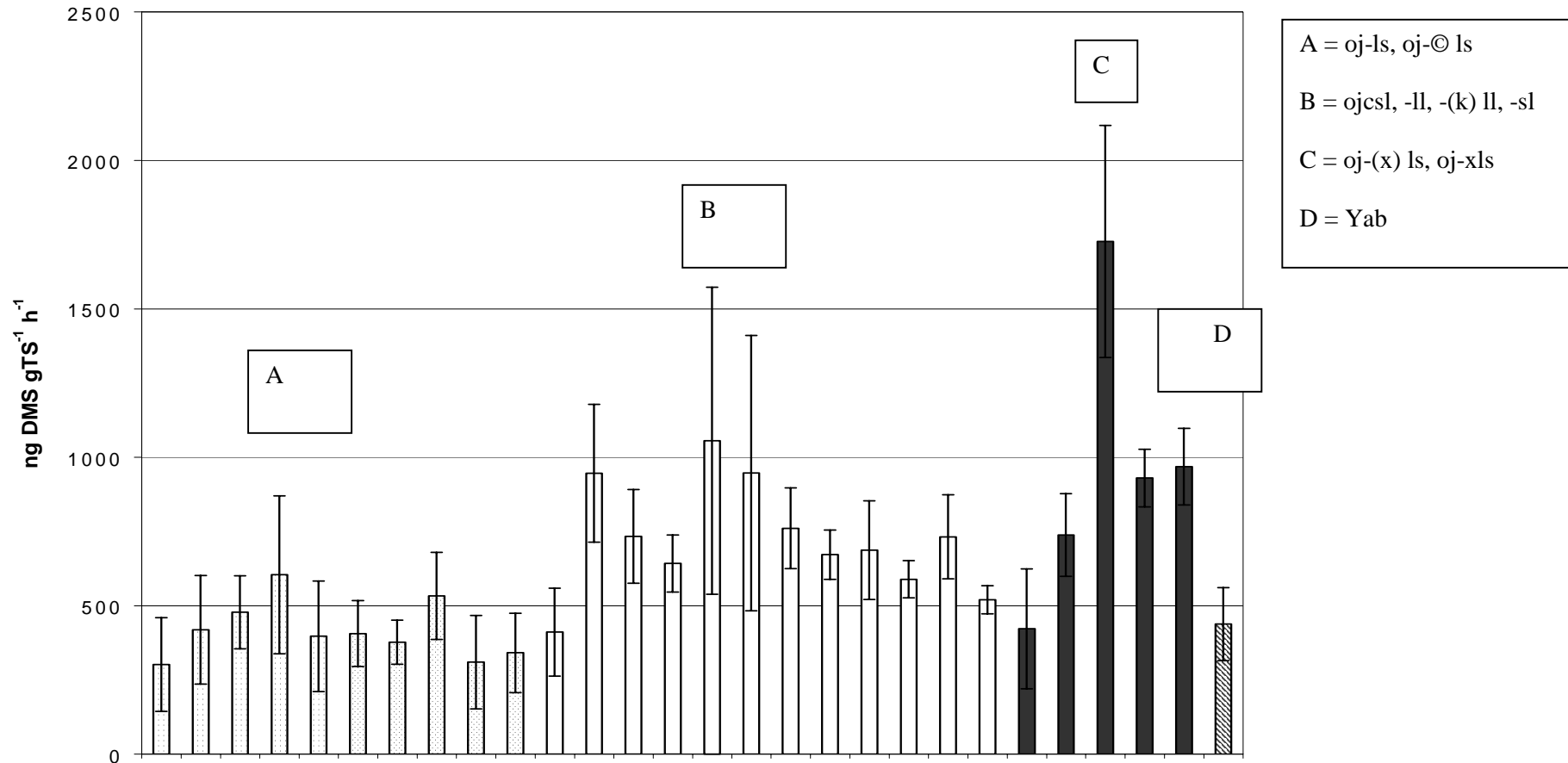


Abbildung 1: Mikrobielle Biomasse (Cmic) der untersuchten Substrate, Angabe der Mittelwerte  $\pm$ S.D.; Gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Substratgruppen, Tukey- B -Test, n = 11-115



**Abbildung 2:** Mikrobielle Aktivitäten (DMSO-Reduktaseaktivitäten) der untersuchten Substrate, Angabe der Mittelwerte  $\pm$  S.D.; Gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Substratgruppen, Tukey-B-Test,  $n = 11-115$



### 3.2 Auswirkungen unterschiedlicher Bodennutzungen auf die bodenbiologischen Eigenschaften von rekultivierten Kippböden

In der vorliegenden Untersuchung wurden Kippböden unter Ackernutzung (vorwiegend Getreide), Luzernefutterbau, Sonderkulturnutzung (Topinambur) und Flächenstilllegung (Brache und Gras) untersucht. Am Beispiel lehmiger Substrate sollen die Versuchsflächen aus vergleichbarem Kippsubstrat aber unterschiedlicher Bodennutzung gegenübergestellt werden. Aus Tabelle 4 ist zu erkennen, dass die höchsten mikrobiellen Biomassen und mikrobiellen Aktivitäten sowie die Saccharaseaktivitäten in Böden unter Brachenutzung gefolgt von Luzer-

neanbau und ackerbaulicher Nutzung ermittelt wurden. Die höchsten Netto-N-Mineralisationsraten und alkalische Phosphataseaktivitäten traten in Böden unter Luzerne auf. Die Unterschiede zwischen den Nutzungstypen Brache / Luzerne und der ackerbaulichen Nutzung waren zumeist signifikant (Tabelle 4).

Die höchste Besiedlungsdichte, Biomasse und Artenzahl von Regenwürmern und Collembolen wiesen ebenfalls die Böden unter Brache auf, gefolgt von Luzerne und ackerbaulicher Nutzung. Allein die Artenzahl bei Collembolen war umgekehrt unter ackerbaulicher Nutzung höher als unter Luzerne (Tabelle 5).

**Tabelle 4: Mikrobiologische Eigenschaften lehmiger Kippsubstrate unter Ackerbau (n=46), Luzernefutterbau (n=20) und Flächenstilllegung (n=50), Mittelwerte ± S.D. (Höchstwerte sind fett hervorgehoben), signifikante Unterschiede sind mit ungleichen Buchstaben gekennzeichnet (Kruskal-Wallis H-Test, p<0,05)**

Nutzung	C <sub>mic</sub> [µg C g TS <sup>-1</sup> ]	DMSO [ng DMS gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	Netto-N [µg N <sub>min</sub> gTS <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]	SAA [µg Inv.Z. gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	APA [µg p-Np gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
Ackerbau	360 (± 205) <sup>b</sup>	518 (± 247) <sup>a</sup>	0,254 (± 0,27) <sup>a</sup>	2189 (± 1141) <sup>a</sup>	372 (± 116) <sup>a</sup>
Luzerne	<b>554</b> (± 146) <sup>a</sup>	<b>731</b> (± 348) <sup>b</sup>	<b>0,378</b> (± 0,35) <sup>a</sup>	<b>3429</b> (± 512) <sup>a</sup>	<b>618</b> (± 57) <sup>b</sup>
Brache	<b>569</b> (± 119) <sup>a</sup>	<b>854</b> (± 348) <sup>b</sup>	0,059 (± 0,54) <sup>a</sup>	<b>3593</b> (± 1685) <sup>a</sup>	454 (± 103) <sup>a</sup>

**Tabelle 5: Lumbriciden (mittl. Abundanzen und Min-Max-Werte, Biomassen und Artenzahlen) in lehmigen Kippsubstraten unter Ackerbau (n=6), Luzernefutterbau (n=3) und Flächenstilllegung (n=15) sowie Abundanzen und Artenzahlen der Collembolen (n=1-5) (Höchstwerte sind fett hervorgehoben)**

Nutzung	Lumbriciden			Collembolen	
	Abundanz [Ind. m <sup>-2</sup> ]	Biomasse [g m <sup>-2</sup> ]	Artenzahl	Abundanz [Ind. m <sup>-2</sup> ]	Artenzahl
Ackerbau	13 (0-33)	3,5	3 (*1)	1.331	12 (*4)
Luzerne	65 (48-92)	24	5 (*2)	2.650	7 (*5)
Brache	<b>116</b> (8-376)	<b>30</b>	<b>8</b> (*3)	<b>14.656</b>	<b>19</b> (*6)

(\*1): *Lumbricus spec.*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*

(\*2): *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica*

(\*3): *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica*, *Allolobophora rosea*, *Octolasion cyaneum*

(\*4): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Onychurus jubilarius*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Folsomia candida*, *Hypogastrura succinea*, *Cryptopygus bibunctata*, *Folsomia quadrioculata*, *Megalothorax minimus*, *Frisea claviseta*

(\*5): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Hypogastrura assimilis*, *Folsomia quadrioculata*

(\*6): *Proisotoma minuta*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Neotullbergia tricuspis*, *Onychurus jubilarius*, *Paratullbergia callipygos*, *Isotomiella minor*, *Onychurus armatus*, *Hypogastrura succinea*, *Hypogastrura assimilis*, *Cryptopygus bibunctata*, *Isotoma propinqua*, *Cryptopygus scapellifera*, *Folsomia quadrioculata*, *Hypogastrura vernalis*, *Megalothorax minimus*, *Entomobrya multifascinata*, *Pseudosiniella alba*, *Lepodocryptus cyaneus*, *Smiturides schoetti*



### 3.3 Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitung für die landwirtschaftliche Nutzung von Kippböden

Im Leipziger Rekultivierungsgebiet werden von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft auf karbonathaltigen, sandig-lehmigen Böden der Kippe Espenhain seit 1995 Vergleiche zur konventionellen und konservierenden landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung vorgenommen (STAHL et al. 1995). Als Kontrolle dient eine konventionell bearbeitete Vergleichsparzelle (Scheibenegge, Pflug, Feingrubber) in der Versuchsanlage. Die konservierende Bodenbewirtschaftung unterscheidet sich von der konventionellen insbesondere durch eine flache, nicht wendende Bodenbearbeitung und der Berücksichtigung gefügeschonender Maßnahmen. Die Ergebnisse der im Teilprojekt 5 untersuchten Parameter sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Die Humusgehalte, die mikrobiellen Biomassen ( $C_{mic}$ ), C-Mineralisationsraten ( $C_{min}$ ), DMSO-Reduktaseaktivitäten sowie die Enzymaktivitäten Saccharase-(SAA) und alkalische Phosphataseaktivität (APA) waren in der konservierenden Variante signifikant höher (Mann-Whitney-U-Test,  $p < 0,05$ ; Tab. 6). Die mikrobielle Biomasse war in der Oberkrume der untersuchten Böden unter konservierender Bodenbewirtschaftung z.B. doppelt so hoch als unter konventioneller Bewirtschaftung. In der Unterkrume waren die Verhältnisse zumeist umgekehrt.

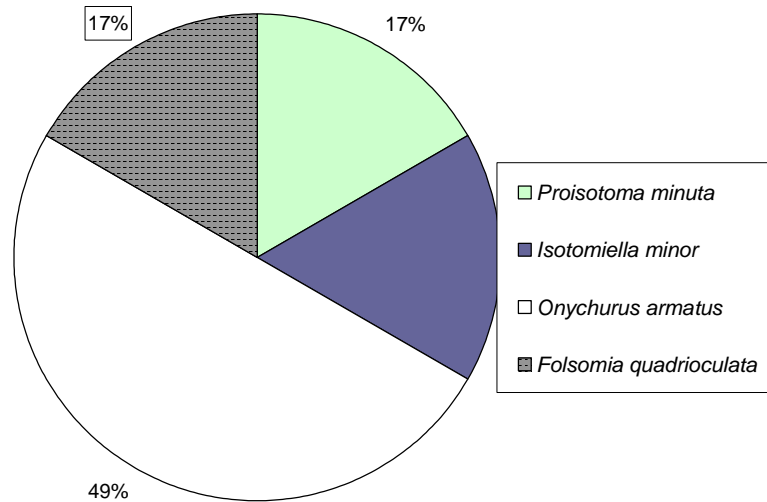
Signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterkrume konnten nur in der Variante mit konservierender Bodenbearbeitung errechnet werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die bodenschonende Bewirtschaftung aufgrund der nicht wendenden Bodenbearbeitung zu einer Konzentration von organischer Substanz und mikrobiellen Eigenschaften in der Oberkrume führt. Auch die Krumenmittelwerte der organischen Substanz, der mikrobiellen Biomasse und der Enzymaktivitäten waren in der konservierenden Variante höher. Die Unterschiede waren aber nur für den  $C_{org}$ -Gehalt statistisch abzusichern (Mann-Whitney-U-Test,  $p < 0,05$ ). Die übrigen Parameter waren in beiden Varianten vergleichbar.

In der konservierend bearbeiteten Parzelle wurden mit 21 Lumbriciden  $m^{-2}$  und 2078 Collembolen  $m^{-2}$  eine vierfach höhere Besiedlungsdichte als unter konventioneller Bewirtschaftung nachgewiesen. Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Collembolenarten und deren Lebensformen unter konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung (Abbildung 3) ist deutlich zu erkennen, dass die hemiedaphischen Arten (grau unterlegte Muster) in der konservierend bearbeiteten Variante mit 26 % Individuenanteil eine höhere Besiedlungsdichte aufwiesen als unter konventioneller Bearbeitung (17 %). Die hemiedaphischen Arten *Hypogastrura succinea*, *Megalothorax minimus* und *Frisea claviveta* traten nur unter konservierender Bodenbearbeitung auf. Unter konventioneller Bodenbearbeitung dominierten euedaphische Lebensformen.

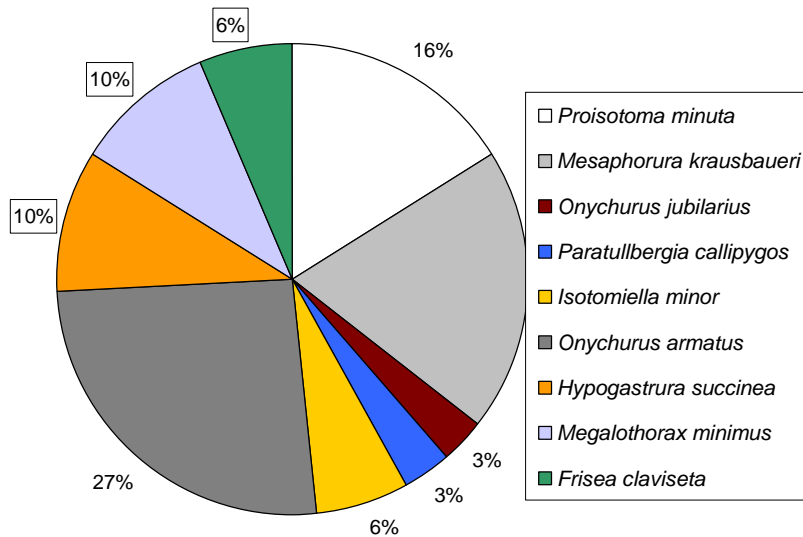
**Tabelle 6: Vergleich von konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung im Dauerbearbeitungsversuch auf der Kippe Espenhain, Mittelwerte  $\pm$  S.D. (Bodenbearbeitungsversuch I) (n=12), signifikante Unterschiede sind mit ungleichen Buchstaben gekennzeichnet (U-Test,  $p < 0,05$ )**

Parameter	Tiefe	konventionell	konservierend
pH	0-15 cm	7,5 ( $\pm 0,04$ ) <sup>a</sup>	7,5 ( $\pm 0,05$ ) <sup>a</sup>
[0,01 M CaCl <sub>2</sub> ]	15-25 cm	7,5 ( $\pm 0,03$ ) <sup>a</sup>	7,5 ( $\pm 0,05$ ) <sup>a</sup>
C <sub>org</sub>	0-15 cm	0,68 ( $\pm 0,06$ ) <sup>a</sup>	0,96 ( $\pm 0,12$ ) <sup>b</sup>
[%]	15-25 cm	0,74 ( $\pm 0,10$ ) <sup>a</sup>	0,74 ( $\pm 0,13$ ) <sup>a</sup>
C <sub>mic</sub>	0-15 cm	332 ( $\pm 66$ ) <sup>a</sup>	570 ( $\pm 85$ ) <sup>b</sup>
[ $\mu g$ C gTS <sup>-1</sup> ]	15-25 cm	369 ( $\pm 57$ ) <sup>a</sup>	188 ( $\pm 40$ ) <sup>c</sup>
C <sub>min</sub>	0-15 cm	0,90 ( $\pm 0,21$ ) <sup>a</sup>	2,38 ( $\pm 0,68$ ) <sup>c</sup>
[ $\mu g$ CO <sub>2</sub> gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	15-25 cm	1,52 ( $\pm 0,38$ ) <sup>b</sup>	0,95 ( $\pm 0,31$ ) <sup>d</sup>
DMSO	0-15 cm	519 ( $\pm 48$ ) <sup>a</sup>	732 ( $\pm 142$ ) <sup>b</sup>
[ng DMS gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	15-25 cm	524 ( $\pm 102$ ) <sup>a</sup>	312 ( $\pm 109$ ) <sup>c</sup>
SAA	0-15 cm	2183 ( $\pm 1604$ ) <sup>a</sup>	3052 ( $\pm 357$ ) <sup>a</sup>
[ $\mu g$ Inv.Z.gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	15-25 cm	1668 ( $\pm 356$ ) <sup>a</sup>	1783 ( $\pm 831$ ) <sup>b</sup>
APA	0-15 cm	384 ( $\pm 73$ ) <sup>a</sup>	489 ( $\pm 51$ ) <sup>b</sup>
[ $\mu g$ p-NP gTS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	15-25 cm	351 ( $\pm 92$ ) <sup>a</sup>	274 ( $\pm 22$ ) <sup>a</sup>

### konventionell



### konservierend



**Abbildung 3:** Anteile der eudaphischen (ungerahmte Prozentbeschriftungen) und hemiedaphischen (gerahmte Prozentbeschriftungen) Collembolenarten unter konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung (0 - 5 cm)



### 3.3 Dekompositionsstudien

Im Mittel aller Untersuchungsstandorte betrug der Schwund von getrocknetem Heu in den Minicontainern nach insgesamt neunmonatiger Exposition 40-60 % in Abhängigkeit von den verwendeten Maschenweiten. In Tabelle 7 ist der auf Grundlage eines linearen Modells berechnete prozentuale Streuabbau pro Woche differenziert nach groben, mittleren und feinen Maschenweiten angegeben. Danach zeigten die rekultivierten Böden absolut betrachtet eine vergleichsweise mittlere biologische Aktivität. Der wöchentliche Streuabbau variierte zwischen 1-2 %. Einen vergleichsweise geringen Streuabbau zeigten in der vorliegenden Untersuchung die ein- bis zweijährigen Sonderkulturen, wie Gras und Topinambur in Zinnitz, allgemein die Böden unter Ackernutzung an den Versuchsstandorten Espenhain und Lohsa, sowie Böden nach Luzerne-Umbruch (Tabelle 7). Vergleichsweise mittlere biologische Aktivitäten zeigten die Flächen mit Schafbeweidung, einige Luzerne- und Brachflächen und die Böden unter Sonderkulturanbau in Grünewalde (tertiäres Substrat) sowie der Lein-

anbau in Zinnitz. Die vergleichsweise aktivsten Standorte waren die Brachen in Zwenkau und Espenhain sowie die Aschefläche unter Luzerneanbau.

Der höchste anteilige Streuabbau war an allen untersuchten Standorten in den Minicontainern mit feinen Maschenweiten festzustellen, das heißt den größten Beitrag zum Streuabbau lieferten in den untersuchten Böden die Bodenmikroorganismen. Mit Ausnahme einiger Brache- und Luzerneflächen lag der zweithöchste Beitrag zum Streuabbau bei der Bodenmesofauna. Theoretisch ist davon auszugehen, dass der Streuabbau von den groben über die mittleren zu den feinen Maschenweiten aufgrund des sukzessiven Ausschlusses der Makrofauna und / oder der Mesofauna abnimmt. Der Streuabbau verlief an den meisten Standorten nach diesem Muster. Teilweise war allerdings der Streuabbau bei den mittleren Maschenweiten höher als bei den groben, wie zum Beispiel an den Standorten Luzerne und Luzerne-Umbruch in Delitzsch, Gras und Topinambur in Zinnitz oder konventioneller Ackerbau in Espenhain.

**Tabelle 7: Prozentualer wöchentlicher Streuabbau (-Kr; berechnet aus aschefreier Reststreu) in Minicontainern verschiedener Maschenweite an verschiedenen Untersuchungsstandorten und bei unterschiedlichen Ausgangssubstraten. Mittelwerte  $\pm$  S.D.; n=16. Die Untersuchungsstandorte der Niederlausitz sind grau unterlegt.**

Standort	Substrat	Grob	Mittel	Fein
Schafweide 2	Oj-ls	1,39 $\pm$ 0,11	1,29 $\pm$ 0,09	1,30 $\pm$ 0,06
Schafweide 1	Oj-csl	1,23 $\pm$ 0,09	1,14 $\pm$ 0,13	1,20 $\pm$ 0,07
Brache 4 Zwenkau	Oj-(k) ll	2,09 $\pm$ 0,43	1,32 $\pm$ 0,27	1,27 $\pm$ 0,09
Brache 1 INT Espenhain	Oj-ll	2,07 $\pm$ 0,80	1,28 $\pm$ 0,14	1,25 $\pm$ 0,10
Brache 2 KS Espenhain	Oj-csl	1,54 $\pm$ 0,70	1,24 $\pm$ 0,09	1,32 $\pm$ 0,11
Brache 9 Kleinleipisch	Oj-xls	1,58 $\pm$ 0,20	1,33 $\pm$ 0,16	1,29 $\pm$ 0,13
Luzerne 1 Zwenkau	Oj-(k) ll	1,21 $\pm$ 0,25	1,22 $\pm$ 0,11	1,20 $\pm$ 0,18
Luzerne 2 Heide	Oj-xls	1,36 $\pm$ 0,16	1,20 $\pm$ 0,07	1,20 $\pm$ 0,06
Luzerne Asche	Yab	1,86 $\pm$ 0,40	1,53 $\pm$ 0,13	1,54 $\pm$ 0,17
Luzerne Delitzsch	Oj-(k) csl	1,21 $\pm$ 0,34	1,32 $\pm$ 0,08	1,32 $\pm$ 0,09
Luzerne-Umbruch Delitzsch	Oj-(k) csl	1,03 $\pm$ 0,38	1,33 $\pm$ 0,11	1,35 $\pm$ 0,06
Gehölz Delitzsch	Oj-(k) csl	1,33 $\pm$ 0,68	1,21 $\pm$ 0,10	1,23 $\pm$ 0,07
Gras Zinnitz	Oj- (c) ls	1,18 $\pm$ 0,14	1,23 $\pm$ 0,13	1,19 $\pm$ 0,13
Topinambur Zinnitz	Oj- (c) ls	1,00 $\pm$ 0,69	1,32 $\pm$ 0,08	1,33 $\pm$ 0,08
Lein Zinnitz	Oj- (c) ls	1,36 $\pm$ 0,23	1,35 $\pm$ 0,12	1,31 $\pm$ 0,06
Gras Grünewalde	Oj- xls	1,39 $\pm$ 0,26	1,20 $\pm$ 0,14	1,11 $\pm$ 0,07
Topinambur Grünewalde	Oj- xls	1,36 $\pm$ 0,41	1,40 $\pm$ 0,11	1,35 $\pm$ 0,08
Lein Grünewalde	Oj- xls	1,33 $\pm$ 0,16	1,27 $\pm$ 0,09	1,23 $\pm$ 0,06
Acker KONS Espenhain	Oj- cls	1,15 $\pm$ 0,16	1,15 $\pm$ 0,17	1,09 $\pm$ 0,08
Acker KONV Espenhain	Oj- cls	1,21 $\pm$ 0,21	1,32 $\pm$ 0,15	1,43 $\pm$ 0,08
Acker KONS Lohsa	Oj- ls	1,39 $\pm$ 0,44	1,10 $\pm$ 0,11	1,10 $\pm$ 0,09
Acker KONV Lohsa	Oj- ls	1,20 $\pm$ 0,26	1,05 $\pm$ 0,17	1,20 $\pm$ 0,15

## 4. Diskussion

### 4.1 Einfluss von Rekultivierungssubstrat auf die bodenbiologischen Eigenschaften der Mittel- und Ostdeutschen Kippenböden

Nach den „Vorläufigen Richtlinien für das Aufbringen von kulturfähigem Bodenmaterial bei der landwirtschaftlichen Rekultivierung“ (1967) sollten Rohböden für eine landwirtschaftliche Folgenutzung überwiegend aus Schluff bestehen, für eine forstwirtschaftliche Nutzung sind neben schluffig-lehmigen auch sandige Substrate geeignet (ZÖTTL & MÖHLENBRUCH 1989).

Im Leipziger Rekultivierungsgebiet liegen demnach mit den dort verbreiteten lehmigen pleistozänen und lößreichen Substraten gute Ausgangsbedingungen für eine landwirtschaftliche Folgenutzung vor. In der Niederlausitz bestehen zwischen den quartären Sanden und Anlehmsanden und den tertiären Kohle(an)lehmsanden hinsichtlich ihrer Eignung zur Rekultivierung beträchtliche Unterschiede. Die Gemengestandorte nehmen eine Mittelstellung ein. Die quartären Substrate sind primär retentionschwach und nährstoffarm, die tertiären Substrate sind zudem extrem sauer und zeichnen sich aufgrund der Pyritverwitterung durch ein potenziell hohes Säurenachlieferungsvermögen aus.

In den vorliegenden Untersuchungen wiesen die Kippenböden aus lehmigen Substraten im Leipziger Revier zumeist signifikant höhere mikrobielle Biomassen, mikrobielle Aktivitäten sowie Enzymaktivitäten auf, als die sandigen, quartären Substrate, was auf die günstigere Wasser- und Nährstoffversorgung in den bindigen Substraten zurückgeführt werden kann. Kohlehaltige tertiäre Substrate zeigten ebenfalls bessere Eigenschaften, als entsprechend kohlefreie Sande, ebenso Kippenböden aus Braunkohlenasche. Nach THUM et al. (1992) kann Kohle in sandigen Böden eine Erhöhung der Wasserhaltekapazität bewirken und so die Rolle von Schluff und Ton übernehmen. Untersuchungen von SHARMA et al. (1993) bestätigen einen positiven linearen Zusammenhang zwischen Wasser- und Kohlegehalt. HAUBOLD-ROSAR et al. (1993) ermittelten zudem abnehmende Lagerungsdichten mit steigendem Kohlegehalt. Die Sorptionsfähigkeit und damit die Nährstoffverfügbarkeit der Sande wird durch reaktionsfähige Huminsäuren und Huminsäurevorstufen an feinverteilter Kohle erhöht (THUM et al. 1992; HAUBOLD-ROSAR et al. 1993). Zudem kann die Kohle als Substrat für die Bodenmikroflora dienen und zum Humusaufbau

genutzt werden (WASCHKIES & HÜTTL 1999). KATZUR & HAUBOLD-ROSAR (1996) fanden ein verstärktes Pflanzenwachstum und damit einen erhöhten Eintrag an organischer Substanz in tertiären Substraten. Auffällig war weiterhin, dass die mikrobielle Aktivität im Aschesubstrat sehr niedrig war ( $438 \text{ ng DMS g TS h}^{-1}$ ), obwohl eine hohe mikrobielle Biomasse ( $C_{\text{mic}}$ ) ermittelt wurde ( $609 \mu\text{g C g TS}^{-1}$ ). Erwartungsgemäß wäre im Aschesubstrat mit einer hohen mikrobiellen Aktivität zu rechnen gewesen. Zu prüfen wäre hier eine mögliche Nährstofflimitierung oder Belastung durch Schwermetalle im Aschesubstrat. Braunkohlenfilteraschen enthalten neben hohen Mengen von CaO und SiO<sub>2</sub> geringe Mengen von Mangan, Kupfer, Zink, Nickel und Molybdän (VETTERLEIN et al. 1997).

Die Besiedlungsdichten der untersuchten Kippenböden mit Regenwürmern sind allgemein im Vergleich zu Ergebnissen von DUNGER (1968) als mittel bis niedrig einzuschätzen. In den von ihm untersuchten forstwirtschaftlich genutzten Kippenböden wurden Populationsdichten von 50-500 Individuen m<sup>-2</sup> nachgewiesen. Das Artenspektrum der in seinen Untersuchungen nachgewiesenen Populationen entspricht weitgehend dem in Tabelle 3 aufgeführten Artenspektrums. Insbesondere die Art *A. caliginosa* ist als Pionierart und als produktionsbiologisch bedeutendste Regenwurmart bekannt. Nach spätestens 5-8 Jahren ist mit einem Vorkommen von *Aporrectodea caliginosa* zu rechnen (DUNGER 1968, DUNGER 1989). FROMM et al. (1997) wiesen diese Art in den von ihnen untersuchten Kippböden ebenfalls nach. Die Besiedlungsdichten betragen in unbewirtschafteten Kippsubstraten 4-15 Individuen m<sup>-2</sup>, wobei es sich um nichtmeliorierte, sandige Substrate mit niedrigen pH-Werten und hohen Schwefelgehalten handelte.

Die Besiedlung der untersuchten Kippenböden durch Regenwürmer stimmte im Fall der lehmigen Substrate gut mit den mikrobiologischen Eigenschaften und den Streuabbauraten überein. Die höchsten Abundanzen, Biomassen und Artenzahlen wiesen die Kippenböden aus lehmigen Substraten auf. Die Wasserversorgung spielt für die Verbreitung von Regenwürmern eine entscheidende Rolle. In den lehmigen Substraten ist die Austrocknungsgefahr aufgrund der hohen Wasserspeicherkapazitäten geringer als in den Sandböden und aus diesem Grund war die Besiedlungsdichte dort im Mittel dreimal höher als in den Sanden. Ein Rückzug der Tiere bei Austrocknung des Oberbodens in tiefere



Bodenschichten ist aufgrund niedriger pH-Werte in den tieferen Bodenschichten oftmals nicht möglich. Hingegen wurden keine Regenwürmer aus der Ascheffläche extrahiert und in den kohlehaltigen Sanden waren die Besiedlungsdichten ausgesprochen niedrig. DUNGER (1969) wies in seinen Untersuchungen ebenfalls sehr niedrige Wiederbesiedlungsraten in sauren, kohlehaltigen meliorierten Kippsubstraten nach. Innerhalb eines Zeitraumes von 14 Jahren wanderte *Aporrectodea caliginosa* in eine unbesiedelte Fläche etwa 60 m ein. Unter landwirtschaftlicher Nutzung ist die Wiederbesiedlung der Böden jedoch sehr eingeschränkt (DUNGER 1989), was sich in der niedrigen Besiedlungsdichte des Substrats bemerkbar macht.

Entgegen den Besiedlungsdichten von Regenwürmern zeigten die kohlehaltigen Kippenböden die höchsten Abundanzen bei Collembolen. Die Besiedlungsdichten mit Collembolen lagen in den sandigen Substrate im Mittel auf einem höheren Niveau als in den Lehmböden. Die Ergebnisse deuten an, dass die sandigen Substrate aufgrund ihres höheren Anteils an Grobporen günstigere Lebensräume für Collembolen darstellen, wohingegen die Regenwürmer lehmige Substrate vorziehen.

#### **4.2 Einfluss unterschiedlicher Bodennutzung auf die bodenbiologischen Eigenschaften der Mittel- und Ostdeutschen Kippenböden**

Beim Vergleich verschiedener Nutzungstypen bei Böden aus vergleichbaren Substraten zeigte sich eine besondere Förderung der bodenbiologischen Eigenschaften unter langjähriger Brachennutzung und bei Luzerneanbau im Vergleich zur ackerbaulichen Nutzung. Allgemein zeigen die Brache- und Luzerneflächen hohe mikrobielle Biomassen und Stoffwechselaktivitäten im Vergleich zu ackerbaulich genutzten Flächen (EMMERLING & SCHRÖDER 1993, EMMERLING et al. 1994). Das Verbleiben der Phytomasse am Standort und ein höherer oberirdischer Streueintrag führt neben der Bodenruhe zu einer Akkumulation von organischer Substanz im Oberboden, was gleichzeitig positive Rückkopplungen auf die untersuchten mikrobiellen Eigenschaften hat und die Etablierung einer arten- und individuenreichen Regenwurmfauna bewirkt. Die Flächen unter Luzernefutterbau wiesen gegenüber den ackerbaulich genutzten Flächen deutlich höhere Besiedlungsdichten mit Regenwürmern und Collembolen auf. Bodenruhe und die Anlieferung von organischer Substanz sind ausschlaggebend für die Besiedlungsdichte mit Regenwürmern. Unter

Luzerne wurden die höchsten Netto-N-Mineralisationsraten nachgewiesen. Eine gute Durchwurzelung und die symbiontische Stickstoffbindung der Luzerne (Leguminose) induzieren hohe Stickstoffmineralisationsraten. Die nutzungsbedingten Unterschiede in den Stickstoff-Mineralisationsraten konnten jedoch statistisch nicht abgesichert werden.

Die alkalische Phosphataseaktivität lag unter Luzerne gegenüber Ackerbau und Brache auf einem signifikant höheren Niveau. Die alkalische Phosphataseaktivität wird als Enzymaktivität des P-Kreislaufs im wesentlichen durch eine Endprodukt-Anreicherung gesteuert. Böden mit niedrigen Gehalten an pflanzenverfügbarem Phosphat zeigen zumeist hohe Phosphataseaktivitäten, wohingegen Böden mit hohen Phosphatgehalten häufig niedrige Phosphataseaktivitäten aufweisen (APPIAH et al. 1985, EMMERLING & SCHRÖDER 1999, SPEIR & ROSS 1978). Alle Untersuchungsstandorte befanden sich in der P-Versorgungsstufe C und D.

#### **4.3 Bedeutung der konservierenden Bodenbearbeitung auf die bodenbiologischen Eigenschaften landwirtschaftlich genutzter Kippenböden im Mittel- und Ostdeutschen Braunkohlenrevier**

Die Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung von rekultivierten Böden zeigte sich insbesondere in der relativen Erhöhung mikrobieller Eigenschaften in der Oberkrume bei zumeist gleichzeitiger Abnahme in der Unterkrume. Im Vergleich zu konventionell gepflügten Böden war somit eine ausgeprägte Konzentration von organischer Bodensubstanz und mikrobiellen Aktivitäten im oberen Krumenbereich nachzuweisen. Auch die Besiedlung durch Regenwürmer und Collembolen konnte durch eine bodenschonende Bearbeitung gefördert werden. Vergleichbare Ergebnisse haben bereits LYNCH & PANTING (1980), DORAN (1987), KANDELER & BÖHM (1996) und EMMERLING & SCHRÖDER (1998) mitgeteilt.

Durch die Anreicherung der oberen Bodenschichten mit organischer Substanz werden insbesondere aerobe Mikroorganismen gefördert (DORAN 1980). Darüber hinaus haben Untersuchungen unter anderem von KANDELER & BÖHM (1996) gezeigt, dass im Zusammenhang mit einem höheren Humusgehalt nicht nur die mikrobielle Biomasse in der Oberkrume zunimmt, sondern dass durch die reduzierte Bodenbearbeitung auch das Cmic/org-Verhältnis (Mikrobielle Biomasse pro Einheit orga-





nische Substanz) steigt. Dies bedeutet, dass der Anteil leicht umsetzbarer organischer Substanz an der gesamten organischen Bodensubstanz durch die Reduzierung der Grundbodenbearbeitung größer wird. KANDELER et al. (1993) ermittelten vergleichbare Einflüsse aufgrund unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung für die Enzymaktivitäten. Zahlreiche Enzymaktivitäten, wie Dehydrogenase-, alkalische Phosphatase-, Saccharase- und Ureaseaktivitäten können demnach im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung bei nichtwendenden Verfahren in der Oberkrume um das Fünffache erhöht sein.

Die generell niedrigeren Gehalte an organischer Substanz in gepflügten Böden infolge des erhöhten mikrobiellen Abbaus durch eine bessere Belüftung des Oberbodens kann eine Reduzierung des Nahrungsangebotes für viele Regenwurmarten, insbesondere endogäischer Regenwürmer bewirken und die Größe der Populationen verringern (LEE 1985). Durch nichtwendende, konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat wird die Artenzahl, die Abundanz und Biomasse sowie die Aktivität der Regenwürmer gefördert (CLAPPERTON et al. 1997, KLADIVKO et al. 1997).

Als wahrscheinliche Ursache für das Anwachsen der Populationen und ihre erhöhte Tätigkeit gelten Bodenruhe und das erhöhte Nahrungsangebot an der Bodenoberfläche. Nach Untersuchungen von FRIEBE & HENKE (1991) waren die Abundanzen bei konservierender im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung fast doppelt so hoch und die Anzahl der Regenwurmgänge in 20 und 45 cm Tiefe war in gegrubbten Parzellen 2-3fach, bei Direktsaat 7-8 fach erhöht. Dies unterstreicht, wie empfindlich die Regenwurmzönose auf die Bearbeitungsintensität reagiert. Nach wenigen Jahren reduzierter Bodenbearbeitung werden durch die Tätigkeit der Regenwürmer stabile Aggregate aufgebaut (KETTERINGS et al. 1997, MARINISSEN & HILLENAAAR 1997) und somit indirekt die Erosionsneigung von Böden vermindert.

HENDRIX et al. (1986) konnten in ihren Untersuchungen bei reduziert bearbeiteten Böden eine Dominanz pilzlicher Biomasse nachweisen. Diese pilzliche Biomasse stellt neben der organischen Bodensubstanz eine wichtige Nahrungsquelle für Collembolen dar. HEIMANN-DETLEFSEN (1991) konnte in ihren Untersuchungen ebenfalls unter reduzierter Bodenbearbeitung eine höhere Besiedlungsdichte mit Collembolen nachweisen.

## 5. Literatur

- ALEF, K. und KLEINER, D., 1989: Rapid and sensitive determination of microbial activity in soils and in soil aggregates by dimethylsulfoxid reduction. *Biol. and Fert. Soils* 8, 349 - 355
- ANDERSON, J. P. E. und DOMSCH, K. H., 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 10, 215 - 221
- APPIAH, M. R., HALM, B. J. und AHENKORAH, Y., 1985: Phosphatase activity of soils as effected by coca pod ash. *Soil Biology and Biochemistry* 17, 823 - 826
- BECK, T., 1983 Die N-Mineralisierung von Böden im Laborbrutversuch. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 146, 243 - 252
- CLAPPERTON, M.J., MILLER, J.J., LARNEY, F.J. und LINDWALL, C.W. 1997 Earthworm populations as affected by longterm tillage practices in southern Alberta, Canada. *Soil Biol. Biochem.*, 29, 631 - 633
- DORAN, J.W., 1980: Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44, 765 - 771
- DORAN, J.W., 1987: Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in notillage and plowed soils. *Biology and Fertility of Soils* 5, 68 - 75
- DUNGER, W., 1968: Die Entwicklung der Bodenfauna auf rekultivierten Kippen und Haldendes Braunkohlentagebaus. Ein Beitrag zur pedozoologischen Standortdiagnose. -Habilitationsschrift, Abh. u. Ber. des Naturkundemuseums Görlitz 43 (2)
- DUNGER, W., 1969: Fragen der natürlichen und experimentellen Besiedlung kulturfeindlicher Böden durch Lumbriciden. *Pedobiologia* 9, 149 - 151
- DUNGER, W., 1989: The return of soil fauna to coal mined areas in the German Democratic Republic.- In: MAJER, J. D.: *Animals in Primary Succession, The role of fauna in reclaimed lands.* Cambridge: University Press, S. 307 - 337
- EISENBEIS, G., 1993: Zersetzung im Boden. *Information zu Naturschutz und Landschaftspflege* 6, 53 - 76
- EMMERLING, C. und SCHRÖDER, D., 1993: Auswirkungen einer 4-jährigen Dauerbrache im Rahmen der Flächenstilllegung auf bodenchemische und -mikrobiologische Eigenschaften sowie die Besiedlung durch Regenwürmer. *VDLUFA-Schriftenreihe* 37, 625 - 628
- EMMERLING, C. und SCHRÖDER, D., 1998: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf



- biochemische Stoffumsätze in Böden. VDLUFA-Schriftenreihe 49, 211 - 214
- EMMERLING, C. und SCHRÖDER, D., 1999: P-Versorgung und P-Nachlieferung in langjährig ökologisch bewirtschafteten Böden. Beitr. 5. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Berlin, 31-34
- EMMERLING, C., 1999: Experimente zur Individual- und Populationsentwicklung von Regenwürmern in rekultivierten tertiären Kippsubstraten der Niederlausitz und Möglichkeiten der Förderung durch organische Reststoffe. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, im Druck
- EMMERLING, C., SCHNEIDER, R. und SCHRÖDER, D., 1994: Zur bodenkundlichen Beurteilung von Grünbrachen und nachfolgendem Umbruch im Rahmen der Flächenstilllegung. VDLUFA-Schriftenreihe 38, 273 - 276
- FRIEBE, B. und HENKE, W. 1991: Bodentiere und deren Strohabbauleistungen bei reduzierter Bodenbearbeitung. Z. Kulturtech. Landentw., 32, 121 - 126
- FROMM, H., HAHN, B. und WIEGLEB, G., 1997: Bodenfauna und Mikroorganismen in „Substraten“ der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft - Initiale für eine Bodenentwicklung?. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 83, 153 - 156
- GISIN, H., 1960: Collembolenfauna Europas. Genf
- HAUBOLD-ROSAR, M., KATZUR, J., SCHRÖDER, D. und SCHNEIDER, R., 1993: Bodenentwicklung in grundmeliorierten tertiären Kippsubstraten in der Niederlausitz. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 72, 1197 - 1202
- HEIMANN-DETLEFSEN, D., 1991: Auswirkungen eines unterschiedlich intensiven Pflanzenschutz- und Düngemittelsatzes auf die Collembolenfauna des Ackerbodens. Braunschweig, Univ., Diss
- HEINEMEYER, O., INSAM, H., KAISER, E. A. und WALENZIK, S., 1989: Soil microbial biomass and respiration measurements: an automated technique based on infra-red gas analysis. Plant and Soil 116, 191 - 195
- HENDRIX, P. F., PARMELEE, R. W., CROSSLLEY, D. A. und COLEMAN, D. C., 1986: Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. Bioscience 36, 374 - 380
- HOFFMANN G. und PALLAUF, J., 1965: Eine kolorimetrische Methode zur Bestimmung der Saccharaseaktivität in Böden. Z. Pflanzenern. Bodenk. 110, 193 - 201
- HÜTTL, R. und MAYER, S., 1996: Wiederherstellung ökologischer Bodenfunktionen in den Kippsubstraten. Anmerkungen zum unvollständigen Wissensstand. Bodenschutz 1, 21 - 26
- KANDELER, E., BÖHM, K. und BLUM, W.E.H. 1993: Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Tiefenverteilung der mikrobiellen Biomasse und verschiedener Enzymaktivitäten. Mitt. Deutsche Bodenk. Gesellsch., 72, 563 - 566
- KANDELER, E. und BÖHM, K. E., 1996: Temporal dynamics of microbial biomass, xylanase activity, N-mineralisation and potential nitrification in different tillage systems. Applied Soil Ecology 4, 181 - 191
- KEENEY, D. R. und BREMNER, J. M., 1966: Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agrono. J. 58, 498 - 503
- KETTERINGS, Q.M., BLAIR, J.M. und MARINISSEN, J.C.Y. 1997: Effects of earthworms on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in a legume cover crop agroecosystem. Soil Biol. Biochem., 29, 401-408
- MARINISSEN, J.C.Y. und HILLENAAAR, S.I. 1997: Earthworm-induced distribution of organic matter in macro-aggregates from differently managed arable fields. Soil Biol. Biochem., 29, 391 - 395
- KLADIVKO, E.J., AKHOURI, N.M. und WEESIES, G., 1997: Earthworm populations and species distribution under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. Soil Biol. Biochem., 29, 613-615
- LEE, K.E., 1985: Earthworms - their ecology and relationships with soils and landuse. Sydney, New York, London
- LYNCH, J. M. und PANTING, L. M., 1980: Cultivation and the soil biomass. Soil Biology and Biochemistry 12, 262 - 270
- RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN, 1985: Umweltprobleme der Landwirtschaft, Sondergutachten 1985. Stuttgart: Kohlhammer
- SCHAFER, W. M., NIELSEN, G. A., DOLLHOPF, D. F. und TEMPLE, K., 1979: Soil genesis, hydrological properties, root characteristics and microbial activity of 1- to 50-year-old stripmine spoils. Cincinnati, Ohio
- SCHULZ, H.J. und DUNGER, W., 1997: Untersuchungen zur Bodenfauna 35-jähriger aschemeliorierter Kippböden, Teil B II 3, Befunde zur Collembolenbesiedlung. DFG-Bericht der Arbeitsgruppe Görlitz – unveröffentlicht
- SHARMA, P. P., CARTER, F. S. und HALVORSON, G. A., 1993: Water retention by soils containing coal. Soil Science Society of America Journal 57, 311-316.



- SPEIR, T. W. und ROSS, D. J., 1978: Soil phosphatase and sulphatase. In: BURNS, D.: Soil enzymes., London: Academic Press, S. 197 - 250
- STAHL, H., SCHMIDT, W. und MENGE, M., 1995: Bodenstrukturverbessernde Bodenbearbeitung auf landwirtschaftlichen Rekultivierungsflächen des Braunkohlentagebaues in Sachsen unter Beachtung der N-Dynamik. Hellriegel-Konferenz 1995, Bernburg
- TABATABAI, M. A. und BREMNER J. M., 1969: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 1, 301-307
- THUM, J., WÜNSCHE, M. und FIEDLER, H. J., 1992: Rekultivierung im Braunkohlenbergbau der östlichen Bundesländer. In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EISELE, G. und HARREß, H.-M., Eds.: *Handbuch Bodenschutz*. Band 2. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 1 - 38
- VISSER, S., GRIFFITHS, C. L. und PARKINSON, D., 1983: Effects of surface mining on the microbiology of a prairie site in Alberta, Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 63, 177 - 189
- ZERLING, L., 1990: Zur Sukzession von Kleinarthropoden, insbesondere Collembolen, im Bodenbildungsprozess auf einer landwirtschaftlich genutzten Braunkohlenkippe bei Leipzig. *Pedobiologia* 34, 315 - 335
- ZIMDARS, B. und SCHULZ, H. J., 1998: Immigration und Sukzession der Mesofauna terrestrischer Ökosysteme insbesondere die Besiedlung von Immigrationsflächen durch Collembolen. 14. Plenum der AG Bodenmesofauna in Cottbus, 28 - 30
- ZÖTTL, H. und MÖHLENBRUCH, N., 1989: Die Böden in der forstlichen Rekultivierung. *Natur und Landschaft* 64, 440

## 6. Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch Mittel des BMBF (Förderzeichen 0339634) gefördert.

Wir danken den Projektpartnern des Verbundprojektes für die Überlassung der Untersuchungsflächen und für die gewährte Unterstützung während des Untersuchungszeitraumes.



## Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
August-Böckstiegel-Straße 1  
01326 Dresden
- Auflage:** 300 Stück
- Druck:** Sächsisches Druck- und Verlagshaus GmbH Dresden
- Bezug:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
E-Mail: [Gisela.Hauptmann@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de](mailto:Gisela.Hauptmann@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de)  
Telefon: (03 51) 26 12-0  
Telefax: (03 51) 26 12-153
- Schutzgebühr:** 12,78 Euro  
(Schutzgebührerhebung nur wenn vereinbart)

### Danksagung:

Die Teilnehmer des Verband-Forschungsvorhabens danken dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie sowie der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau- und Verwaltungsgesellschaft mbH für die gewährte Förderung und Unterstützung.

### Rechtshinweise:

Alle Rechte, auch die der Übersetzung sowie des Nachdruckes und jede Art der phonetischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten. Rechtsansprüche sind aus vorliegendem Material nicht ableitbar.

### Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme der Herausgeber zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist es jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden. Alle Rechte, auch die der Übersetzung sowie des Nachdruckes und jede Art der photomechanischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten. Rechtsansprüche sind aus dem vorliegenden Material nicht ableitbar.

