

Institut für Bodenökologie

GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

**Zeitliche Dynamik und räumliche Variabilität von wasserlöslichem Humus in A<sub>p</sub>-  
Horizonten von Ackerböden mit unterschiedlichem Ertragspotenzial und  
unterschiedlicher Bewirtschaftung**

Karl Zeller

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades

eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. A. Göttlein

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. J. C. Munch

2. Univ.-Prof. Dr. I. Kögel-Knabner

Die Dissertation wurde am 06.06.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 24.01.2006 angenommen.

Mit diesen Worten gab er ihn Sancho in die Hand, und dieser hob ihn empor, setzte ihn an die Lippen, sah eine Viertelstunde lang die Sterne an, und als er ausgetrunken, neigte er den Kopf zur Seite, seufzte mächtiglich auf und sprach: „O der Schelm, der Hurensohn! Der ist aber echt!“

„Seht Ihr nun“, fiel der vom Walde ein, wie Ihr, um den Wein zu loben, ihn einen Hurensohn genannt habt?“

„Ich sag's ja“, antwortete Sancho, „ich bekenn es, daß ich jetzt erkenne, es ist keine Unehre, jemanden einen Hurensohn zu nennen, wenn man ihn damit loben will. Aber sagt mir, so wahr Gott am Leben erhalte, was ihr am liebsten habt, ist der Wein von Ciudad Real?“

„Treffliche Weinzunge!“ antwortete der vom Walde; „in der Tat, er ist nirgends anders her und zählt schon etliche Jahre an Alter.“

„Mir kommt ihr damit?“ sagte Sancho darauf. „Glaubt nur nicht, daß es mir zu hoch ist, ein richtiges Verständnis von Wein zu haben. Ist's nicht was Schönes, Herr Schildknappe, daß ich von Natur einen so guten Instinkt habe, daß, wenn man mir irgendeinen beliebigen Wein zu riechen gibt, ich gleich seine Heimat und Herkunft erkenne, und wie er schmeckt und wie lang er sich hält und wie oft er umgeschlagen wird, benebst allen anderen Umständen, die beim Wein in Frage kommen? Aber es ist nichts zum Wundern dabei, denn ich hatte in meiner Familie von Vaters Seite die zwei ausgezeichnetsten Weinschmecker, welche seit vielen Jahren die Mancha gesehen hat; und zum Beweis will ich Euch erzählen, was ihnen einmal begegnet ist. Man gab ihnen beiden aus einem Fasse Wein zu versuchen und bat sie um ihr Urteil über Zustand, Beschaffenheit, Güte oder Mangelhaftigkeit des Weines. Der eine versuchte mit der Zungenspitze, der andre hielt ihn bloß an die Nase. Der erste sagte, der Wein schmecke nach Eisen, der zweite sagte, er schmecke nach Ziegenleder. Der Eigentümer sagte, das Faß sei rein und der Wein mit nichts verschnitten, wovon er den Geschmack von Eisen oder Leder habe annehmen können. Dessenungeachtet blieben die beiden ausgezeichneten Weinschmecker bei ihrem Ausspruch. Mit Verlauf der Zeit wurde der Wein verkauft, und beim Reinigen des Fasses fand man darin einen kleinen Schlüssel, der an einem Riemen von Ziegenleder hing. Daraus mag Euer Gnaden ersehen, ob ein Mann, der von solchen Ahnen stammt, in dergleichen Streitfragen sein Urteil abgeben kann.“

*Miguel de Cervantes Saavedra, Don Quijote, Zweites Buch, 13. Kapitel*

Diese Arbeit wurde unter Verwendung von Open Source Software (OSS) erstellt. Mit diesem Hinweis wurde dem Wunsch von OSS-Programmierern, auf die Verwendung ihrer Produkte hinzuweisen, genüge getan.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Forschung</b>	<b>3</b>
2.1. Quellen und Senken von DOM in Böden	3
2.2. Funktionen von DOM	3
2.3. Gewinnung von DOM	4
2.4. Charakterisierung von DOM	5
2.4.1. Spektroskopische Charakterisierung	5
2.4.2. Substratpotenzial von DOM	7
2.5. Erfassung der Variabilität von DOM	7
<b>3. Aufgabenstellung</b>	<b>10</b>
<b>4. Material und Methoden</b>	<b>11</b>
4.1. Flächen und Beprobungen	11
4.2. DOM-Gewinnung	13
4.2.1. Wasserextrahierbares organisches Material (WEOM)	13
4.2.2. DOM der Mittel- und Feinporen (DOM-II und DOM-I)	13
4.3. Parameter zur Untersuchung der Extrakte	14
4.3.1. UV-Spektroskopie	14
4.3.2. Fluoreszenz-Spektroskopie	15
4.3.3. Quantifizierung als DOC	15
4.3.4. pH-Wert	16
4.3.5. Substratpotenzial	16
4.3.6. Hydrolysierbare Monosaccharide	16
4.4. Bodenparameter	17
4.4.1. C <sub>org.</sub> -Gehalt	17
4.4.2. Gravimetrischer Wassergehalt	17
4.4.3. Porosität	17
4.5. Auswertung	17
4.5.1. Statistik	17
4.5.2. Geostatistik	18
<b>5. Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>19</b>
5.1. Auswirkungen von Extraktion und Zentrifugation auf DOM	19
5.1.1. Menge und Qualität von WEOM <sub>U</sub> , DOM-II und WEOM <sub>Z</sub>	19
5.1.2. Einfluß des Lösungsvolumens	20
5.1.3. Einfluß durch Ca <sup>2+</sup> -Ionen	20
5.1.4. Veränderungen durch Zentrifugation	21
5.1.5. Bodenwassergehalt	21
5.2. Umsetzungsgrad von WEOM <sub>U</sub> , DOM-II und WEOM <sub>Z</sub>	22
5.3. Menge und Qualität von DOM im Hinblick auf Bewirtschaftung und Ertragspotenzial	23

---

5.3.1. Einflußfaktoren für DOM und Ertragspotenzial	23
5.3.2. WEOM im Integrierten und Ökologischen Anbau	25
5.3.3. Einfluß des Corg.-Gehaltes auf WEOM	28
5.3.4. WEOM der Zwischenreihe und der Pflanzreihe von Silomais	31
5.3.5. WEOM <sub>U</sub> , DOM-II und WEOM <sub>Z</sub> im Integrierten und Ökologischen Anbau	33
5.4. Ursachen und Auswirkungen der zeitlichen Dynamik von DOM	36
5.4.1. WEOM verschiedener Zeiträume und Tiefenstufen	36
5.4.2. Einfluß der Temperatur	40
5.4.3. Einfluß des Bodenwassergehaltes	40
5.4.4. Wirkung von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen	41
5.4.5. Wirkung von Frost-Tau-Zyklen	42
5.4.6. Einfluß durch die Ackerfrucht	43
5.4.7. Wirkungen Organischer Düngung	44
5.4.8. Wirkungen Mineralischer Düngung	45
5.4.9. Einfluß der Bodenbearbeitung	46
5.4.10. Saisonalität von WEOM	46
5.4.11. WEOM <sub>U</sub> , DOM-II und WEOM <sub>Z</sub> der Kälte- und der Vegetationsperiode	50
5.4.12. Saisonalität von WEOM <sub>U</sub> DOM-II und WEOM <sub>Z</sub>	52
5.5. Ergebnisse zur räumlichen Variabilität von WEOM	53
5.5.1. Menge und Qualität von WEOM der Rasterberpobungen	53
5.5.2. Einfluß unterschiedlicher Nutzung auf die DOM-Freisetzung	56
5.5.3. Zeitliche Aspekte der Rasterbeprobungen	57
5.5.4. Geostatistische Analyse	58
5.5.5. Kriging	62
5.6. Hydrolysierbare Monosaccharide des WEOM	64
5.7. Substratpotenzial von DOM	69
<b>6. Schlußfolgerungen</b>	<b>71</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>73</b>
7.1. Zusammenfassung	73
7.2. Summary	76
<b>8. Literatur</b>	<b>79</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>97</b>
9.1. Anhang A: Bewirtschaftung des Integrierten und des Ökologischen Anbaus	97
9.2. Anhang B: Der zur Zentrifugation benutzte Becher	99
9.3. Anhang C: Ergebnisse zur zeitlichen Dynamik von WEOM	100
9.4. Anhang D: Ergebnisse zur zeitlichen Dynamik von DOM der Mittel- und Feinporen	113
9.5. Anhang E: Ergebnisse zur räumlichen Variabilität von WEOM	121

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mobilität und Eigenschaften von DOM in Abhängigkeit vom Porenradius, verändert nach Zsolnay (1996).	Seite 5
Tabelle 2: Ausgewählte bodenkundliche Daten zu den Beprobungsarealen für die Erfassung der zeitlichen Dynamik von DOM.	Seite 12
Tabelle 3: WEOC-Anteil am $C_{org.}$ in 0 – 20 cm Tiefe der Hoch- und Niedertragsflächen des Integrierten bzw. Ökologischen Anbaus von Mai 1999 bis Dezember 2000.	Seite 29
Tabelle 4: WEOC-Anteil am $C_{org.}$ in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe im Integrierten und Ökologischen Anbau von Mai 1999 bis Dezember 2000.	Seite 30
Tabelle 5: WEOC- bzw. DOC-Anteil von $WEOM_U$ , DOM-II und $WEOM_Z$ am $C_{org.}$ in 0 – 10 cm Tiefe der Hoch- und Niederertragsflächen im Integrierten und Ökologischen Anbau von Mai 1999 bis Dezember 2000.	Seite 36
Tabelle 6: Saisonalität von DOM in ausgewählten Literaturzitatzen.	Seite 47
Tabelle 7: Nugget-Effekt $C_0$ , Schwellwert $C_s$ , strukturelle Variabilität $V_s$ und Reichweite $R$ der Semivariogramm-Modelle der WEOM-Parameter bei den Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus im November 1999 und im April 2000.	Seite 60
Tabelle 8: Gehalt und WEOC-Anteil der hydrolysierbaren Monosaccharide bei der Rasterbeprobung des gesamten Ökologischen Anbaus, sowie der vor 1992 als Acker bzw. als Grünland genutzten Teilflächen im April 2000.	Seite 65
Tabelle 9: Rangkorrelationen des Gehaltes der Monosaccharide mit dem Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK, der maximalen Fluoreszenz-Intensität $F_{mk}$ , dem Humifizierungsindex HIX, dem Substratpotenzial $B$ und dem mikrobiell verfügbaren Anteil BDOC von WEOM des Ökologischen Anbaus bei der Rasterbeprobung im April 2000.	Seite 68
<b>Tabellen des Anhangs</b>	
Tabelle 10: Vor und während der Beprobungen zur zeitlichen Dynamik und zur räumlichen Variabilität von DOM im Integrierten und Ökologischen Anbau durchgeführte Bewirtschaftungsmaßnahmen.	Seite 97
Tabelle 11: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, $B$ , SAK, HIX und $F_{mk}$ von WEOM im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Hohertragsflächen.	Seite 100
Tabelle 12: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, $B$ , SAK, HIX und $F_{mk}$ von WEOM im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Hohertragsflächen.	Seite 102
Tabelle 13: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, $B$ , SAK, HIX und $F_{mk}$ von WEOM im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Niederertragsflächen	Seite 104

- Tabelle 14: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: konventionelle Düngung, Niederertragsflächen. Seite 106
- Tabelle 15: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Ökologischen Anbau: Hohertragsfläche. Seite 108
- Tabelle 16: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Ökologischen Anbau: Niederertragsfläche. Seite 110
- Tabelle 17: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: konventionelle Düngung, Hohertragsflächen, Pflanzreihe. Seite 112
- Tabelle 18:  $C_{org.}$ -Gehalt in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe und Porenvolumen in 0 – 10 cm Tiefe. Seite 112
- Tabelle 19: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Hohertragsflächen. Seite 113
- Tabelle 20: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Hohertragsflächen. Seite 114
- Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Niederertragsflächen. Seite 115
- Tabelle 22: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Niederertragsflächen. Seite 117
- Tabelle 23: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Ökologischen Anbau: Hohertragsfläche Seite 118
- Tabelle 24: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und  $WEOM_z$  im Ökologischen Anbau: Niederertragsfläche. Seite 119
- Tabelle 25: GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM zur räumlichen Variabilität. Seite 121
- Tabelle 26: Hydrolysierbare Monosaccharide des WEOM bei der Rasterbeprobung vom 06.04.2000. Seite 122

---

## Abbildungsverzeichnis (Kurztitel)

- Abbildung 1: Beprobungsraster zur Erfassung der räumlichen Dynamik im Ökologischen Anbau. Seite 13
- Abbildung 2: Parameter von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> des Ökologischen und Integrierten Anbaus von September 1999 bis Dezember 2000. Seite 19
- Abbildung 3: Umsetzungsgrad von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> des Ökologischen und Integrierten Anbaus von September 1999 bis Dezember 2000. Seite 22
- Abbildung 4: C<sub>org</sub>-Gehalt des Ökologischen und Integrierten Anbaus. Seite 23
- Abbildung 5: Volumen der Grob-, Mittel- und Feinporen des Ökologischen und Integrierten Anbaus. Seite 24
- Abbildung 6: WEOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM von Mai 1999 bis Dezember 2000. Seite 26
- Abbildung 7: Aromatizität A<sub>UV</sub>, Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> von WEOM von Mai 1999 bis Dezember 2000. Seite 27
- Abbildung 8: Umsetzungsgrad von WEOM in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe von Mai 1999 bis Dezember 2000. Seite 28
- Abbildung 9: Parameter von WEOM aus 0 – 20 cm Tiefe der Zwischenreihe und der Pflanzreihe von Mai bis Oktober 1999. Seite 31
- Abbildung 10: pH-Wert der WEOM-Extrakte aus 0 – 20 cm Tiefe der Zwischenreihe und der Pflanzreihe von Mai bis Oktober 1999. Seite 32
- Abbildung 11: DOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> von September 1999 bis Dezember 2000. Seite 34
- Abbildung 12: Aromatizität A<sub>UV</sub>, Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> von September 1999 bis Dezember 2000. Seite 35
- Abbildung 13: WEOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM von Mai bis September 1999, von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000. Seite 37
- Abbildung 14: Aromatizität A<sub>UV</sub>, Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> von WEOM von Mai bis September 1999, von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000. Seite 38
- Abbildung 15: Gravimetrischer Wassergehalt GRW von Mai bis September 1999 und von Mai bis September 2000. Seite 41
- Abbildung 16: Umsetzungsgrad des WEOM von Mai bis September 1999, von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000 in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe des Integrierten Anbaus. Seite 48

Abbildung 17: Umsetzungsgrad des WEOM von Mai bis September 1999, von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000 in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe des Ökologischen Anbaus. Seite 49

Abbildung 18: DOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> der Hoch- und Niederertragsflächen von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000. Seite 50

Abbildung 19: Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> von November 1999 bis März 2000 und von Mai bis September 2000. Seite 51

Abbildung 20: Parameter des WEOM der Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus, der vor 1992 als Acker bzw. als Grünland genutzten Teilflächen im November 1999 und im April 2000. Seite 54

Abbildung 21: Verhältnisse  $Q_{MX}$ ,  $Q_{GMAX}$  und  $Q_{RFAX}$  von WEOM. Seite 55

Abbildung 22: Umsetzungsgrad von WEOM der Rasterbeprobungen. Seite 57

Abbildung 23: Gravimetrischer Wassergehalt GRW der Rasterbeprobungen. Seite 58

Abbildung 24: Semivariogramme und Modelle von WEOM-Parametern. Seite 59

Abbildung 25: Kontourkarten des WEOC-Gehaltes, des Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK und der maximalen Fluoreszenz-Intensität  $F_{mk}$  der Rasterbeprobung im November 1999. Seite 63

Abbildung 26: Kontourkarten des WEOC-Gehaltes, des Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK und der maximalen Fluoreszenz-Intensität  $F_{mk}$  der Rasterbeprobung im April 2000. Seite 64

Abbildung 27: Gehalt und WEOC-Anteil der hydrolysierbaren Monosaccharide von WEOM des Ökologischen Anbaus im April 2000. Seite 66

## Abbildungen des Anhangs

Abbildung 28: Schematischer Querschnitt durch den zur Zentrifugation von Boden verwandten Becher.

Seite 99

## Abkürzungsverzeichnis

abs	Absorption
a. u.	Arbitrary units
AF	vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche des ökologischen Anbaus
A <sub>UV</sub>	Aromatizität
B	Substratpotenzial
BDOC	mikrobiell verfügbarer gelöster organischer Kohlenstoff
C	Kohlenstoff
C <sub>0</sub>	Nugget-Effekt
Ca	Calcium
Cl	Chlor
C <sub>org.</sub>	Gesamter organischer Kohlenstoff des Bodens
C <sub>s</sub>	Schwellwert (Sill)
DOC	Löslicher organischer Kohlenstoff
DOM	Lösliches organisches Material
DOM-I	Lösliches organisches Material der Feinporen
DOM-II	Lösliches organisches Material der Mittelporen
DOM-III	Lösliches organisches Material der Grobporen
E <sub>F</sub>	Fluoreszenz-Effizienz
F <sub>mk</sub>	Maximale korrigierte Fluoreszenz-Intensität
GF	vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche des ökologischen Anbaus
GLA	Bayerisches Geologisches Landesamt
GRW	Gravimetrischer Wassergehalt
H	Hohertrag; Wasserstoff
h	Distanz bei der Berechnung der Semivarianz
Hg	Quecksilber
HIX	Humifizierungsindex
I	Integrierter Anbau
K	Kalium
K <sub>x</sub>	Verteilungskoeffizient des Stoffes X
M	Median
N	Niederertrag; Stickstoff
n. b.	nicht bestimmt
n. s.	nicht signifikant
O	Sauerstoff
Ö	Ökologischer Anbau
P	Phosphor
p	Irrtumswahrscheinlichkeit bzw. Power eines statistischen Tests
Q <sub>GMAX</sub>	Quotient der Summe des Galactose- und des Mannose-Gehaltes und der Summe des Arabinose- und des Xylose-Gehaltes
Q <sub>MX</sub>	Quotient des Mannose- und des Xylose-Gehaltes

$Q_{\text{RFAX}}$	Quotient der Summe des Rhamnose- und des Fucose-Gehaltes und der Summe des Arabinose- und des Xylose-Gehaltes
R	Reichweite (Range)
SAK	Spektraler Absorptionskoeffizient
SB	Statistisches Bundesamt
TRD	Trockenraumdichte
TRS	Trockensubstanz
UBA	Umweltbundesamt
VB	95 %-Vertrauensbereich des Medians
$V_s$	strukturelle Variabilität
WEOC	Wasserextrahierbarer organischer Kohlenstoff
WEOM	Wasserextrahierbares organisches Material
$WEOM_u$	Wasserextrahierbares organisches Material des unzentrifugierten Bodens
$WEOM_z$	Wasserextrahierbares organisches Material des zentrifugierten Bodens
$\gamma$	Semivarianz
$\lambda$	Wellenlänge

## 1. Einführung

Der wasserlösliche Humus (DOM: Dissolved Organic Matter) ist die mobilste und am besten verfügbare organische Fraktion in ackerbaulich genutzten Böden. Als bedeutende Quellen für wasserlösliche organische Substanzen beeinflussen der feste Humus und die mikrobielle Biomasse Menge und Zusammensetzung des organischen Inhaltes der Bodenlösung, während durch die Porosität des Bodens Mobilität und Verfügbarkeit gelöster organischer Stoffe in situ bestimmt werden. Durch die Fähigkeit, Nährstoffe und Wasser zu speichern, sowie durch die Funktion in Aufbau und Stabilisierung der Bodenstruktur bzw. des Wurzelraumes tragen Humus und Porosität ackerbaulich genutzter Böden andererseits zu deren Ertragspotenzial bei. Der Beitrag der organischen Festphase ist dabei desto größer, je mehr diese in das aktuelle Stoffwechselgeschehen eingebunden ist, d. h. je stärker diese DOM beeinflusst.

An der Transformation des im Boden vorhandenen Humus sind eine Vielzahl von Bakterien, Pilzen, Protisten und Invertebraten beteiligt (SWIFT et al., 1979). Prozesse, die zur Umsetzung und zur Lösung von Humusbestandteilen im Bodenwasser führen können, laufen im Porenraum des Bodens ab, durch den das Wasser und Organismen erst Zugang zum organischen Solidus des Bodens erhalten. Das darin herrschende Milieu, das durch exogene wie endogene Faktoren beeinflusst werden kann, bestimmt dabei die Lebensbedingungen für Organismen ebenso wie die Reaktion gelöster organischer Bestandteile gegenüber der Festphase des Bodens. Die Bodenlösung ist dabei ein dynamisches System, das einerseits steter Veränderung unterliegt, andererseits, bedingt durch die räumliche Variabilität von Bodenparametern (CAMBARDELLA et al., 1994; ROMANO & SANTINI, 1997), in hohem Maße räumliche Variabilität aufweist.

Endogene Einflüsse auf den organischen Inhalt der Bodenlösung ergeben sich aus dem augenblicklichen Zustand des Bodens. Dieser ist das Ergebnis der bisherigen natürlichen Bodenentwicklung sowie der bisherigen Bodennutzung und bestimmt die für die Bodenlösung relevanten Parameter. Exogene Faktoren, denen die Bodenlösung im Ackerbau befindlicher Böden ausgesetzt ist, sind einerseits Klima und Witterung, andererseits Bewirtschaftung. Beide können Prozesse, die zur Bildung, zur Umsetzung oder zum Abbau von gelöstem Humus führen, in verschiedener Weise beeinflussen (CHANTIGNY, 2003; KALBITZ et al., 2000 b). Von der Wirkung exogener Faktoren, die sich zumeist in erheblich kürzeren Zyklen entwickeln als endogene Faktoren, ist aufgrund seiner direkten Exposition der  $A_p$ -Horizont besonders betroffen.

In der Bundesrepublik Deutschland ist eine Fläche von  $11,8 \cdot 10^6$  ha unter ackerbaulicher Nutzung, was etwa einem Drittel der gesamten Landesfläche entspricht (UBA & SB, 2002; SB, 2004). Der überwiegende Teil davon befindet sich unter integrierter Bewirtschaftung. Im Jahr 1999 wurde auf  $252,8 \cdot 10^3$  ha bzw. 2,1 %, im Jahr 2003 auf  $348,6 \cdot 10^3$  ha bzw. 2,9 % der gesamten zum Ackerbau genutzten Fläche ökologischer Ackerbau betrieben (SB,

2004). Als natürliche Ressource ist der im Ackerbau befindliche Boden Grundlage der Ernährungsicherung, deren Erhalt durch nachhaltige Bewirtschaftung für die Zukunft zu sichern ist.

Der Humus trägt wesentlich außer zum Erhalt des Ertragspotenziales von Ackerböden aller Nutzungsformen ebenso zu deren Widerstandsfähigkeit gegen Degradation und Erosion bei. Für den nachhaltigen Ackerbau ist daher das Verständnis von Aufbau, Umsetzung und Veratmung der verfügbaren organischen Materialien des Bodens durch Mikroorganismen unerlässlich. Aus Menge und Qualität des gelösten Humus können Rückschlüsse auf seine Quellen und damit auf den Grad der Einbeziehung der organischen Festphase des Bodens in aktuelle Umsetzungsprozesse gezogen werden. Räumliche Unterschiede hinsichtlich relevanter Parameter eines unter Ackernutzung befindlichen Bodens können die Umsetzung organischer Substanz dabei ebenso beeinflussen, wie auch zeitliche Veränderung exogener und endogener Faktoren die Lebensbedingungen der Organismen und damit deren Frei- und Umsetzung organischer Substanz beeinflussen. Die Kenntnis der zeitlichen Dynamik und der räumlichen Variabilität von Menge und Qualität des gelösten Humus tragen daher zum Verständnis der Prozesse bei, die mit dem Humus in ackerbaulich genutzten Böden verknüpft sind.

## **2. Stand der Forschung**

### **2.1. Quellen und Senken von DOM in Böden**

In ackerbaulich genutzten Böden sind die Quellen von DOM vielfältig. Neben dem bodenbürtigen Humus bzw. bereits humifizierten Substanzen (FILIP et al., 1998; MØLLER et al., 1999) zählen dazu Pflanzenstreu bzw. Erntereste, mikrobielle Stoffwechselprodukte und Metabolite (GUGGENBERGER et al., 1998; HONGVE, 1999; KALBITZ et al., 2000 b; ZSOLNAY, 1996), Wurzelexsudate von Pflanzen (KUZYAKOV & DOMANSKI, 2000) sowie ausgebrachter organischer Dünger (ROCHETTE & GREGORICH, 1998).

Senken von DOM sind die Veratmung und Speicherung organischen Materiales durch die mikrobielle Biomasse, Sorption von DOM an der mineralischen Festsubstanz sowie Verlagerung von DOM mit dem Sickerwasser in andere Kompartimente des Ökosystems.

### **2.2. Funktionen von DOM**

DOM ist die essentielle Energie- und Stoffressource für Mikroorganismen. Damit organische Substanz von Mikroorganismen umgesetzt werden kann, muß sie in gelöster Form vorliegen (ELLERT & GREGORICH, 1994). Die mikrobielle Verfügbarkeit von DOM wird dabei nicht nur von den Eigenschaften des Bodens sondern auch von DOM-Eigenschaften wie der molekularen Struktur der gelösten organischen Stoffe und damit von den metabolischen Fähigkeiten der Mikroorganismen bestimmt. Hochmolekulare Huminstoffe können von verschiedenen Organismen co-metabolisch (BHARDWAJ & GAUR, 1971; FILIP et al., 1998; KONTCHOU & BLONDEAU, 1992), von anderen eu-metabolisch (HÜTTMANN & BEYER, 1996; KHANDLWAL & GAUR, 1980; SOLNTSEVA, 1994; SWIFT et al., 1987) abgebaut werden. Komplexe mikrobielle Populationen führen dabei zu einem besonders effektiven Huminstoffabbau, da sie über eine vielseitige Enzymausstattung verfügen, die sukzessive eingesetzt wird (FILIP et al., 1998). DOM ist die stoffliche und energetische Basis mikrobieller Umsetzung und kann somit zum Aufbau der mikrobiellen Biomasse ebenso beitragen wie auch zur Spurengasentwicklung und anderen Folgen mikrobieller Aktivität. NOVOTNÝ et al. (1999) konnten zeigen, daß Weißfäulepilze mit ihrem Enzymapparat in der Lage sind, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) abzubauen. Dabei ist der Abbau der PAK desto effektiver, je höher der Humusanteil des Bodens ist, da dieser die Bildung ligninolytischer Enzyme stimuliert (GRAMSS et al., 1999 b). Der Abbau von Xenobiotica kann daher auch durch gute mikrobielle Verfügbarkeit von DOM begünstigt werden.

DOM kann mit Metallkationen in Wechselwirkung treten. Dadurch kann DOM einerseits an die mineralische Festsubstanz des Bodens sorbiert werden (EDWARDS & BREMNER, 1967) und so zur Stabilisierung von Aggregaten und Kolloiden beitragen (DALVA & MOORE, 1991; GUGGENBERGER et al., 1998; PEFFERKORN, 1997). Andererseits kann DOM auch zur Mobilisierung von Metallkationen beitragen und deren Verfügbarkeit erhöhen.

DOM kann mit hydrophoben Stoffen unterschiedlich starke Verbindungen eingehen und so trotz deren geringer Wasserlöslichkeit zu deren Mobilisierung und deren Verfügbarkeit im Boden beitragen (CHIOU et al., 1986; MARSCHNER, 1999; WILCKE, 2000).

### 2.3. Gewinnung von DOM

Zur Gewinnung von DOM sind in der Literatur viele verschiedene Methoden verbreitet, die jeweils unterschiedliche DOM-Fractionen erfassen. Dies hat letztendlich zu einer großen Zahl unterschiedlicher Begriffsdefinitionen geführt (FRIMMEL, 2000). Keine dieser Fractionen kann als Abbild des gesamten DOM angesehen werden. Aus der Menge und der Qualität einer DOM-Fraction kann daher letztlich nur auf Prozesse geschlossen werden, die diese DOM-Fraction betreffen. Um DOM in einer größeren Breite zu erfassen, ist es daher notwendig, verschiedene Gewinnungsmethoden nebeneinander einzusetzen.

Als wasserextrahierbares organisches Material (WEOM) wird diejenige DOM-Fraction definiert, die unter Verwendung einer wäßrigen Salzlösung aus Bodenmaterial extrahiert wird (ZSOLNAY, 1996). Bei der Wahl des Elektrolyten ist zu beachten, daß insbesondere mehrwertige Kationen zur Immobilisierung von DOM beitragen können. Andererseits konkurrieren verschiedene Anionen, beispielsweise das Phosphat- oder das Sulfatanion, mit DOM um mehrwertige Kationen und tragen so zur Freisetzung von DOM bei (REEMTSMA et al., 1999). Hinzu kommt, daß mit dem Einsatz des Extraktionsmittels ein im Vergleich zur Bodenlösung verhältnismäßig großes Lösungsvolumen hinzugefügt wird. Das damit erzeugte Ungleichgewicht begünstigt generell die Desorption organischer Substanz.

Bei der Gewinnung von WEOM wird die in-situ-Situation von DOM nicht berücksichtigt. Großen Einfluß auf Mobilität und Verfügbarkeit von DOM in situ hat das Porensystem des Bodens. Wie Tabelle 1 zeigt, hängen Transportweise und Umsatzkinetik von DOM vom jeweiligen Porendurchmesser ab. Es ist daher zu erwarten, daß der Porendurchmesser insbesondere die Qualität von DOM beeinflusst. Um diese unterschiedlichen Fractionen getrennt zu gewinnen, sind Methoden anzuwenden, die die Wasserspannung in den Poren der jeweiligen Größe berücksichtigt. STEINWEG (2002) schlägt, wie in Tabelle 1 gezeigt, die sukzessive Anwendung von Perkolation, Zentrifugation und Extraktion vor, um DOM der Grob-, Mittel- und Feinporen (DOM-III, DOM-II bzw. DOM-I) getrennt zu gewinnen.

Tabelle 1: Mobilität und Eigenschaften von DOM in Abhängigkeit vom Porenradius, verändert nach ZSOLNAY (1996).

Poren	Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Durchmesser $\varnothing$ , $\mu\text{m}$	> 10	$0,2 < \varnothing < 10$	< 0,2
DOM-Fraktion	DOM - III	DOM - II	DOM - I
Wasserspannung $\psi$ , mbar	$\psi > -300$	$-15000 < \psi < -300$	$\psi < -15000$
Stoffaustausch	konvektiv	diffusiv und konvektiv	diffusiv
Metabolismus	biotisch	biotisch, mikrobiell	abiotisch, exoenzymatisch
Umsatzkinetik	schnell	mäßig	langsam
Gewinnung <sup>1)</sup>	Perkolation	Zentrifugation	Extraktion

1) nach STEINWEG (2002).

WEOM enthält DOM-III und zu geringeren Anteilen DOM-II und DOM-I (ZSOLNAY, 1996). Da die Grobporen den effektivsten Stofftransport und den schnellsten Umsatz von DOM erlauben, ist WEOM daher ein guter Indikator für zeitnahe Veränderungen von DOM infolge endogener oder exogener Einwirkungen. Prozesse, die vor allem die Mittel- und Feinporen betreffen, werden dagegen am besten durch die Erfassung der Menge und der Qualität von DOM-II bzw. DOM-I erfaßt.

## 2.4. Charakterisierung von DOM

### 2.4.1. Spektroskopische Charakterisierung

Die Qualität von DOM ergibt sich aus seiner molekularen Struktur. Ein Teil des DOM weist jedoch eine ebenso komplexe wie chaotische molekulare Struktur auf, die sich einer allgemeingültigen, strukturechemischen oder stöchiometrischen Beschreibung entzieht (HAIDER, 1999; ZIECHMANN, 1996). Es ist daher sinnvoll, die Charakterisierung von DOM auf bestimmte Merkmale zu stützen, die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung ausreichende Aussagen über den molekularen Aufbau von DOM ermöglichen.

UV-Absorption und Fluoreszenz sind Merkmale, aus denen Rückschlüsse über Komplexität und Größe molekularer Strukturen von DOM gezogen werden können. Da diese Merkmale mit relativ geringem präparativem Aufwand quantifiziert werden können, ermöglichen sie eine hohe Zahl von Einzelmessungen. Ein Nachteil ist, daß Stoffe, die in ihrer molekularen Struktur keine Mehrfach-Bindungen aufweisen, wie beispielsweise Kohlenhydrate, nicht erfaßt werden.

Die Absorption ultravioletter Strahlung wird von Chromophoren verursacht. Dies sind molekulare Strukturen, deren  $\pi$ -Elektronen dadurch in energiereiche Molekülorbitale

angehoben werden (HÜTTER, 1994; KORSHIN et al., 1997). Der Grad der Absorption ultravioletter Strahlung durch DOM ist daher ein Maß für die Häufigkeit von  $\pi$ -Elektronen. In einigen Arbeiten wird die Absorption ultravioletter Strahlung daher auch zur Quantifizierung von DOM herangezogen (BARTELS, 1988; BRANDSTETTER et al., 1996; CAO et al., 1999; GÖTTLEIN & MATZNER, 1997; MACCRAITH et al., 1993). Die Häufigkeit von  $\pi$ -Elektronen ist ein Maß für die Menge ungesättigter bzw. aromatischer Molekülstrukturen des DOM.

TRAINA et al. (1990) und CHIN et al. (1994) wiesen eine signifikante Korrelation zwischen dem aus NMR-Spektren errechneten Gehalt an aromatischem Kohlenstoff im DOM und der Absorption ultravioletter Strahlung nach. Durch das Verhältnis der Absorption ultravioletter Strahlung zur DOC-Konzentration, das als Aromatizität definiert wird, kann daher der Anteil an aromatischen Molekülstrukturen im DOM geschätzt werden. Die Aromatizität ist eine gute Abschätzung der Reaktivität von DOM gegenüber Chlor (FRIMMEL 2000). Die Häufigkeit aromatischer Strukturen im DOM, und damit die Aromatizität, nimmt mit steigendem Umsetzungsgrad zu.

Fluoreszenz ist ein Weg, auf dem durch Absorption ultravioletter Strahlung von DOM aufgenommene Energie wieder abgegeben werden kann. Die Fluoreszenz wird von aromatischen und konjugierten, resonanzfähigen Molekülstrukturen hervorgerufen und dient zu deren Quantifizierung (SEAL et al., 1964). Daß die Fluoreszenz verursachenden Molekülstrukturen nicht mit den Chromophoren identisch sind, ergibt sich schon daraus, daß die Fluoreszenz im Gegensatz zur Absorption in hohem Maße durch den pH-Wert beeinflusst wird (CHOUdry, 1984; SCHNITZER & KHAN, 1972; ZSOLNAY et al., 1999). Bei der Messung der Fluoreszenzintensität ist der innere Filtereffekt, d. h. daß das durch Fluoreszenz emittierte Licht zu einem gewissen Anteil wieder absorbiert wird, zu berücksichtigen (GAUTHIER et al., 1986).

Die Wellenlänge des bei der Fluoreszenz emittierten Lichtes hängt von Größe und Komplexität der die Fluoreszenz verursachenden Molekülstrukturen ab. Bei Wellenlängen zwischen 300 nm und 350 nm geht die Fluoreszenz auf Eiweißbestandteile, einfache phenolische Verbindungen und Nukleinsäuren zurück (COBLE, 1990; ERICH & TRUSTY, 1997; WOLFBEIS, 1985), zwischen 410 nm und 460 nm auf Huminstoffe und humifizierte organische Substanzen (AHMAD & REYNOLDS, 1999; BLASER et al., 1999; COBLE et al., 1990; OHNO & CRONAN, 1997; STABEL & SCHWEDER, 1981; THURMAN, 1985), zwischen 430 nm und 520 nm auf komplexe fulvo- und huminsäureähnliche Strukturen mit hohem Molekulargewicht und hohem Anteil aromatischer Strukturen (BARANCIKOVA et al., 1997; SENESI et al., 1991; SERITTI et al., 1998). Da für Eiweißbestandteile und Nukleinsäuren die pflanzliche oder mikrobielle Herkunft wahrscheinlich ist, während humifiziertes Material eher aus dem Humus herrührt, wird es dadurch möglich, DOM hinsichtlich des Einflusses dieser beiden bedeutendsten Quellen für lösliches organisches Material im Boden zu charakterisieren. Daher wird der Humifizierungsindex anhand von Fluoreszenzspektren als das Verhältnis der Intensitäten einzelner Emissionswellenlängen (KALBITZ et al., 1999; KALBITZ et al., 2000 a;

KALBITZ & GEYER, 2001; MCKNIGHT et al., 2001) oder, um die größere Informationsmenge einfließen zu lassen, ganzer Spektrenabschnitte (ZSOLNAY et al., 1999) gebildet. Bei der Wahl der Spektrenabschnitte ist zu bedenken, daß in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Anregungslichtes bei bestimmten Wellenlängen die Raleigh-Streuung auftritt.

Das Verhältnis der Fluoreszenzintensität zur Absorption des Anregungslichtes ist eine Abschätzung des Wirkungsgrades der Fluoreszenz. Dieses Verhältnis steht in signifikanter negativer Korrelation mit dem Molekülgewicht der absorbierenden und fluoreszierenden DOM-Moleküle (BELIN et al., 1993; EWALD et al., 1988; STEWART & WETZEL, 1980).

#### **2.4.2. Substratpotenzial von DOM**

DOM ist für Mikroorganismen die am einfachsten verfügbare Humusfraktion (siehe 2.2). Das Substratpotenzial ist ein Maß dafür, zu welchem Anteil DOM von den Mikroorganismen mit ihrer Enzymausstattung tatsächlich verwertet werden kann. SERVAIS et al. (1987; 1989) bestimmen das Substratpotenzial von DOM direkt aus der Abnahme der DOC-Konzentration während einer Inkubation. Der Vorteil dessen ist, daß der von den Mikroorganismen tatsächlich abgebaute DOC erfaßt wird. BLOCK et al. (1992) und SERVAIS et al. (1989) empfehlen die Animpfung mit autochthonen Mikroorganismen, da diese DOC besser abbauen können als reine Bakterienstämme. Im Verlauf einer 90-tägigen Inkubation von DOM aus verschiedenen Böden und Bodenkompartmenten stellten KALBITZ et al. (2003 a) während der ersten Tage eine hohe, im weiteren Verlauf eine um 2 bis 3 Größenordnungen geringere Mineralisierungsrate fest und geben daher für gut mineralisierbares DOM eine Halbwertszeit von 2 – 5 Tagen, für langsam mineralisierbares DOM von 0,2 – 8,6 Jahren an. Auch BLOCK et al. (1992), BOISSIER & FONTIVIEILLE (1993), GRØN et al. (1992), SERVAIS et al. (1987) fanden in Inkubationen mit bis zu 28 Tagen Dauer den stärksten DOM-Abbau in den ersten 3 oder 4 Tagen. Von daher ist eine Inkubationsdauer von 5 Tagen ausreichend, um das Substratpotenzial von DOM zu bestimmen. Um die Limitierung des DOC-Abbaus durch Nährstoffmangel zu vermeiden, wird die Zugabe von Nitrat und Phosphat empfohlen (BOYER & GROFFMANN, 1996; STEINWEG, 2002; YANO et al., 1998). Bei der beschriebenen Bestimmung des Substratpotenziales bleibt unberücksichtigt, daß die Verfügbarkeit von DOM im Boden stark von der Situation in situ abhängt. Das Substratpotenzial erfaßt daher immer den maximal möglichen Anteil des bioverfügbaren DOM. Das Substratpotenzial organischer Substanzen kann zwischen 0 und 86 % betragen (SUN et al., 1997).

#### **2.5. Erfassung der Variabilität von DOM**

Räumliche Variabilität ist ein Kennzeichen der Größen  $C_{org}$ -Gehalt (SINOWSKI et al., 1995 b), und nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (SINOWSKI et al., 1995 a), die Menge und Qualität von DOM im Boden beeinflussen. Andererseits steht DOM auch mit verschiedenen Prozessen in Wechselwirkung. So fanden SEHY (2004) und CHANTIGNY et al. (1998) einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen der  $N_2O$ -Freisetzung und der

DOC-Konzentration. GRANLI & BØCKMAN (1994) beschreiben dagegen einen positiven Zusammenhang zwischen der N<sub>2</sub>O-Produktion und dem Gehalt an leicht verfügbarer organischer Substanz fest, und SEHY et al. (2004) stellten einen starken Anstieg der N<sub>2</sub>O-Freisetzung nach der Zugabe von DOC fest. WESSELS (2003) wies nach, daß zugegebene Glucose schneller im Boden immobilisiert wird als zugegebenes Senfpflanzenmaterial, wobei Böden mit der höheren Dynamik der mikrobiellen Biomasse auch den höheren C-Umsatz aufwiesen. Die genannten Beispiele zeigen, daß DOM in vielfältige Prozesse einbezogen wird. Das Verständnis der räumlichen Variabilität von DOM trägt daher auch zum Verständnis von Prozessen bei, die mit DOM zusammenhängen.

Zur Analyse und Interpolation raumbezogener DOM-Daten werden geostatistische Methoden angewandt. Dabei gilt ein Parameter als autokorreliert bzw. als räumlich abhängig, wenn seine Werte in zwei Punkten desto ähnlicher sind, je näher diese beieinanderliegen, d. h. wenn die Differenz der Werte in zwei Meßpunkten mit dem Abstand zwischen den Punkten korreliert. Diese Korrelation wird als Semivarianz bezeichnet. Die Semivarianz  $\gamma$  zur mittleren Distanz  $h$  wird dabei wie folgt berechnet (BRUCKNER et al., 1999; CHEVALLIER et al., 2000; JOURNAL & HUIJBREGTS, 1978; ROMANO & SANTINI, 1997):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \cdot N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad \text{Gleichung 1}$$

$\gamma(h)$	Semivarianz der mittleren Distanz $h$
$x_i, x_i + h$	zwei zu einem Paar zusammengefaßte Punkte,
$h$	die mittlere Distanz,
$N(h)$	die Anzahl der zur Berechnung verwendeten Punktepaaire,
$Z(x_i), Z(x_i + h)$	der in den Punkten $x_i$ und $x_i + h$ gemessene Parameter

In einem Semivariogramm wird die Semivarianz  $\gamma$  gegen die mittlere Distanz  $h$  aufgetragen. Ein Semivariogrammmodell beschreibt die Semivarianz als stetige Funktion des Punkteabstandes. Darin gehen die Parameter Nugget-Effekt  $C_0$ , Sill (dt.: Schwellwert)  $C_s$  und Range (dt.: Reichweite)  $R$  als Steuergrößen ein. Das sphärische Modell wird am häufigsten angewandt (CHEVALLIER et al., 2000; JOURNAL & HUIJBREGTS, 1978; ROMANO & SANTINI, 1997):

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C_s \cdot \left( \frac{3 \cdot h}{2 \cdot R} - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{h}{R} \right)^3 \right) & h \leq R \\ \gamma(h) &= C_0 + C_s & h \geq R \end{aligned} \quad \text{Gleichung 2}$$

$h$	Distanz,	$\gamma(h)$	Semivarianz von $h$ ,
$C_0$	Nugget-Effekt,	$C_s$	Sill,
$R$	Range		

Der Nugget-Effekt gibt die Semivarianz an, wenn der Abstand zweier Punkte 0 beträgt,

und ist ein Maß für die zufällige Variabilität und die Variabilität, die sich aus Meß- und Ortungsfehler ergeben. Mit zunehmendem Abstand steigt die Semivarianz an, bis sie der Summe von Nugget-Effekt  $C_0$  und dem Schwellwert  $C_s$  gleicht. Der Abstand, bei dem dies der Fall ist, ist der Range  $R$ . Punkte, deren Abstand voneinander kleiner ist als  $R$ , sind hinsichtlich des erhobenen Parameters räumlich voneinander abhängig. Ausführliche Erläuterungen zur geostatistischen Datenauswertung mithilfe von Semivariogrammen und Semivariogramm-Modellen geben BRUCKNER et al. (1999) und GODERYA (1998).

Semivariogrammmodelle verschiedener Parameter können nicht direkt miteinander verglichen werden, da in ihre Berechnung absolute Differenzen einfließen. Eine Vergleichsmöglichkeit bietet die strukturelle Variabilität  $V_s$  nach JACKSON & GOLDWELL (1993) und GÖRRES et al. (1998):

$$V_s = \frac{C_s}{C_0 + C_s} \cdot 100\% \quad \text{Gleichung 3}$$

$V_s$     strukturelle Variabilität  
 $C_0$     Nugget-Effekt  
 $C_s$     Schwellwert

Die strukturelle Variabilität  $V_s$  kann Werte zwischen 0 und 100 % annehmen. Je größer sie ist, desto besser wird die Variabilität durch das Semivariogramm erklärt (GÖRRES et al. 1998). CAMBARDELLA et al. (1994) sprechen von starker räumlicher Abhängigkeit bei einer strukturellen Variabilität von mindestens 75 %, von moderater räumlicher Abhängigkeit, wenn die strukturelle Variabilität zwischen 25 % und 75 % beträgt, und von schwacher räumlicher Abhängigkeit, wenn die strukturelle Variabilität unter 25 % liegt.

Prinzipiell sind geostatistische Methoden auch anwendbar zur Erfassung der zeitlichen Variabilität. Voraussetzung für die Anwendbarkeit geostatistischer Methoden ist jedoch, daß die Ergebnisse stationär sind, d. h. weder einen Trend noch Periodizität aufweisen. Da Zeitreihen jedoch häufig periodisch sein können, ist diese Voraussetzung in der Regel nicht erfüllt.

### **3. Aufgabenstellung**

In der vorliegenden Arbeit werden die zeitliche Dynamik und die räumliche Variabilität von DOM im  $A_p$ -Horizont ackerbaulich genutzter Flächen erfaßt. Dabei werden verschiedene DOM-Fractionen quantifiziert, deren Qualität und deren Substratpotenzial bestimmt. Die Quantifizierung ermöglicht es dabei, Faktoren, die die Freisetzung von DOM beeinflussen, zu erkennen. Die Qualität von DOM wird mithilfe von Parametern bestimmt, anhand derer der Einfluß der beiden bedeutendsten DOM-Quellen des Bodens, dies sind der Bodenhumus sowie die im Boden lebenden Organismen, auf die Zusammensetzung des organischen Inhaltes der Bodenlösung abgeschätzt werden kann. Durch die Bestimmung des Substratpotenziales wird ermittelt, inwieweit DOM den Mikroorganismen des Bodens als Nahrungsquelle zur Verfügung stehen kann.

Die zeitliche Dynamik von WEOM wird auf verschiedenen Flächen erfaßt, die sich durch anhaltend hohe bzw. niedrige Erträge auszeichnen. Dadurch können mögliche Zusammenhänge zwischen dem Ertragspotenzial der jeweiligen Flächen und der Menge und der Qualität von WEOM aufgezeigt werden. Dabei werden Flächen unter konventioneller und unter ökologischer Bewirtschaftung untersucht, um zudem den Einfluß der jeweiligen Maßnahmen auf die zeitliche Dynamik von WEOM aufzuzeigen.

Die zeitliche Dynamik von WEOM sowie von DOM der Mittel- (DOM-II) und DOM der Feinporen (DOM-I) wird parallel auf verschiedenen Flächen erfaßt, die sich hinsichtlich des Ertrages ebenso wie des  $C_{org}$ -Gehaltes und der Porosität unterscheiden. Dadurch wird es möglich den Einfluß des bodenbürtigen Humus' und des Porenraums auf die Freisetzung und die Qualität von DOM abzuschätzen.

Die räumliche Variabilität von WEOM wird im Feldmaßstab erfaßt. Dabei wird einerseits der Einfluß bestehender räumlicher Unterschiede hinsichtlich des  $C_{org}$ -Gehaltes auf WEOM charakterisiert, andererseits wird die räumliche Variabilität von WEOM-Parametern mithilfe von geostatistischen Methoden abgeschätzt.

Die Untersuchungen zur zeitlichen Dynamik und zur räumlichen Variabilität werden nur innerhalb des  $A_p$ -Horizontes durchgeführt, da die exogenen Faktoren Witterung und Bewirtschaftung ihre Wirkung auf DOM-relevante Prozesse in diesem Bodenbereich unmittelbar und zeitnah entfalten können.

---

## 4. Material und Methoden

### 4.1. Flächen und Beprobungen

Die Feldversuche dieser Arbeit wurden in den Jahren 1999 und 2000 auf den Schlägen A17 und A09 des Versuchsgut Scheyern, etwa 40 km nördlich von München im Tertiären Hügelland gelegen, durchgeführt. Auf diesem Versuchsgut werden im Rahmen des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM) die ökologischen Folgen verschiedener Formen der Landbewirtschaftung erfaßt und untersucht.

Die Böden von Schlag A17 sind Braunerden aus pleistozänen Lößderivaten und Kolluvien (GLA, 1980). Dieser Schlag wird integriert bewirtschaftet und wird daher im weiteren als „Integrierter Anbau“ bezeichnet. Im Jahr 1999 wurde im Integrierten Anbau erstmals eine Teilschlagbewirtschaftung mit den Varianten „Konventionell“, d. h. flächeneinheitlich gleiche Düngung, und „Ertragsoptimiert“, d. h. Düngung unter Berücksichtigung des Ertragspotentials des Vorjahres, durchgeführt. Im Jahr 1999 wurde nach Senf als Zwischenfrucht Silomais, danach im Jahr 2000 Winterweizen angebaut. Nach dem Winterweizen wurde wieder Senf als Zwischenfrucht angebaut (siehe auch Tabelle 10 im Anhang).

Die Böden von Schlag A09 sind Braunerden aus tertiärem Molassematerial und pleistozänen Sedimenten (GLA, 1980). Dieser Schlag wird ökologisch bewirtschaftet und wird daher im weiteren als „Ökologischer Anbau“ bezeichnet. Im Zuge der Nutzungsumstellung auf dem Versuchsgut in Scheyern im Jahr 1992 ging dieser Schlag aus der Zusammenlegung einer bis dahin als Grünlandfläche und einer bis dahin bereits als Acker genutzten Fläche hervor (FAM, 1994 a, b). Im Jahr 1999 wurde als Brachefrucht ein Gemisch aus Klee, Gras und Luzerne, im Jahr 2000 Winterweizen angebaut, danach Winterroggen (siehe auch Tabelle 10 im Anhang).

Für die **Beprobungen zur zeitlichen Dynamik** von DOM wurden im Integrierten und im Ökologischen Anbau jeweils zwei Areale mit dauerhaft hohen („Hohertrag“) bzw. niedrigen („Niederertrag“) Erträgen ausgewählt. Im Integrierten Anbau wurden auf beiden Arealen die konventionell und ertragsoptimiert bewirtschafteten Teilschlagvarianten getrennt beprobt. Im Ökologischen Anbau befanden sich beide Areale auf der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche. Auf allen diesen Flächen wurde zwischen den Pflanzreihen beprobt. Für die Dauer des Maisanbaus wurde im Hohertragsareal des integrierten, konventionell bewirtschafteten Anbaus auf einer weiteren Fläche in der Pflanzreihe beprobt. In Tabelle 2 sind einige bodenkundliche Daten der Beprobungsareale zusammengefaßt.

Tabelle 2: Ausgewählte bodenkundliche Daten zu den Beprobungsarealen für die Erfassung der zeitlichen Dynamik von DOM.

Fläche	Integrierter Anbau		Ökologischer Anbau	
	Hochertrag	Niederertrag	Hochertrag	Niederertrag
Bodentyp <sup>1,2)</sup>	YK	BB	BB	BB
Bodenart <sup>3)</sup>	Lu	Lu	Ls2	Sl
TRD <sup>4)</sup>	1,36	1,39	1,45	1,46

1) Quelle: GLA, (1980).

2) Symbolik nach AG BODEN (1994).

3) im A<sub>p</sub>-Horizont; Quelle: FAM-Datenbank.

4) TRD: Trockenraumdichte in 0 – 10 cm; Quelle: SEHY (2004.).

Die Wahl der Beprobungsflächen ermöglichte es, zwischen integrierter und ökologischer Bewirtschaftung, zwischen Hoch- und Niederertragsflächen sowie im Integrierten Anbau zwischen konventioneller und ertragsoptimierter Düngung zu unterscheiden.

Zur Erfassung der zeitlichen Dynamik von DOM wurde in der Zeit von Mai 1999 bis Dezember 2000 wöchentlich auf jeder Beprobungsfläche mit dem Pürkhauer-Bohrstock eine Mischprobe aus 0 – 10 cm und eine Mischprobe aus 10 – 20 cm Tiefe jeweils aus fünf Einstichen entnommen. Zur Erfassung der zeitlichen Dynamik des DOM der Mittel- und Feinporen wurde in der Zeit von September 1999 bis Dezember 2000 wöchentlich eine Mischprobe aus fünf Einstichen aus 0 – 10 cm Tiefe entnommen. Zur Bestimmung der Porosität wurde auf jedem Beprobungsareal aus 0 – 10 cm Tiefe 2 Proben mit dem Stechzylinder entnommen.

Für die **Beprobungen zur räumlichen Variabilität** wurde im Ökologischen Anbau ein Raster aus fünfundfünfzig Beprobungspunkten mit einem Abstand von 20 m mithilfe des Globalen Positionierungssystems (GPS) eingemessen (siehe Abbildung 1). Das Raster wurde im November 1999 und im April 2000 beprobt. 39 der insgesamt 55 Beprobungspunkte befanden sich auf der vor der Nutzungsumstellung im Jahr 1992 als Acker (AF), 16 auf der als Grünland (GF) genutzten Teilfläche.

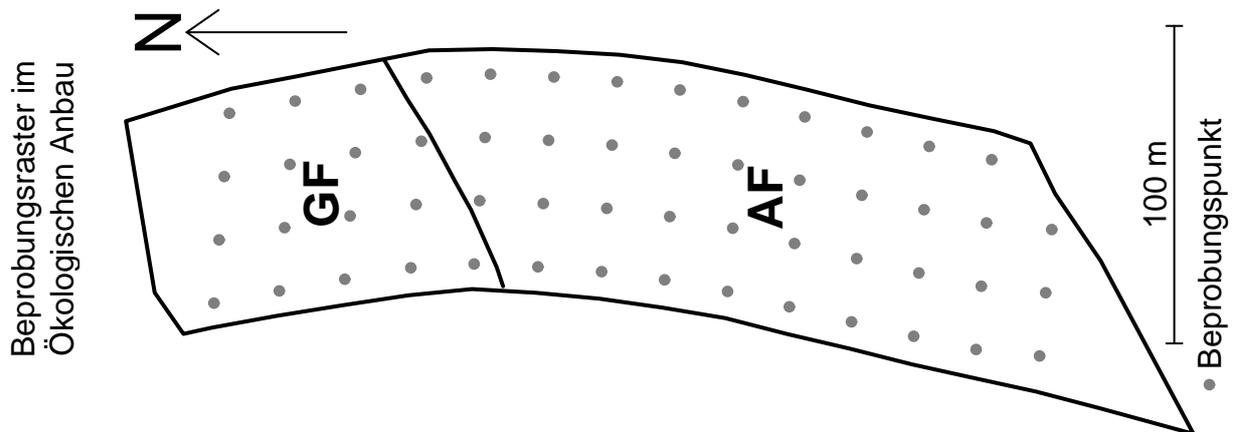


Abbildung 1: Beprobungsraster zur Erfassung der räumlichen Dynamik im Ökologischen Anbau. AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche; N: Nordrichtung.

Zur Untersuchung der räumlichen Variabilität von DOM wurde bei beiden Beprobungen an jedem Rasterpunkt zur Berücksichtigung lokaler Heterogenität eine Mischprobe aus fünf Einstichen mit einem maximalen Abstand von 0,5 m entnommen.

## 4.2. DOM-Gewinnung

### 4.2.1. Wasserextrahierbares organisches Material (WEOM)

Zur Extraktion von WEOM aus feldfrischem Bodenmaterial wurde 0,01-molare  $\text{CaCl}_2$ -Lösung verwendet, die sich in Vorversuchen als dazu am besten geeignet herausgestellt hat. Nach dem Entfernen von Wurzeln, Steinen u. ä. wurden 80 g feldfrischer Boden in Kunststoffflaschen eingewogen, mit 160 mL Extraktionsmittel 1 h bei Raumtemperatur über Kopf geschüttelt und bei 4000 U/min 15 min zentrifugiert. Der Überstand wurde mit Membranfiltern aus Polykarbonat (Porendurchmesser 0,4  $\mu\text{m}$ ) filtriert. 3 mL des Filtrates wurde zur sofortigen Messung von UV-Absorption, Fluoreszenz und C-Konzentration verwendet, der Rest für die spätere Bestimmung des Substratpotentials bzw. der Kohlenhydrate eingefroren.

### 4.2.2. DOM der Mittel- und Feinporen (DOM-II und DOM-I)

Mithilfe der Zentrifugation kann Bodenlösung aus Bodenproben gewonnen werden. Durch die geeignete Wahl von Dauer und Zentrifugalkraft, d. h., der  $g$ -Zahl, können selektiv Mittelporen entleert werden (GRIEVE, 1996; AZCUE et al., 1997). Zur Gewinnung von DOM-II wurden in Vorversuchen Zentrifugationsdauer und Umdrehungszahl anhand von  $pF$ -Kurven ermittelt, die in der FAM-Datenbank vorliegen.

Zur Zentrifugation wurden in einen eigens dafür entworfenen Becher (STEINWEG, 2002; Skizze siehe Seite 99) 20 g feldfrischer Boden eingewogen, der zuvor von Pflanzenteilen, Steinen u. ä. befreit wurde. Zunächst wurde der Boden in einem Festwinkelrotor (JA-14

von Beckmann) 30 min bei einer Beschleunigung von 5000 g, im Anschluß daran 3 h bei 20000 g zentrifugiert. Die Menge gewonnener Bodenlösung wurde gravimetrisch bestimmt, DOM-II danach durch die Messung von UV-Absorption, Fluoreszenz und C-Konzentration charakterisiert.

An einem Aliquot des zentrifugierten Bodens wurde der gravimetrische Wassergehalt bestimmt. Zur Gewinnung von DOM-I als WEOM des zentrifugierten Bodens (WEOM<sub>Z</sub>) wurde ein weiteres Aliquot des zentrifugierten Bodens wie oben beschrieben extrahiert. 3 mL dieses Extraktes wurden zur sofortigen Messung der Fluoreszenz, der Absorption und der C-Konzentration verwandt, der Rest zur späteren Bestimmung des Substratpotenziales eingefroren.

### 4.3. Parameter zur Untersuchung der Extrakte

Die nachfolgend beschriebenen Messungen zur UV- bzw. fluoreszenz-spektroskopischen Charakterisierung (2.3.1 und 2.3.2) und zur Quantifizierung (2.3.3) von DOM wurden jeweils am selben Lösungsvolumen von 3 mL durchgeführt. Dieses wurde vor allen drei Messungen mit 30 µL 2 N HCl angesäuert, um einerseits den Einfluß des pH-Wertes auf die Fluoreszenzintensität (CHOUDRY, 1984; ZSOLNAY et al., 1999) zu nivellieren, andererseits um im Extrakt vorhandenes Karbonat zu Kohlendioxid zu zersetzen. Für die UV-Spektroskopie wie für die Fluoreszenz-Spektroskopie wurden Küvetten aus Suprasil-Quarzglas verwandt.

#### 4.3.1. UV-Spektroskopie

Die UV-Absorption wurde bei der Wellenlänge von 254 nm auf einer Lichtstrecke von 1 cm gemessen. Das Spektrophotometer (U-2000 von Hitachi) wurde auf die Absorption von bidestilliertem Wasser als Nullwert geeicht. Aus dem Absorptionswert ergibt sich der spektrale Absorptionskoeffizient SAK:

$$\text{SAK} = \text{abs} \cdot f \quad \text{Gleichung 4}$$

SAK Spektraler Absorptionskoeffizient [ $\text{m}^{-1}$ ],

abs Absorptionswert bei 254 nm [ $\text{cm}^{-1}$ ]

f Umrechnungsfaktor:  $100 \text{ cm m}^{-1}$

Umgerechnet auf die C-Konzentration ergibt sich aus dem SAK die Aromatizität  $A_{UV}$ :

$$A_{UV} = \frac{\text{SAK}}{[\text{DOC}]} = \frac{\text{abs} \cdot f}{[\text{DOC}]} \quad \text{Gleichung 5}$$

$A_{UV}$  die Aromatizität [ $\text{m}^{-1} (\text{mg L}^{-1})^{-1}$ ]

[DOC] die Konzentration des löslichen organischen Kohlenstoffes [ $\text{mg L}^{-1}$ ]

Weitere Symbolik siehe Gleichung 4

### 4.3.2. Fluoreszenz-Spektroskopie

Fluoreszenz-Emissions-Spektren von 300 – 480 nm wurden mithilfe eines Fluoreszenz-Spektrophotometers (F-2000 von Hitachi) aufgenommen. Die Wellenlänge des Anregungslichtes betrug 254 nm, die Länge der Lichtstrecke 1 cm. Zur Eichung wurde die Fluoreszenzintensität von Wasser (Raman-Peak) gemessen.

Aus dem Verhältnis der Fluoreszenz-Intensitäten des lang- und des kurzwelligen Bereiches der Spektren wird der Humifizierungsindex HIX nach ZSOLNAY et al. (1999) errechnet:

$$\text{HIX} = \frac{\int_{345\text{nm}}^{480\text{nm}} F_{\lambda} \cdot \partial_{\lambda}}{\int_{300\text{nm}}^{480\text{nm}} F_{\lambda} \cdot \partial_{\lambda}} = \frac{\sum_{345\text{nm}}^{480\text{nm}} F_{\lambda}}{\sum_{300\text{nm}}^{480\text{nm}} F_{\lambda}} \quad \text{Gleichung 6}$$

HIX Humifizierungsindex

$F_{\lambda}$  Fluoreszenz-Intensität bei der Wellenlänge  $\lambda$  [a. u.]

$\partial_{\lambda}$  Inkrement des Integrals

Auf die maximale Fluoreszenz-Intensität des Emissions-Spektrums  $F_{\text{mk}}$  wurde die von GAUTHIER et al. (1986) vorgeschlagene und von STEINWEG (2002) vereinfachte Korrektur des inneren Filter-Effektes angewandt:

$$F_{\text{mk}} = \frac{F_{\text{m}} \cdot e^{d \cdot \text{abs}}}{F_{\text{R}}} \quad \text{Gleichung 7}$$

$F_{\text{mk}}$  maximale, korrigierte Fluoreszenzintensität

$F_{\text{m}}$  maximale Fluoreszenzintensität [a. u.]

$e$  Euler'sche Zahl

$d$  Absorptionsstrecke von 1 cm Länge

$\text{abs}$  Absorption des Anregungslichtes [ $\text{cm}^{-1}$ ]

$F_{\text{R}}$  Fluoreszenz-Intensität des Raman-Peaks [a. u.]

Aus der maximalen, korrigierten Fluoreszenz-Intensität  $F_{\text{mk}}$  und der UV-Absorption wird die Fluoreszenz-Effektivität  $E_{\text{F}}$  berechnet (EWALD et al., 1988):

$$E_{\text{F}} = \frac{F_{\text{mk}}}{\text{abs}} = \frac{F_{\text{m}} \cdot e^{d \cdot \text{abs}}}{F_{\text{R}} \cdot \text{abs}} \quad \text{Gleichung 8}$$

Symbolik siehe Gleichung 7

### 4.3.3. Quantifizierung als DOC

Die DOC-Konzentration der Extrakte wurde durch katalytische Oxidation im Sauerstoff-

strom in einem Total Organic Carbon Analyser (TOC 5050 A, Fa. Shimadzu) bestimmt. Die Extrakte wurden vor der Messung mit Sauerstoff gewaschen, um gelöstes Kohlendioxid zu verdrängen. Zur Eichung wurden Lösungen von Kalium-Hydrogen-Phthalat verwandt.

#### 4.3.4. pH-Wert

Der pH-Wert der Extrakte wurde potentiometrisch mithilfe einer pH-Elektrode bestimmt, die mit Standardlösungen geeicht wurde. Da zur Extraktion ein pH-neutrales Lösungsmittel verwandt wurde, entspricht der pH-Wert der Extrakte dem des extrahierten Bodens.

#### 4.3.5. Substratpotenzial

In jeweils drei Parallelen wurden je 5 mL Extrakt in Teflonfläschchen (Nalgene) gegeben und 2 mL Nährlösung zu je 1 mg L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> und K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> sowie 50 µL Inokulum zur Animpfung hinzugefügt. Zur Kontrolle wurden drei Parallelen aus 5 mL Glucoselösung zu 10 mg L<sup>-1</sup> Glucose-C mit 2 mL Nährlösung und 50 µL Inokulum angesetzt. Das Inokulum wurde aus einem Schüttelextrakt aus 60 g Boden (Mischprobe von allen Flächen) und 120 mL Leitungswasser nach 45 min Sedimentationszeit entnommen. Zu Beginn und am Ende der 5-tägigen Inkubation bei Raumtemperatur wurden jeweils 3 mL entnommen, an dem wie oben beschrieben die DOC-Konzentration gemessen wurde. Das Substratpotenzial B ergibt sich aus der Differenz der DOC-Konzentrationen bei Beginn und zum Ende der Inkubationszeit:

$$B = \frac{[\text{BDOC}]}{[\text{DOC}]} \cdot 100\% = \frac{[\text{DOC}_0] - [\text{DOC}_5]}{[\text{DOC}_0]} \cdot 100\% \quad \text{Gleichung 9}$$

B	Substratpotential, Anteil des mikrobiell verfügbaren DOC [%]
[BDOC]	mikrobiell verfügbarer Kohlenstoff [mg L <sup>-1</sup> ]
[DOC <sub>0</sub> ]	(= [DOC]) DOC-Konzentration am 0. Tag [mg L <sup>-1</sup> ]
[DOC <sub>5</sub> ]	DOC-Konzentration am 5. Tag [mg L <sup>-1</sup> ].

#### 4.3.6. Hydrolysierbare Monosaccharide

Zur der Bestimmung der Monosaccharide am WEOM der Rasterbeprobung im April 2000 wurde die Hochdruck-Anionen-Austausch-Chromatographie in Kopplung mit gepulster amperometrischer Detektion (HPAEC-PAD) nach RUSER et al. (in Vorb.) angewandt. Weil in Vorversuchen keine freien Monosaccharide im DOM-Extrakt nachweisbar waren, wurde der Messung die Hydrolyse mit Trifluoressigsäure (TFA) nach AMELUNG et al. (1996) vorangestellt.

#### 4.4. Bodenparameter

##### 4.4.1. $C_{\text{org}}$ -Gehalt

Zur Bestimmung des  $C_{\text{org}}$ -Gehaltes wurde luftgetrockneter, feingemahlener Boden in Zinnkapseln (Lüdi AG) eingewogen und im CN Analyser NA 1500 (Carlo Erba) über Kupfer unter  $O_2$ -Atmosphäre verbrannt. Das dabei entstehende Kohlendioxid wurde durch einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor quantifiziert. Zur Eichung wurde Acetanilid verwendet. Ergebnisse zum  $C_{\text{org}}$ -Gehalt wurden von Ulrike Sehy zur Verfügung gestellt.

##### 4.4.2. Gravimetrischer Wassergehalt

Um die C-Konzentrationen auf die Festsubstanz des Bodens umrechnen zu können, wurde der gravimetrische Wassergehalt bestimmt. Hierzu wurden 40 g feldfrischen Bodens bei  $105^\circ\text{C}$  bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, danach zurückgewogen. Der gravimetrische Wassergehalt ergibt sich wie folgt:

$$\text{GRW} = \frac{\Delta M}{\text{TRS}} \cdot 100\% \quad \text{Gleichung 10}$$

GRW gravimetrischer Wassergehalt [%]

$\Delta M$  Massendifferenz zwischen Einwaage und Zurückwiegen [g]

TRS Masse der Trockensubstanz [g]

Die Daten zum gravimetrischen Wassergehalt wurden von Ulrike Sehy zur Verfügung gestellt.

##### 4.4.3. Porosität

Die Porengrößenverteilung wurde nach Cox et al. (1997) mithilfe der Hg-Intrusions-Porosimetrie bestimmt. Für die Messung wurden die im Stechzylinder entnommenen und darin bei  $105^\circ\text{C}$  getrockneten Proben vorsichtig zerbrochen. Ein 1 g schweres Bruchstück wurde vor der Messung für 24 h auf  $90^\circ\text{C}$  erhitzt, danach bei Raumtemperatur unter Benetzung mit Hg 30 min evakuiert. Die Porenvolumina wurden mithilfe der Laplace-Gleichung unter der Annahme von  $0,5\text{ N m}^{-1}$  für die Oberflächenspannung von Hg, eines Benetzungswinkels von  $141,3^\circ$  und einer zylindrischen Porengestalt berechnet. Es wurden Poren mit einem Durchmesser zwischen  $100\ \mu\text{m}$  und  $0,0031\ \mu\text{m}$  erfasst.

#### 4.5. Auswertung

##### 4.5.1. Statistik

Aus den für die drei Parallelen berechneten Werten für das Substratpotenzial B wurde der Median bestimmt. Für die anderen Größen wurde für jeden Termin ein Wert verwendet. Zum Vergleich mit DOM-II und DOM-I bzw.  $WEOM_Z$  wurden zeitlich entsprechende

Ergebnisse von WEOM unter der Bezeichnung WEOM des unzentrifugierten Bodens (WEOM<sub>U</sub>) verwandt.

Für statistische Berechnungen und grafische Darstellungen wurde das Programm R (IHAKA & GENTLEMAN, 1996; HORNIK, 2002) in der Version 1.5.0 verwandt. Da die Daten überwiegend nicht normalverteilt sind, wurden nur verteilungsunabhängige Tests angewandt. Allen statistischen Tests wurde das Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  zugrunde gelegt. Für die Darstellung von Boxplots wurden der Median, das erste und das dritte Quartil, das erste und das neunte Dezil sowie das fünfte und das fünfundneunzigste Perzentil bestimmt.

#### **4.5.2. Geostatistik**

Zur geostatistischen Auswertung unter R wurde das Zusatzprogramm sgeostat in der Version 1.0 (MAJURE, 1995) verwendet. Zur geostatistischen Auswertung der beiden zur Erfassung der räumlichen Variabilität durchgeführten Rasterbeprobungen wurde anisotrope nord-südlich gerichtete Semivarianz angenommen, da sich der beprobte Schlag zum einen in Nord-Südrichtung erstreckt, zum anderen die vor 1992 als Grünland bewirtschaftete Teilfläche das nördliche Drittel des Schlages einnimmt. Um dennoch andere Richtungen zu berücksichtigen, wurde ein Toleranzwinkel von  $45^\circ$  angenommen. Es wurden Punktepaaire bis zu einer maximalen Distanz von 210 m berücksichtigt.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

### 5.1. Auswirkungen von Extraktion und Zentrifugation auf DOM

#### 5.1.1. Menge und Qualität von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub>

Abbildung 2 zeigt Ergebnisse zur Menge und zur Qualität von DOM-II, WEOM des zentrifugierten (WEOM<sub>Z</sub>) und des unzentrifugierten Bodens (WEOM<sub>U</sub>) in der Zeit von September 1999 bis Dezember 2000. Einzelergebnisse finden sich im Anhang in den Tabellen 11 bis 16 bzw. 19 bis 24. Dabei zeigt DOM-II den geringsten, WEOM<sub>Z</sub> den

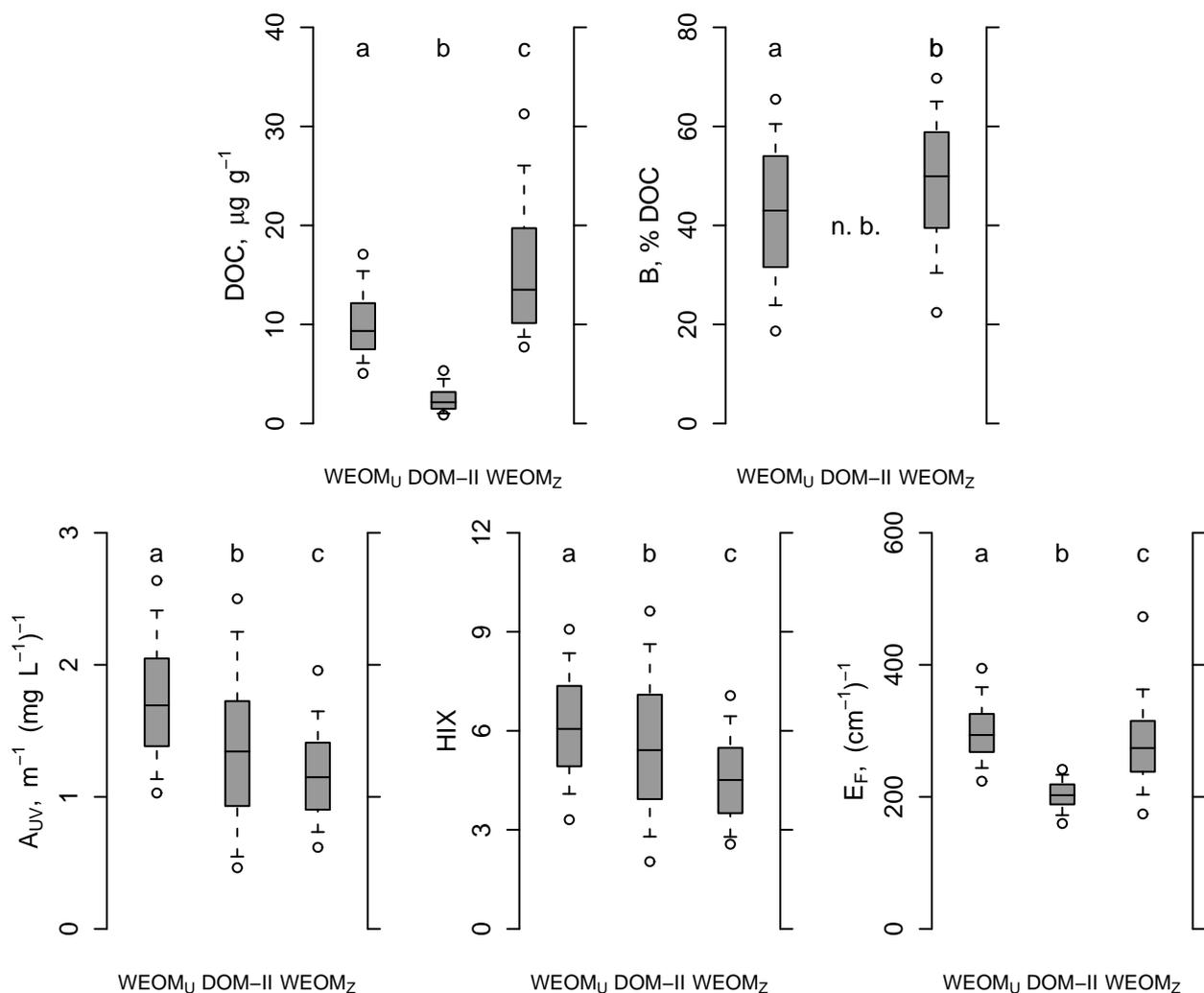


Abbildung 2: DOC-Gehalt, Substratpotenzial B, Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> aus 0 – 10 cm Tiefe der Hoch- und Niedertragsflächen des Ökologischen und Integrierten Anbaus von September 1999 bis Dezember 2000. n. b.: nicht bestimmt; a, b, c: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den genannten Fraktionen,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 300$ .

höchsten DOC-Gehalt. WEOM<sub>U</sub> zeigt die größten, WEOM<sub>Z</sub> die geringsten Werte für die

Aromatizität  $A_{UV}$  und den Humifizierungsindex HIX. DOM-II zeigt die geringste,  $WEOM_U$  die größte Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$ . Das Substratpotenzial  $B$  von  $WEOM_Z$  ist statistisch signifikant höher als von  $WEOM_U$ .

$WEOM$  umfaßt die mobilste und labilste Fraktion von DOM (NELSON et al., 1994), ist jedoch nicht im Hinblick auf die Porosität des Bodens definiert (ZSOLNAY, 1996). Hingegen sind die Fraktionen DOM-II und DOM-I bzw.  $WEOM_Z$  anhand der Größe der Poren, aus denen sie gewonnen werden, definiert. Da das Bodenwasser in den Poren desto stärker durch Kapillarkräfte gebunden ist, je kleiner die Poren sind, sind jeweils unterschiedliche Methoden zur selektiven Gewinnung der einzelnen Fraktionen erforderlich. Diese können jedoch die Qualität des gelösten organischen Materiales in unterschiedlicher Weise beeinflussen. Die folgenden Ausführungen verdeutlichen, inwieweit die Gewinnungsmethoden Menge und Qualität von  $WEOM_Z$ , DOM-II und  $WEOM_U$  beeinflussen können.

### 5.1.2. Einfluß des Lösungsvolumens

Der  $C_{org}$ -Gehalt des Bodens bestimmt die in der Lösung vorhandene DOM-Menge (DALVA & MOORE, 1991; KAISER et al., 1996; MOORE et al., 1992). Bei einem gegebenen  $C_{org}$ -Gehalt wird die Menge an freigesetztem löslichen organischen Material daher vom zu Verfügung stehenden Lösungsvolumen bestimmt. Dieses ist bei der Gewinnung von  $WEOM$  bzw. von  $WEOM_U$  und  $WEOM_Z$  groß im Vergleich zum im extrahierten Boden vorhandenen Lösungsvolumen und führt so zu vermehrter Freisetzung von löslicher organischer Substanz.  $WEOM_U$  und  $WEOM_Z$  zeigen daher signifikant größere WEOC- bzw. DOC-Gehalte als DOM-II, das sich bei seiner Gewinnung im Gleichgewicht mit dem Bodenmaterial befunden hat. In  $WEOM_U$  und  $WEOM_Z$  ist demnach organisches Material enthalten, das zwar auch löslich ist, jedoch unter den natürlichen Bedingungen des Bodens nicht gelöst ist und daher potentiell DOM (TIPPING, 1998; CAO et al., 1999) entspricht.  $WEOM_U$  enthält außerdem neben dem DOM der Grobporen zu undefinierten Anteilen auch DOM-II und DOM-I (ZSOLNAY, 1996; 2003).

### 5.1.3. Einfluß durch $Ca^{2+}$ -Ionen

Als zweiwertigem Kation ist es  $Ca^{2+}$  möglich, organische Moleküle an andere Bodenkomponenten zu binden (EVANS & RUSSELL, 1959; GU et al., 1995; TIPPING, 1981) und Kolloide zu bilden (McCARTHY & ZACHARA, 1989).  $CaCl_2$  verringert die freigesetzte DOM-Menge und verzögert deren Freisetzung (SCHAUMANN, 2000). Auf diese Weise wirkt das Vorhandensein von  $Ca^{2+}$  der durch das zusätzliche Lösungsvolumen verstärkten Desorption organischer Substanz entgegen. RÖMKENS & DOLFING (1998) konnten zeigen, daß durch die Fällung mit  $Ca^{2+}$  vermehrt hochmolekulares organisches Material aus der Lösung entfernt wird, während niedermolekulare Substanzen eher in der Lösung verbleiben. Umgekehrt führt die Entfernung von  $Ca^{2+}$  aus der Lösung zu verstärkter Freisetzung organischer Makromoleküle (KEIDING & NIELSEN, 1997). Die signifikant geringste Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von

DOM-II deutet daraufhin, daß diese DOM-Fraktion in größerem Ausmaß organische Bestandteile mit hohem Molekulgewicht enthält als WEOM<sub>U</sub> bzw. WEOM<sub>Z</sub>. Die Verwendung von CaCl<sub>2</sub> als Elektrolyt hat demnach bei der Extraktion von WEOM<sub>U</sub> bzw. von WEOM<sub>Z</sub> zur verstärkten Sorption von organischen Makromolekülen an das Bodenmaterial beigetragen.

#### 5.1.4. Veränderungen durch Zentrifugation

Mithilfe der Zentrifugation kann Bodenlösung gewonnen werden, die sich im Gleichgewicht mit der Festphase des Bodens befindet (GIESLER et al., 1996; RANGER et al., 2001). Nach GALLET & KELLER (1999) kann es während der Zentrifugation jedoch zu Zerstörung und Neubildung von Poren kommen, wodurch auch das Gleichgewicht zwischen Bodenmatrix und Bodenlösung beeinflusst wird. LORENZ et al. (1994) und ROSS & BARTLETT (1990) merken zudem an, daß während der Zentrifugation Mikroorganismen zerstört werden und so die gewonnene Lösung verfälscht werden können. Der gegenüber WEOM<sub>U</sub> geringere Humifizierungsindex von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> sowie das höhere Substratpotenzial von WEOM<sub>Z</sub> deuten auf einen stärkeren Einfluß organismenbürtiger organischer Substanz in den beiden letztgenannten Fraktionen hin. GRIEVE (1996) und MONREAL & MCGILL (1985) konnten eine derartige Veränderung des DOM infolge der Zentrifugation nicht feststellen.

#### 5.1.5. Bodenwassergehalt

Der Wassergehalt feldfrischen Bodens kann in einem weiten Bereich schwanken. Trockenheit des Bodens kann einerseits zu Streßreaktionen und zum Absterben von Mikroorganismen führen, andererseits das Zerbrechen von Aggregaten hervorrufen. Beides kann dazu führen, daß durch die Extraktion bei geringerem Wassergehalt lösliches organisches Material erfaßt werden kann, daß bei größerem Wassergehalt des Bodens nicht vorhanden oder nicht verfügbar wäre. Dadurch kann nicht nur die Menge des gelösten organischen Materials, sondern auch seine Qualität beeinflusst werden. In einem Vergleich konnten ZSOLNAY et al. (1999) zeigen, daß sich die Qualität von WEOM durch Lufttrocknung (20° C) wie auch durch Ofentrocknung (105° C) gegenüber einem bei 60 % der Feldkapazität feuchtgehaltenen Boden verändert.

Vom Wassergehalt des Bodens ist es abhängig, bis zu welchem Durchmesser Poren noch wassererfüllt sind, mithin, wie hoch der Anteil des Wassers ist, das nicht durch Kapillarkräfte gebunden ist. Da das feldfrische Bodenmaterial bei der Zentrifugation im Einzelfall über die Feldkapazität hinaus mit Wasser gesättigt sein konnte, ist es möglich, daß DOM-II auch gelöstes organisches Material der Grobporen enthält. WEOM<sub>Z</sub> enthält, neben potentiell DOM, nur gelöstes organisches Material der Feinporen, da auch die Mittelporen durch die Zentrifugation zuvor entleert wurden.

### 5.2. Umsetzungsgrad von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub>

Humifizierungsindex und Aromatizität sind definitionsgemäß desto größer, je stärker das organische Material umgesetzt wurde. Hinsichtlich dieser beiden Größen unterscheiden sich die drei Fraktionen WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> voneinander. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß, wie zuvor erläutert, die angewandten Gewinnungsmethoden die Qualität der jeweiligen Fraktion in unterschiedlicher Weise beeinflussen können.

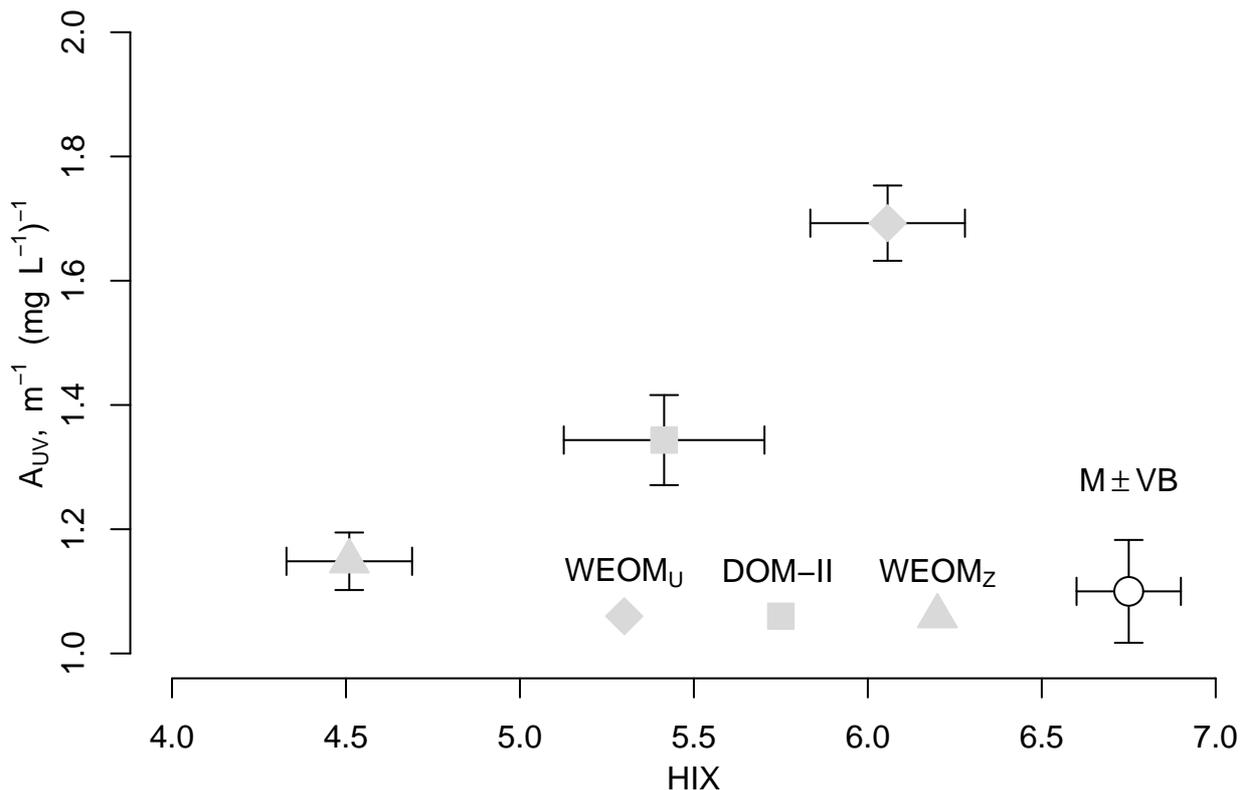


Abbildung 3: Umsetzungsgrad von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> in 0 – 10 cm Tiefe der Hoch- und Niedertragsflächen des Ökologischen und Integrierten Anbaus von September 1999 bis Dezember 2000, ausgedrückt durch den Humifizierungsindex HIX (Abszisse) und die Aromatizität  $A_{UV}$  (Ordinate). Der Umsetzungsgrad ist desto größer, je größer die Distanz zum Koordinaten-Ursprung ist. M: Median; VB: 95 %-Vertrauensbereich des Medianes.

Als labilste DOM-Fraktion unterliegt WEOM<sub>U</sub> der stärksten Umsetzung, so daß Bestandteile mit hohem Substratwert bevorzugt abgebaut werden. In potentiell löslichem DOM ist Material, das aus mikrobiellem Abbau der organischen Festsubstanz herrührt, enthalten (CAO et al., 1999). Beides führt dazu, daß das WEOM<sub>U</sub> einen hohen Anteil von gut umgesetztem oder humusbürtigem organischem Material enthält und daher gegenüber DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> den größten Humifizierungsindex und die größte Aromatizität zeigt (siehe Abbildung 3). In den Feinporen ist gelöstes organisches Material mikrobiellem Umsatz durch Okklusion weitgehend entzogen. Das organische Material dieser Fraktion kann daher nur abiotischer oder exoenzymatischer Umsetzung unterliegen (ASMAR et al., 1994). Davon ist organismenbürtiges wie humusbürtiges organisches Material, das durch Diffusion

in die Feinporen gelangt, gleichermaßen betroffen. Bedingt durch das Fehlen mikrobieller Aktivität zeigt der Humifizierungsindex für  $WEOM_Z$  daher den größeren Einfluß von wenig umgesetzten DOM. DOM-II ist eine intermediäre Fraktion (ZSOLNAY, 1996), die weder so gut umgesetzt wird wie  $WEOM_Z$  noch so gut okkludiert ist wie DOM-I bzw.  $WEOM_Z$  in den Feinporen. Umsetzung von DOM und Freisetzung aus der organischen Festsubstanz des Bodens beeinflussen die Qualität von DOM-II ebenso wie Konservierung und Okklusion.

### 5.3. Menge und Qualität von DOM im Hinblick auf Bewirtschaftung und Ertragspotenzial

#### 5.3.1. Einflußfaktoren für DOM und Ertragspotenzial

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Ergebnisse zum  $C_{org}$ -Gehalt und zum Volumenanteil der Grob- Mittel- und Feinporen im Integrierten und Ökologischen Anbau (siehe auch Tabelle 18 im Anhang). Im Integrierten Anbau weist der  $A_p$ -Horizont der Hohertragsflächen gegenüber dem der Niedertragsflächen den höheren  $C_{org}$ -Gehalt und das größere Volumen an Grob- und Mittelporen auf. Im Ökologischen Anbau zeigt die Hohertragsfläche den geringeren  $C_{org}$ -Gehalt und das größere Volumen an Grob- und Mittelporen.

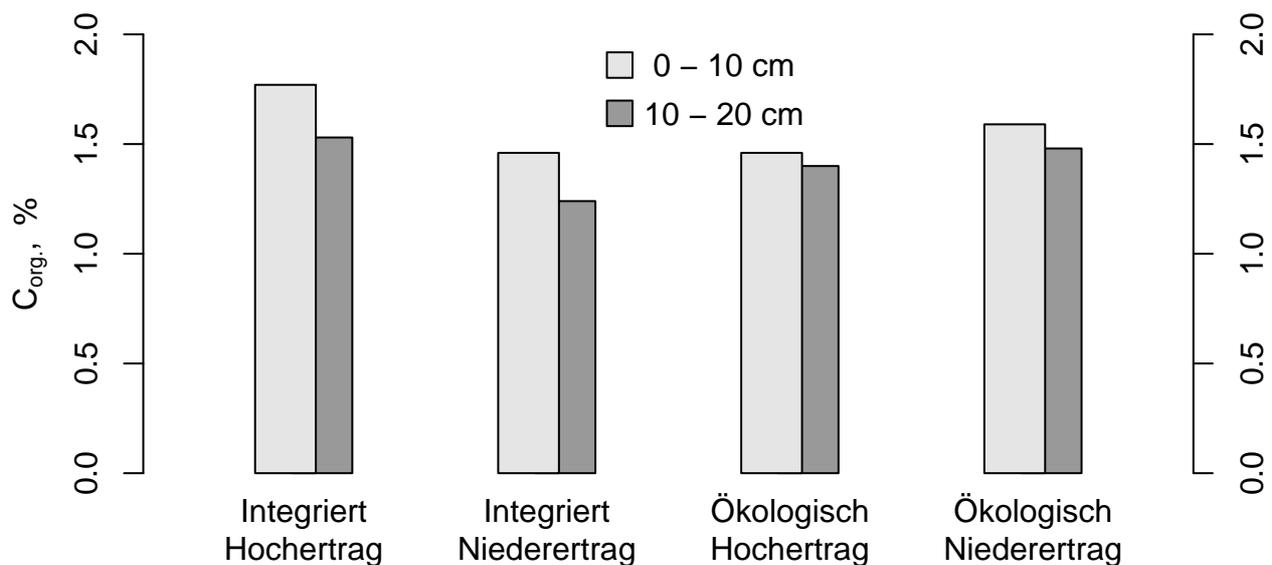


Abbildung 4:  $C_{org}$ -Gehalt der Hoch- und Niederertragsflächen des Ökologischen und Integrierten Anbaus in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe. Integriert: Integrierter Anbau; Ökologisch: Ökologischer Anbau.

Da der Anteil von DOM am Humus des Bodens unter 1 % liegt (ZSOLNAY, 1996), ist davon auszugehen, daß Menge und Qualität von DOM durch diesen wesentlich beeinflusst werden können. Durch das Porensystem des Bodens werden darüber hinaus Verfügbarkeit und Umsetzungskinetik von DOM bestimmt (ZSOLNAY, 1996; 2003). Andererseits können der  $C_{org}$  durch Speicherung und Bereithaltung von Nährstoffen und das Porensystem durch die Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser auch das Ertragspotenzial ackerbaulich genutzter Böden günstig beeinflussen. Das unterschiedliche Ertragspotenzial

der beprobten Flächen spiegelt demnach in erster Linie die unterschiedliche Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser wider.

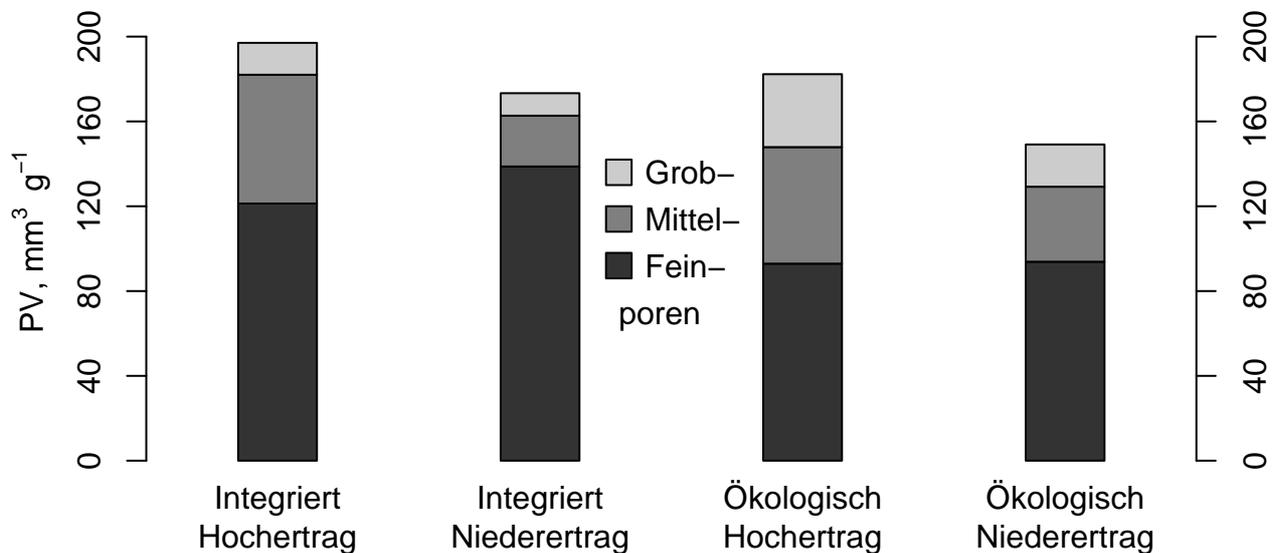


Abbildung 5: Volumen der Grob-, Mittel- und Feinporen in 0 – 10 cm Tiefe der Hoch- und Niederertragsflächen des Ökologischen und Integrierten Anbaus. Integriert: Integrierter Anbau; Ökologisch: Ökologischer Anbau.

Die Zyklen, in denen sich die Dynamik des  $C_{org}$ -Gehaltes bzw. der Porosität entwickeln, umfassen weit größere Zeiträume als die Zyklen der DOM-Dynamik. Um dennoch Werte für DOM-Parameter zu erhalten, deren Stabilität mit der des  $C_{org}$ -Gehaltes bzw. der Porosität vergleichbar ist, ist es nötig und sinnvoll, diese Parameter über einen längeren Zeitraum hinweg und unter unterschiedlichsten Bedingungen zu erfassen und zu mitteln. WEOM-Parameter wurden bei 85 Beprobungen, verteilt über einen Zeitraum länger als anderthalb Jahre, weitere Parameter zum Vergleich von  $WEOM_U$ ,  $DOM-II$  und  $WEOM_Z$  bei 50 Beprobungen binnen eines Jahres und dreier Monate zu verschiedenen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Feldbedingungen erfaßt. Lediglich die Erfassung von  $DOM-II$  und  $WEOM_Z$  war bei anhaltender Trockenheit wegen des zu geringen Wassergehaltes des Bodens nicht möglich. Die für die jeweilige gesamte Beprobungszeit berechneten Mediane der Parameter können daher als ein stabiler mittlerer Wert angesehen werden, der mit dem  $C_{org}$ -Gehalt und der Porosität des Bodens in Beziehung gesetzt werden kann.

Integrierter und Ökologischer Anbau unterscheiden sich hinsichtlich der Bewirtschaftung. Unterschiedliche Bewirtschaftung kann nicht nur das Ertragspotenzial beeinflussen. KALBITZ et al. (2000 b) und CHANTIGNY (2003) zeigen auch, daß sich verschiedene Bewirtschaftungsmaßnahmen in unterschiedlicher Weise auf Menge und Qualität von DOM auswirken können. Die Bewirtschaftung kann somit zur Differenzierung der zeitlichen Entwicklung von DOM-Parametern beitragen.

Nach KALBITZ (2000 b) und CHANTIGNY (2003) können Klima und Witterung Menge und Qualität von DOM ebenfalls erheblich beeinflussen. Aufgrund der geringen Distanzen zwischen den einzelnen Beprobungsflächen ist jedoch nicht davon auszugehen, daß es witterungsbedingt zu einer Differenzierung der einzelnen Flächen hinsichtlich des Ertragspotenziales oder von DOM gekommen ist.

### 5.3.2. WEOM im Integrierten und Ökologischen Anbau

Bei einer ersten statistischen Analyse der Daten (nicht dargestellt) hat sich gezeigt, daß sich die im Integrierten Anbau beprobten konventionell bzw. ertragsoptimiert bewirtschafteten Teilschlagvarianten hinsichtlich der Menge und der Qualität der untersuchten DOM-Fractionen kaum unterscheiden. Die Ergebnisse dieser beiden Varianten werden daher zusammengefaßt. Die geringen Unterschiede zwischen den beiden Varianten dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Teilschlagbewirtschaftung im Integrierten Anbau erstmalig durchgeführt wurde.

Abbildung 6 zeigt Ergebnisse zur Menge und zum Substratpotenzial, Abbildung 7 zeigt Ergebnisse der UV- und fluoreszenz-spektroskopischen Charakterisierung von WEOM in 0 – 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe während der gesamten Beprobungszeit von Mai 1999 bis Dezember 2000. Die zugrunde liegenden Einzelmessungen sind in den Tabellen 11 bis 16 im Anhang aufgeführt.

Im Integrierten Anbau weisen die Hohertragsflächen in 0 – 10 cm Tiefe gegenüber den Niederertragsflächen den signifikant höheren WEOC-Gehalt auf. Die Aromatizität  $A_{UV}$  und der Humifizierungsindex HIX zeigen im Integrierten Anbau in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe für WEOM der Hohertragsflächen die signifikant höheren Werte als für WEOM der Niederertragsflächen. Im Ökologischen Anbau zeigen die Hoch- und Niederertragsflächen in 0 – 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe ähnliche WEOC-Gehalte und ähnliche Werte für die Aromatizität  $A_{UV}$ . Der Humifizierungsindex HIX und die Fluoreszenzeffizienz  $E_F$  zeigen in beiden Tiefenstufen für WEOM der Niederertragsfläche die signifikant höheren Werte als für WEOM der Hohertragsfläche.

Auf den Hohertragsflächen unterscheidet sich WEOM im Ökologischen Anbau von WEOM im Integrierten Anbau in 0 – 10 cm Tiefe durch den geringeren, in 10 – 20 cm Tiefe durch den höheren WEOC-Gehalt sowie durch geringere Werte für die Aromatizität  $A_{UV}$ , den Humifizierungsindex HIX in 0 – 10 cm Tiefe und durch die geringere Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  in 10 – 20 cm Tiefe. Auf den Niederertragsflächen unterscheidet sich WEOM im Ökologischen Anbau von WEOM im Integrierten Anbau durch den höheren WEOC-Gehalt in 10 – 20 cm Tiefe sowie durch signifikant höhere Werte für die Aromatizität  $A_{UV}$  und den Humifizierungsindex HIX in beiden Tiefenstufen sowie in 0 – 10 cm Tiefe durch höhere Werte für die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$ . In 0 – 10 cm Tiefe ist das Substratpotenzial auf der Hohertragsfläche des Ökologischen Anbaus höher als auf denen des Integrierten An-

baus.

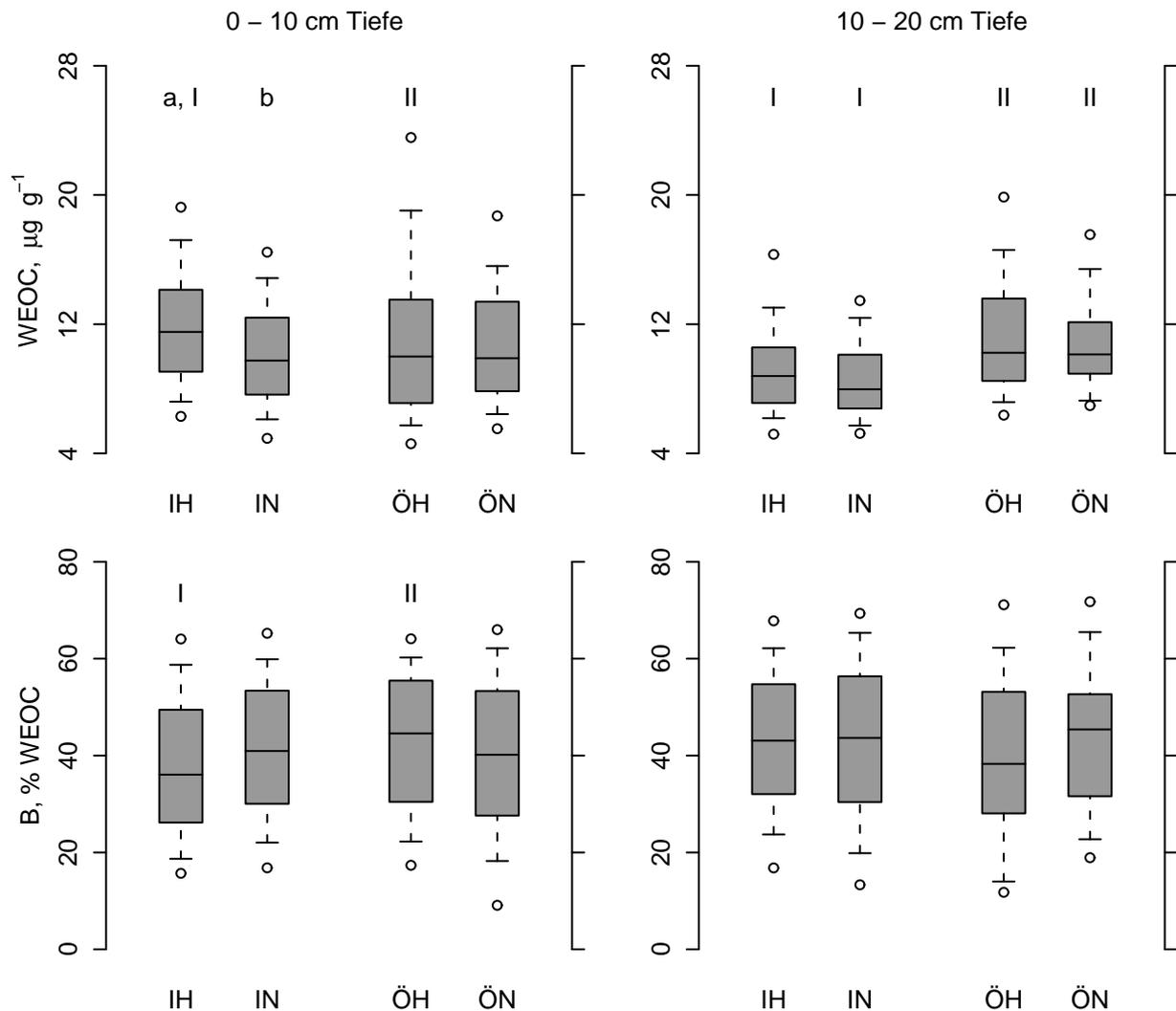


Abbildung 6: WEOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe von Mai 1999 bis Dezember 2000. I: Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hohertrag; N: Niederertrag; a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertrages; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung; jeweils  $p \leq 0,05$ ,  $n = 170$  (Integrierter Anbau),  $n = 85$  (Ökologischer Anbau).

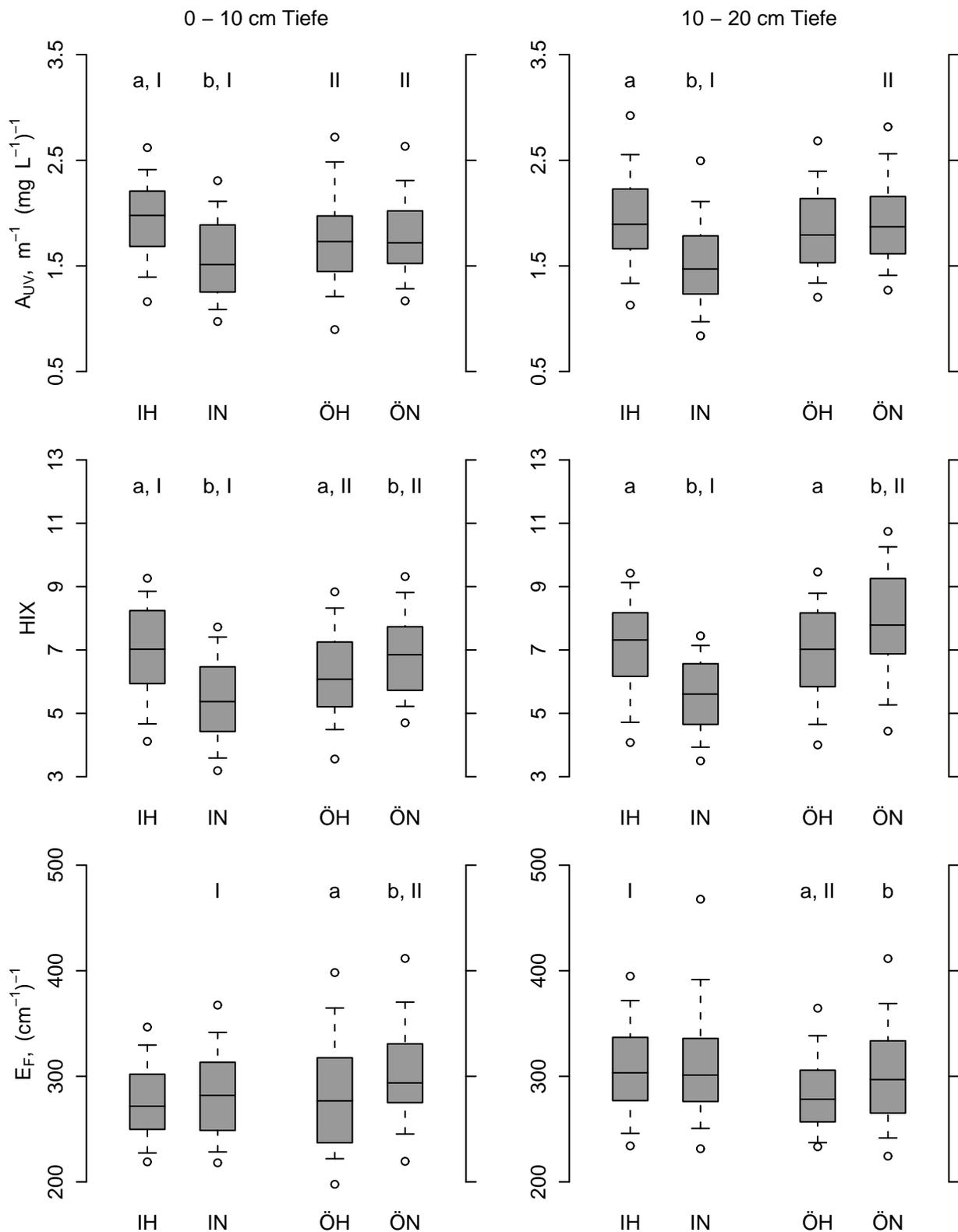


Abbildung 7: Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe von Mai 1999 bis Dezember 2000. I: Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hoher Ertrag; N: Niedriger Ertrag; a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertrages; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung; jeweils  $p \leq 0,05$ ,  $n = 170$  (Integrierter Anbau),  $n = 85$  (Ökologischer Anbau).

### 5.3.3. Einfluß des $C_{org}$ -Gehaltes auf WEOM

Humifizierungsindex und Aromatizität sind definitionsgemäß desto größer, je größer der Anteil humusbürtiger organischer Substanz am WEOM ist. Höhere Werte für diese beiden Größen können daher auf einen stärkeren Einfluß des  $C_{org}$ -Gehaltes auf das WEOM hinweisen. Wie in Abbildung 8 ersichtlich ist, zeigen im Integrierten wie im Ökologischen

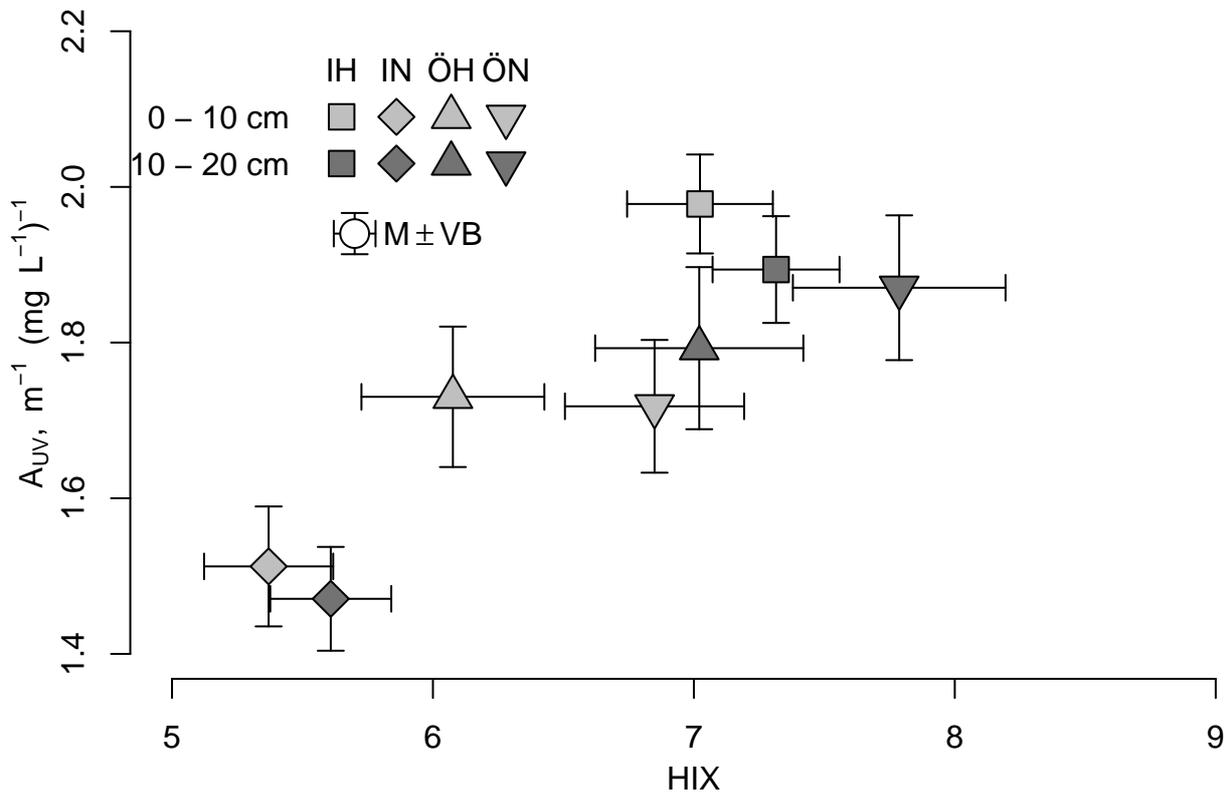


Abbildung 8: Umsetzungsgrad von WEOM in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe von Mai 1999 bis Dezember 2000, ausgedrückt durch den Humifizierungsindex HIX (Abszisse) und die Aromatizität  $A_{UV}$  (Ordinate). Der Umsetzungsgrad ist desto größer, je größer die Distanz zum Koordinaten-Ursprung ist. M: Median; VB: 95 %-Vertrauensbereich des Medianes. I: Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hochertrag; N: Niederertrag.

Anbau die Flächen mit dem jeweils höheren  $C_{org}$ -Gehalt den höheren Umsetzungsgrad von WEOM. Im Integrierten Anbau ist der Umsetzungsgrad von WEOM in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe ähnlich, im Ökologischen Anbau weist hingegen WEOM aus 10 – 20 cm Tiefe die höheren Humifizierungsindices auf als WEOM in 0 – 10 cm Tiefe. Als Ursache kommt hierfür eine im Herbst 1999 im Ökologischen Anbau durchgeführte organische Düngung in Frage.

Um den Einfluß des  $C_{org}$ -Gehaltes auf WEOM bzw. DOM zu quantifizieren, wendet ZSOLNAY (1996) den Verteilungskoeffizienten  $K_x$  für organische Komponenten als Verhältnis ihres Gehaltes in der Festphase und ihrer Konzentration in der Lösung an:

$$K_X = \frac{[X_{\text{solid}}]}{[X_{\text{aq}}]}$$

Gleichung 11

$K_X$	Verteilungskoeffizient der organischen Komponente X
$[X_{\text{solid}}]$	Gehalt der organischen Komponente X in der Festphase
$[X_{\text{aq}}]$	Konzentration der organischen Komponente X in der Lösung

Formal beschreibt der Verteilungskoeffizient  $K_X$  die auf abiotischen Prozessen wie Diffusion, Desorption, Sorption u. a. beruhende Löslichkeit organischer Stoffe. Im Boden kann der Verteilungskoeffizient  $K_X$  jedoch durch biotische Aktivitäten erheblich beeinflusst werden. Die Stoffwechselaktivitäten von Mikroorganismen führen einerseits zum verstärkten Abbau von ungelöster organischer Substanz, andererseits auch zum selektiven Verbrauch gelöster organischer Stoffe durch Veratmung und Mineralisierung oder durch Inkorporation in die mikrobielle Biomasse. Andererseits werden von Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln organismenbürtige Stoffe als Exsudate in die Bodenlösung eingetragen. Beides kann dazu führen, daß die stoffliche Zusammensetzung des DOM anders ist, als es die der organischen Festsubstanz erwarten läßt.

Tabelle 3: WEOC-Anteil am  $C_{\text{org}}$  in 0 – 20 cm Tiefe der Hoch- und Niedertragsflächen des Integrierten bzw. Ökologischen Anbaus von Mai 1999 bis Dezember 2000.

Bewirtschaftung	Integrierter Anbau		Ökologischer Anbau	
	Hohertrag	Niederertrag	Hohertrag	Niederertrag
WEOC, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	$596,9 \pm 22,2^{\text{aI}}$	$670,8 \pm 26,8^{\text{b}}$	$719,0 \pm 49,9^{\text{II}}$	$673,4 \pm 34,6$

Dargestellt sind der Median und der 95 %-Vertrauensbereich des Medians. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertragspotenzials; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung, jeweils  $p \leq 0,05$ ,  $n = 170$  (Integrierter Anbau),  $n = 85$  (Ökologischer Anbau).

Die Hohertragsflächen des Integrierten Anbaus zeigen den signifikant geringeren WEOC-Anteil am  $C_{\text{org}}$  sowohl gegenüber den Niederertragsflächen des Integrierten Anbaus als auch gegenüber der Hohertragsfläche des Ökologischen Anbaus (Tabelle 3). Dennoch weist WEOM der Hohertragsflächen im Integrierten Anbau den höheren Umsetzungsgrad auf. Dies erscheint möglich, wenn der Freisetzung löslicher organischer Stoffe aus dem  $C_{\text{org}}$  auch ein erhöhter Verbrauch von WEOM durch mikrobiellen Umsatz gegenübersteht. Daß WEOM der Hohertragsflächen dennoch den höheren Umsetzungsgrad aufweist, deutet darauf hin, daß hier lösliches organisches Material mit einem geringeren Anteil an aromatischen Molekülstrukturen bevorzugt abgebaut wird. Die stärkere Verfrachtung mit dem Bodenwasser würde zwar ebenfalls zur Verringerung des WEOC-Anteils beitragen, jedoch nicht den erhöhten Umsetzungsgrad erklären.

Tabelle 4: WEOC-Anteil am  $C_{\text{org}}$  in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe im Integrierten und Ökologischen Anbau von Mai 1999 bis Dezember 2000.

Tiefe	Integriert	Ökologisch
0 – 10 cm, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	$664,6 \pm 26,9^{\text{a}}$	$652,0 \pm 47,4^{\text{a}}$
10 – 20 cm, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	$609,5 \pm 20,4^{\text{b,I}}$	$711,8 \pm 35,6^{\text{b,II}}$

Dargestellt sind der Median und der 95 %-Vertrauensbereich des Medians. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Tiefenstufe; I II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung, jeweils  $p \leq 0,05$ ,  $n = 340$  (Integrierter Anbau),  $n = 170$  (Ökologischer Anbau).

Während der WEOC-Anteil am  $C_{\text{org}}$  im Integrierten Anbau in 0 – 10 cm Tiefe signifikant höher ist als in 10 – 20 cm Tiefe, ist er im Ökologischen Anbau in 0 – 10 cm Tiefe signifikant geringer als in 10 – 20 cm Tiefe (Tabelle 4). Der hinsichtlich der Bewirtschaftung unterschiedliche Tiefengradient des WEOC-Anteils am  $C_{\text{org}}$  kann daherrühren, daß Pflanzenmaterial zur organischen Düngung im Integrierten Anbau auf der Bodenoberfläche belassen, im Ökologischen Anbau in 12 cm Tiefe eingearbeitet wurde. Die Freisetzung organischer Substanz aus in den Boden eingearbeiteter Pflanzenstreu ist zunächst auf den die Streupartikel umgebenden Boden begrenzt (GAILLARD et al., 1999).

### 5.3.4. WEOM der Zwischenreihe und der Pflanzreihe von Silomais

Von Mai bis Oktober 1999 wurde in 0 – 20 cm Tiefe des durchwurzelten Bodens der Pflanzreihe der statistisch signifikant höhere WEOC-Gehalt gemessen gegenüber dem wurzelfreien Boden zwischen den Pflanzreihen (Abbildung 9, Tabellen 12 und 17 im Anhang). Der durchwurzelte Boden zeigt in beiden Tiefenstufen den signifikant geringeren Humifizierungsindex HIX sowie die signifikant geringere Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  gegenüber dem wurzelfreien Boden.

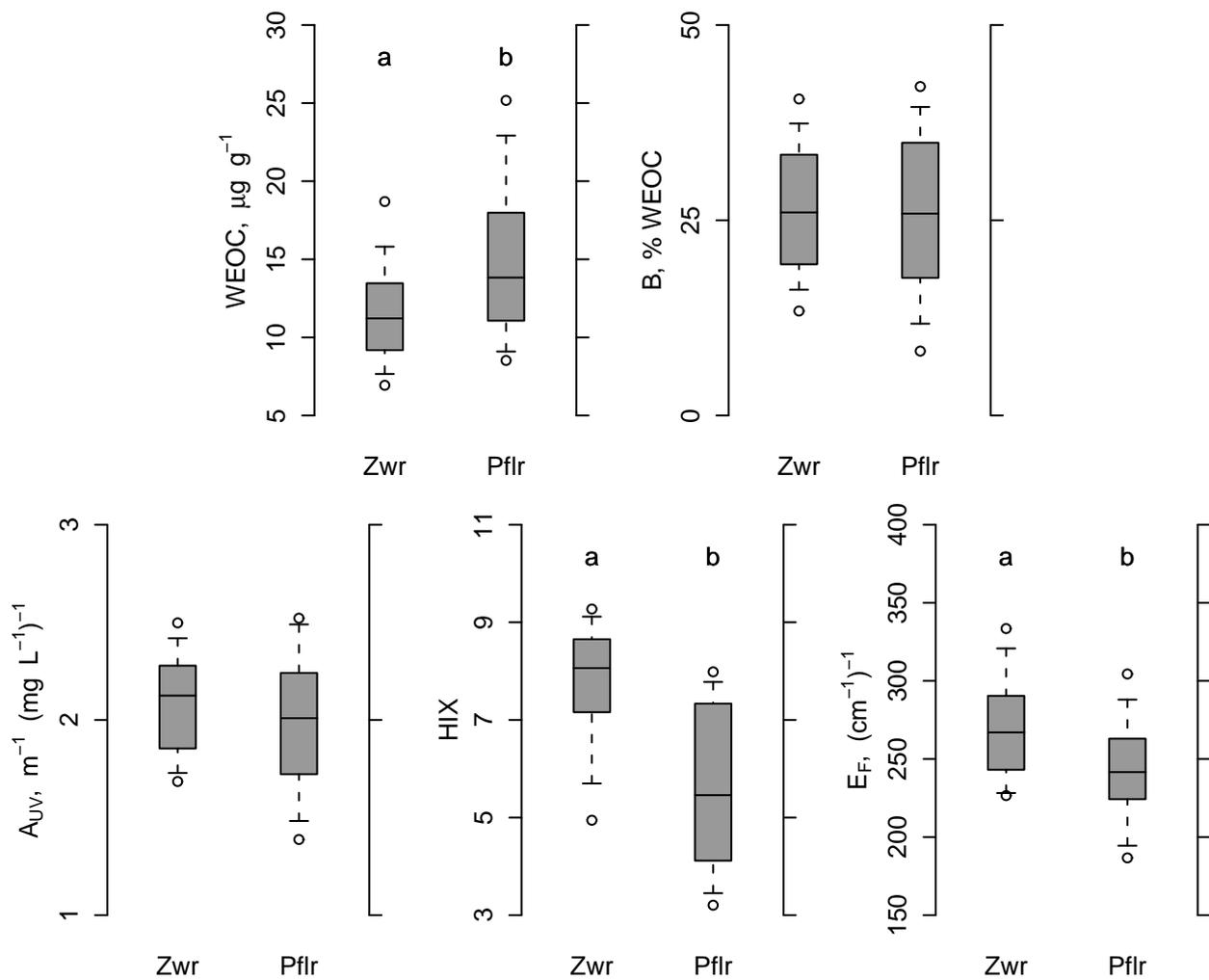


Abbildung 9: WEOC-Gehalt, Substratpotential B, Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX, und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM aus 0 – 20 cm Tiefe der Zwischenreihe (Zwr) und der Pflanzreihe (Pflr) von Mai bis Oktober 1999. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen Zwischenreihe und Pflanzreihe,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 48$ .

Pflanzen tragen gelöste organische Substanz als Wurzelexsudate in die Bodenlösung ein (KUZYAKOV & DOMANSKI, 2000) und können so direkt Menge und Qualität von DOM beeinflussen. Der pH-Wert des umgebenden Bodens kann durch die Exsudation der Wurzeln

um bis zu 2 pH-Einheiten abgesenkt werden (MARSCHNER, 1991; MARSCHNER et al., 1987; McDUGALL, 1970; UREN & REISENAUER, 1988), da organische Säuren zu den dominanten Bestandteilen von Wurzelexsudaten gehören (JONES et al., 1994; KRAFFCYK et al., 1984, SUNDIN et al., 1990; SVENNINGSON et al., 1990). Der signifikant geringere pH-Wert von WEOM-Extrakten aus der Pflanzreihe von Silomais gegenüber WEOM aus der Zwischenreihe kann daher auch als Ausdruck der durch Exsudation veränderten Qualität von WEOM angesehen werden (Abbildung 10).

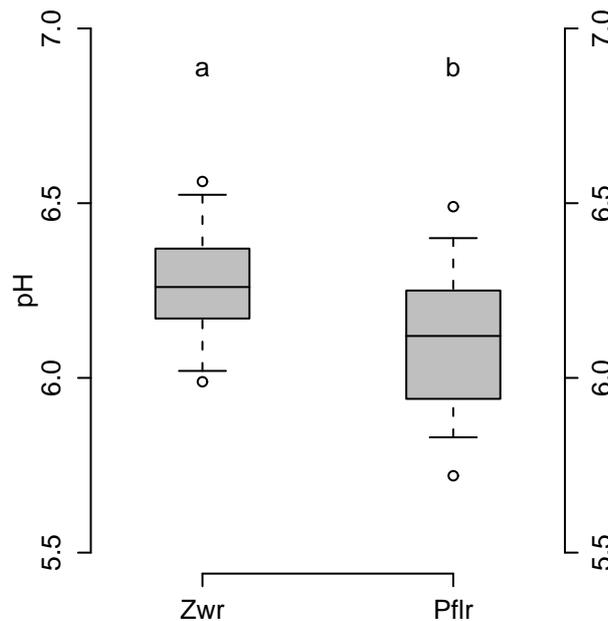


Abbildung 10: pH-Wert der WEOM-Extrakte aus 0 – 20 cm Tiefe der Zwischenreihe (Zwr) und der Pflanzreihe (Pflr) von Mai bis Oktober 1999. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen Zwischenreihe und Pflanzreihe,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 48$ .

In der Pflanzreihe wird WEOM im höheren Maß freigesetzt, da Wurzeln neben dem Humus eine zusätzliche DOM-Quelle darstellen können. Sein geringerer Umsetzungsgrad zeigt dabei, daß hier der Anteil von organismenbürtigem DOM stark erhöht ist gegenüber dem WEOM der Zwischenreihe. Für beide Flächen kann aufgrund der räumlichen Nähe ein ähnlicher  $C_{org}$ -Gehalt und damit ein ähnlicher Einfluß des Humus auf die gelöste organische Substanz angenommen werden. Das Wurzelwachstum hat jedoch möglicherweise zur Auflockerung des Bodengefüges und damit zur Freisetzung okkludierter organischer Substanz mit geringerem Umsetzungsgrad aus Aggregaten durch Zerbrechen verursacht. Obwohl zu erwarten ist, daß das von Exsudaten herrührende organische Material besser mikrobiell verfügbar ist als humusbürtiges organisches Material, unterscheidet sich das Substratpotenzial von WEOM der Zwischenreihe nicht von dem der Pflanzreihe.

Nach KUZYAKOV & DOMANSKI (2000) transportieren Weizen und Gerste 20 – 30 % ihres Assimilates in die Wurzeln, von dem ein erheblicher Anteil von diesen veratmet, ein weiterer in die mikrobielle Biomasse und den Humus inkorporiert wird. SWINNEN et al. (1995)

schätzen, daß am Ende der Vegetationsperiode etwa die Hälfte der erzeugten Wurzelsubstanz von Winterweizen umgesetzt wurde. MERBACH et al. (1999) fanden in Markierungsexperimenten mit Schößlingen verschiedener Spezies heraus, daß die Menge an freigesetztem wurzelbürtigem C 11 – 20 % der Netto-CO<sub>2</sub>-Assimilation entspricht. Der wasserlösliche Anteil des wurzelbürtigen C, der vor allem neutrale Zucker und organische Säuren enthielt, beziffern die Autoren mit 60 – 80 %. Durch Streu wie auch durch Exsudation können Wurzeln zum Aufbau des Humus im Boden beitragen (MOLINA et al., 2001).

GRAMSS et al. (1999 a) konnten in von verschiedenen Pflanzen, darunter Mais und Gräser, durchwurzeltem Boden verschiedene Enzyme wie Peroxidasen, Polyphenoloxidasen u. a. pflanzlichen Ursprungs nachweisen, die auch an der Umsetzung von Humusbestandteilen beteiligt sein können.

### 5.3.5. WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Integrierten und Ökologischen Anbau

Die Abbildungen 11 und 12 fassen Ergebnisse zur Menge und zur Qualität von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II bzw. WEOM<sub>Z</sub> während der gesamten Beprobungszeit zusammen, die in den Tabellen 11 bis 16 (WEOM<sub>U</sub>) bzw. 19 bis 24 (DOM-II und WEOM<sub>Z</sub>) im Anhang enthalten sind.

Im Integrierten Anbau weist WEOM<sub>U</sub> der Hohertragsflächen gegenüber den Niederertragsflächen den signifikant höheren WEOC-Gehalt, ebenso wie die signifikant höhere Werte für Aromatizität und Humifizierungsindex auf. Im Ökologischen Anbau unterscheiden sich Hoch- und Niederertragsfläche in keinem Parameter signifikant. Die Hohertragsfläche des Ökologischen Anbaus zeigt den signifikant geringeren WEOC-Gehalt gegenüber den Hohertragsflächen des Integrierten Anbaus. WEOM<sub>U</sub> der ökologisch bewirtschafteten Niederertragsfläche zeigt signifikant höhere Werte für die Aromatizität A<sub>UV</sub>, den Humifizierungsindex HIX und die Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> als WEOM<sub>U</sub> von den Niederertragsflächen des Integrierten Anbaus.

Im Integrierten wie im Ökologischen Anbau zeigen die Hohertragsflächen gegenüber den Niederertragsflächen den signifikant höheren DOC-Gehalt von DOM-II. DOM-II der Hohertragsflächen des Integrierten Anbaus weist die signifikant höheren Werte für die Aromatizität A<sub>UV</sub>, den Humifizierungsindex HIX und die Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> als DOM-II der Niederertragsflächen aus. Im Ökologischen Anbau unterscheidet sich DOM-II der Hohertragsflächen lediglich durch höhere Werte für den Humifizierungsindex HIX und geringere Werte für die Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> von dem der Niederertragsflächen. Auf den Niederertragsflächen zeigt der Ökologische Anbau signifikant höhere Werte für den Humifizierungsindex HIX und für die Fluoreszenz-Effizienz E<sub>F</sub> als der Integrierte Anbau.

WEOM<sub>Z</sub> zeigt weder hinsichtlich des Ertrages noch hinsichtlich der Bewirtschaftung signifikante Unterschiede des WEOC-Gehaltes. Im Integrierten Anbau zeigen die Aromatizität

$A_{UV}$  und der Humifizierungsindex HIX für  $WEOM_Z$  der Hohertragsflächen die signifikant höheren Werte als für  $WEOM_Z$  der Niederertragsflächen.  $WEOM_Z$  der Hohertragsflächen weist ein signifikant geringeres Substratpotenzial B als  $WEOM_Z$  der Niederertragsflächen auf. Im Ökologischen Anbau zeigen die dargestellten Parameter für  $WEOM_Z$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hoch- und Niederertragsflächen. Auf den Hohertragsflächen zeigt die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von  $WEOM_Z$  für den Ökologischen Anbau signifikant höhere Werte als für den Integrierten Anbau. Auf den Niederertragsflächen zeigen Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von  $WEOM_Z$  für den Ökologischen Anbau höhere Werte als für den Integrierten Anbau.

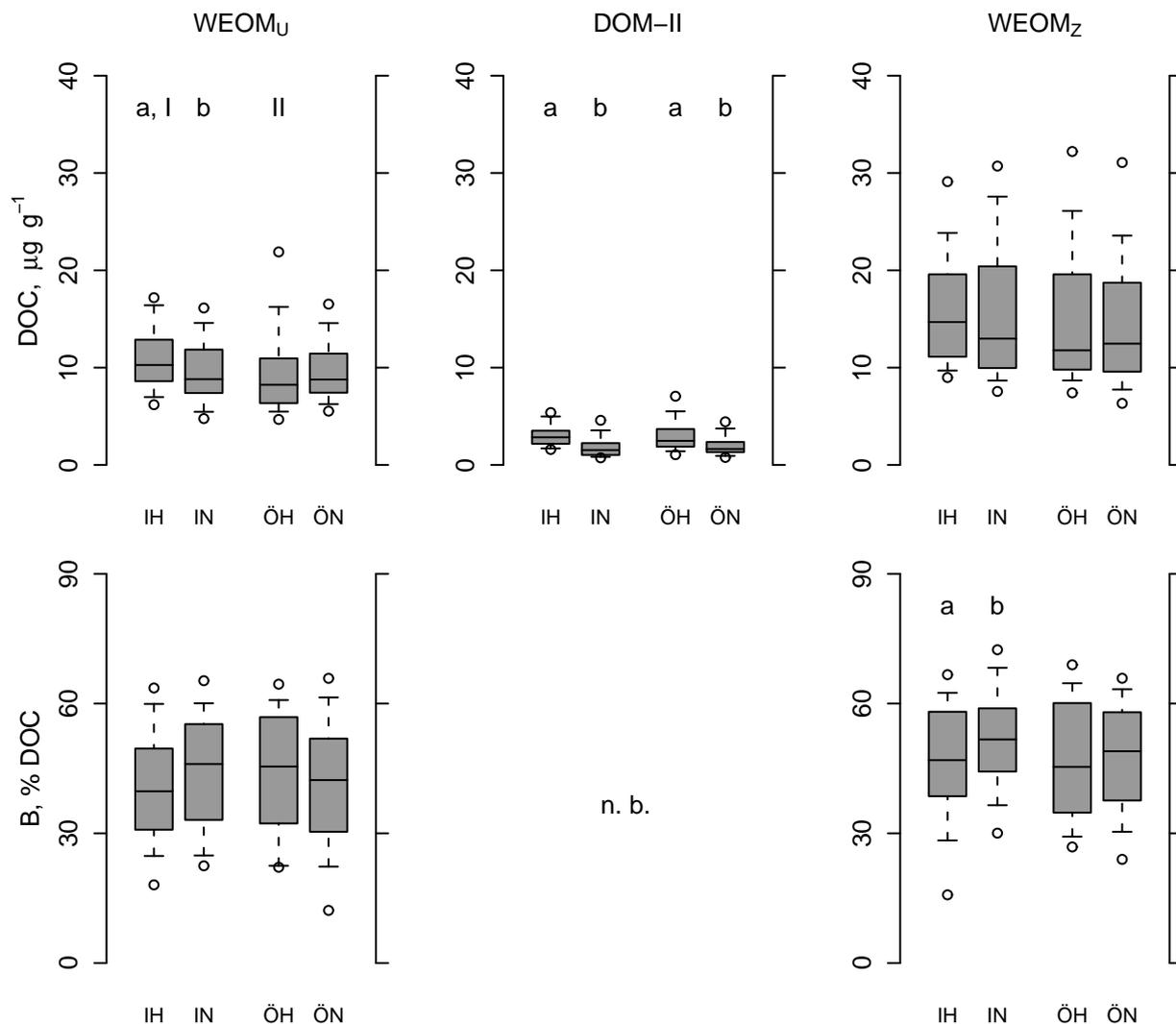


Abbildung 11: DOC-Gehalt und Substratpotenzial B von  $WEOM_U$ , DOM-II und  $WEOM_Z$  aus 0 – 10 cm Tiefe von September 1999 bis Dezember 2000. I Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hohertrag; N: Niederertrag; n. b.: nicht bestimmt; a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertrages; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung;  $p \leq 0,05$ ,  $n = 100$  (Integrierter Anbau),  $n = 50$  (Ökologischer Anbau).

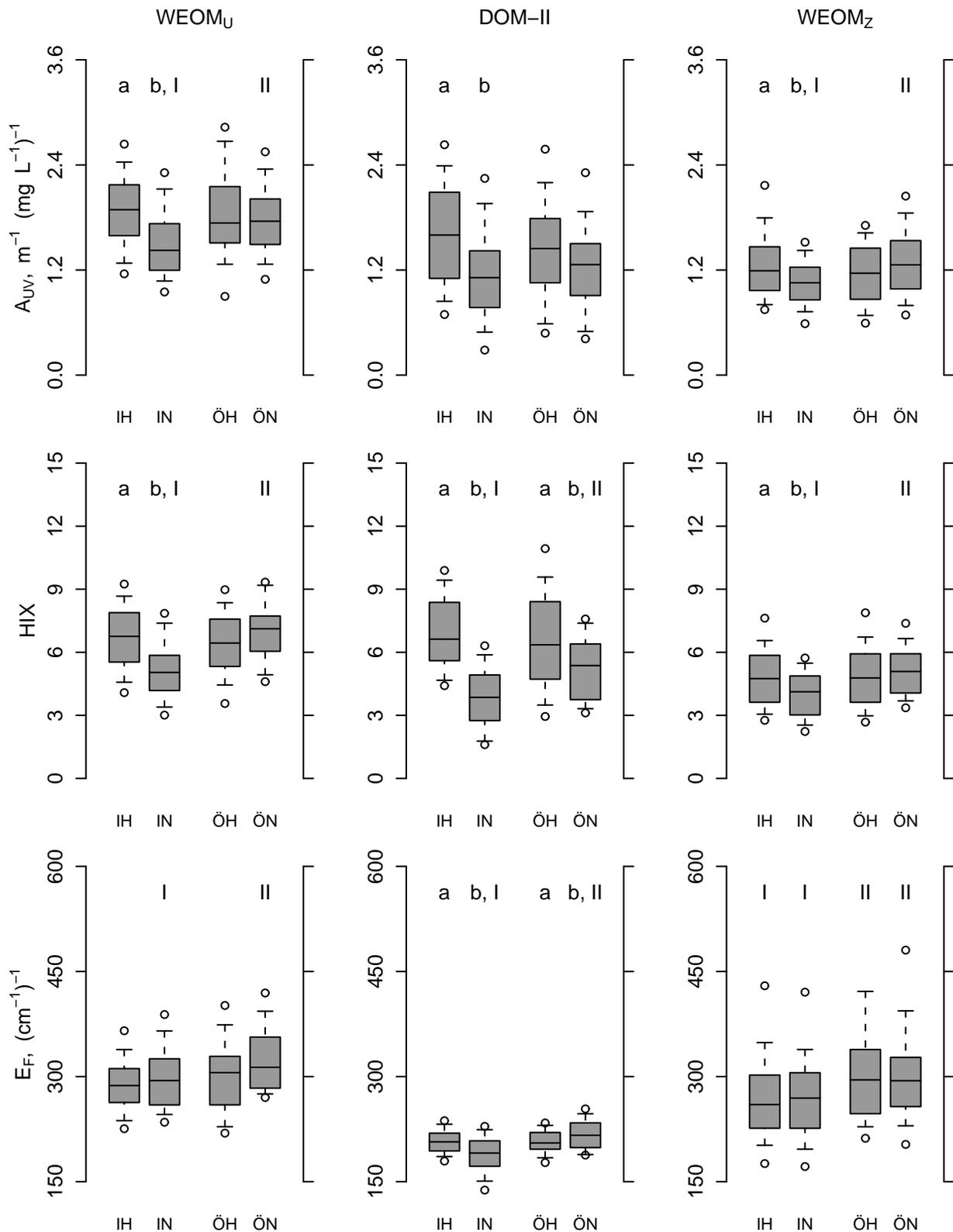


Abbildung 12: Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> aus 0 – 10 cm Tiefe von September 1999 bis Dezember 2000. I Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hochertrag; N: Niederertrag; a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertrages; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung;  $p \leq 0,05$ ,  $n = 100$  (Integrierter Anbau),  $n = 50$  (Ökologischer Anbau).

Tabelle 5: WEOC- bzw. DOC-Anteil von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> am C<sub>org.</sub> in 0 – 10 cm Tiefe der Hoch- und Niederertragsflächen im Integrierten und Ökologischen Anbau von Mai 1999 bis Dezember 2000.

Bewirtschaftung	Integrierter Anbau		Ökologischer Anbau	
	Hoch	Nieder	Hoch	Nieder
Ertragspotenzial				
WEOM, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	569,25	627,5	564,32	552,11
DOM-II, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	153,28 <sup>a</sup>	97,51 <sup>b</sup>	169,83 <sup>a</sup>	103,1 <sup>b</sup>
DOM-I, $\mu\text{g (g C)}^{-1}$	877,76	911,28	806,9	784

Dargestellt sind der Median und der 95 %-Vertrauensbereich des Medians. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede hinsichtlich des Ertrages,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 100$  (Integrierter Anbau),  $n = 50$  (Ökologischer Anbau).

Im Vergleich zu WEOM<sub>U</sub> und WEOM<sub>Z</sub> zeigt DOM-II im Integrierten wie im Ökologischen Anbau den signifikant geringeren DOC-Anteil am C<sub>org.</sub> auf den Niederertragsflächen (Tabelle 5). In Übereinstimmung damit stehen der geringere Humifizierungsindex und, im Integrierten Anbau, die geringere Aromatizität des DOM-II der Niederertragsflächen. DOM-II ist die einzige der drei Fraktionen, die unter Erhaltung des Lösungsgleichgewichtes im Boden gewonnen wird, und spiegelt somit den tatsächlichen Einfluß des C<sub>org.</sub> auf die Bodenlösung wider. Nach CAO et al. (1999) erfolgt die Freisetzung gelöster organischer Substanz in vier Schritten: Potentiell lösliche organische Substanz (TIPPING, 1998), die aus dem mikrobiellen Abbau des organischen Solidus hervorgegangen, zunächst jedoch noch sorbiert ist, geht erst in durch Kapillarkräfte gebundenes Wasser in Lösung, um von dort in frei bewegliches Wasser zu diffundieren. DOM-II, das vom Porendurchmesser wie von der Umsetzungskinetik her intermediär ist, kann als die Fraktion angesehen werden, in der dieser letztgenannte Diffusionsprozeß stattfindet. Die Diffusion gelöster Stoffe von Kapillarwasser in bewegliches Wasser ist dabei desto wahrscheinlicher, je ausgeglichener das Verhältnis von Mittel- (und Grob-) Poren einerseits und von Feinporen andererseits ist. Da das Volumen der Grob- und Mittelporen auf den Niederertragsflächen bei höherem bzw. ähnlichem Feinporenvolumen geringer ist als auf den Hohertragsflächen (s. a. Abbildung 4, S. 23), ist im DOM-II der Niederertragsflächen mit weniger humusbürtigem Material zu rechnen als im DOM-II der Hohertragsflächen.

#### 5.4. Ursachen und Auswirkungen der zeitlichen Dynamik von DOM

##### 5.4.1. WEOM verschiedener Zeiträume und Tiefenstufen

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die Daten zu Menge, Substratpotenzial und Qualität von WEOM in den Zeiträumen Mai bis September 1999, November 1999 bis März 2000 und Mai bis September 2000, getrennt nach der Beprobungstiefe.

Im Integrierten Anbau sind die WEOC-Gehalte zwischen Mai und September 1999 am höchsten, zwischen November 1999 und März 2000 am geringsten (Abb. 13). Beide Bepro-

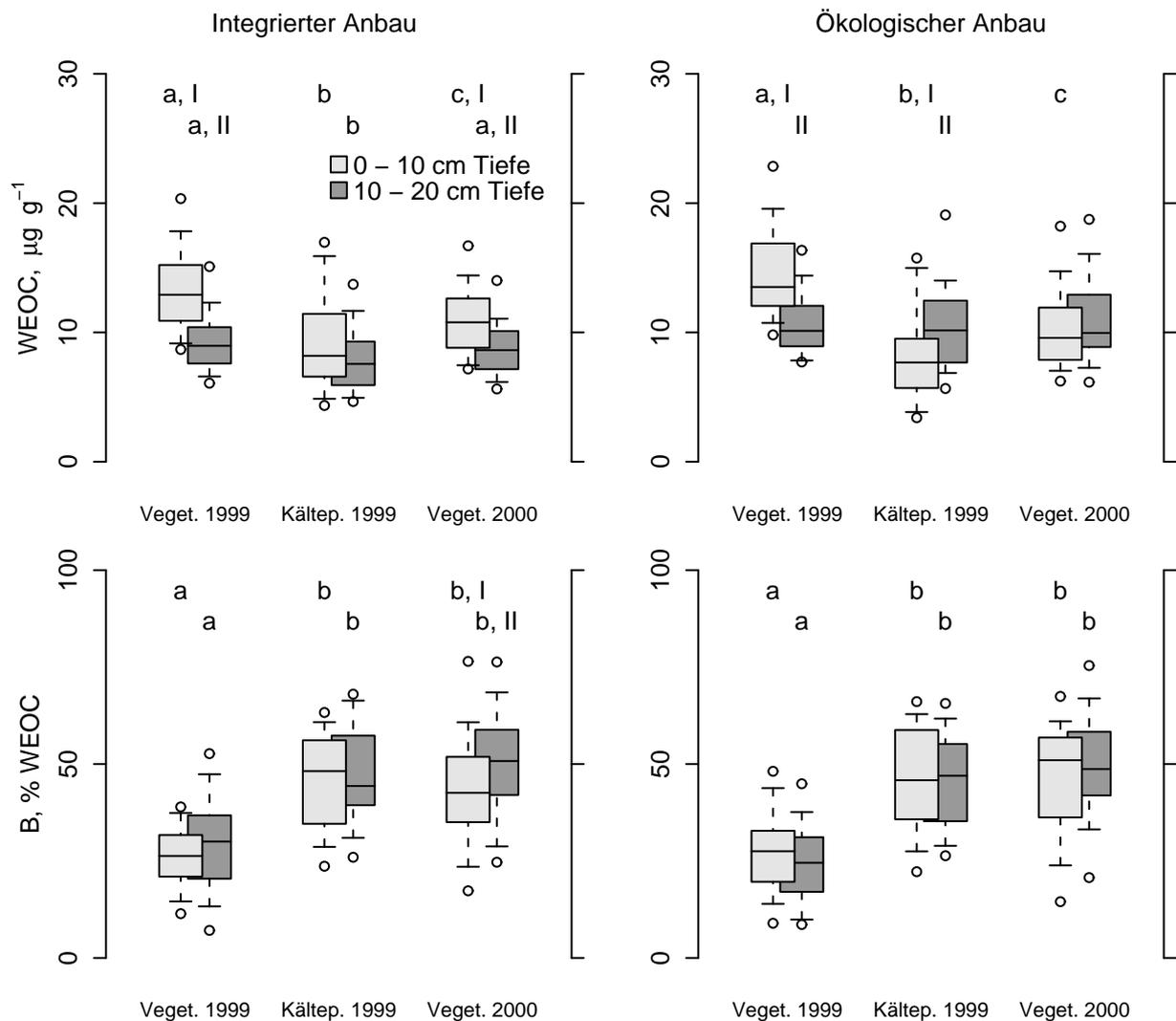


Abbildung 13: WEOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM von Mai bis September 1999 (Veget. 1999), von November 1999 bis März 2000 (Kälteper. 1999) und von Mai bis September 2000 (Veget. 2000) in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe des Integrierten und Ökologischen Anbaus. a, b, c: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den genannten Zeiträumen; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Tiefen,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 42$  (Integrierter Anbau),  $n = 21$  (Ökologischer Anbau).

Die Boxplots zeigen einen annähernd parallelen Verlauf, dabei ist der WEOC-Gehalt jedoch nur während der beiden Vegetationsperioden in 10 - 20 cm Tiefe signifikant geringer als in 0 - 10 cm Tiefe. Der Ökologische Anbau zeigt in 0 - 10 cm Tiefe einen dem Integrierten Anbau parallelen zeitlichen Verlauf. In 10 - 20 cm Tiefe zeigt der WEOC-Gehalt im Ökologischen Anbau keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der drei genannten Zeiträume. Im Ökologischen Anbau ist der WEOC-Gehalt zwischen Mai und September 1999 in 0 - 10 cm Tiefe signifikant höher als in 10 - 20 cm Tiefe, zwischen November 1999 und März 2000 in 0 - 10 cm Tiefe signifikant geringer als in 10 - 20 cm Tiefe.

Die Aromatizität erreicht im Integrierten Anbau zwischen November 1999 und März 2000 in 0 - 10 cm Tiefe die signifikant geringsten, in 10 - 20 cm Tiefe die signifikant höchsten

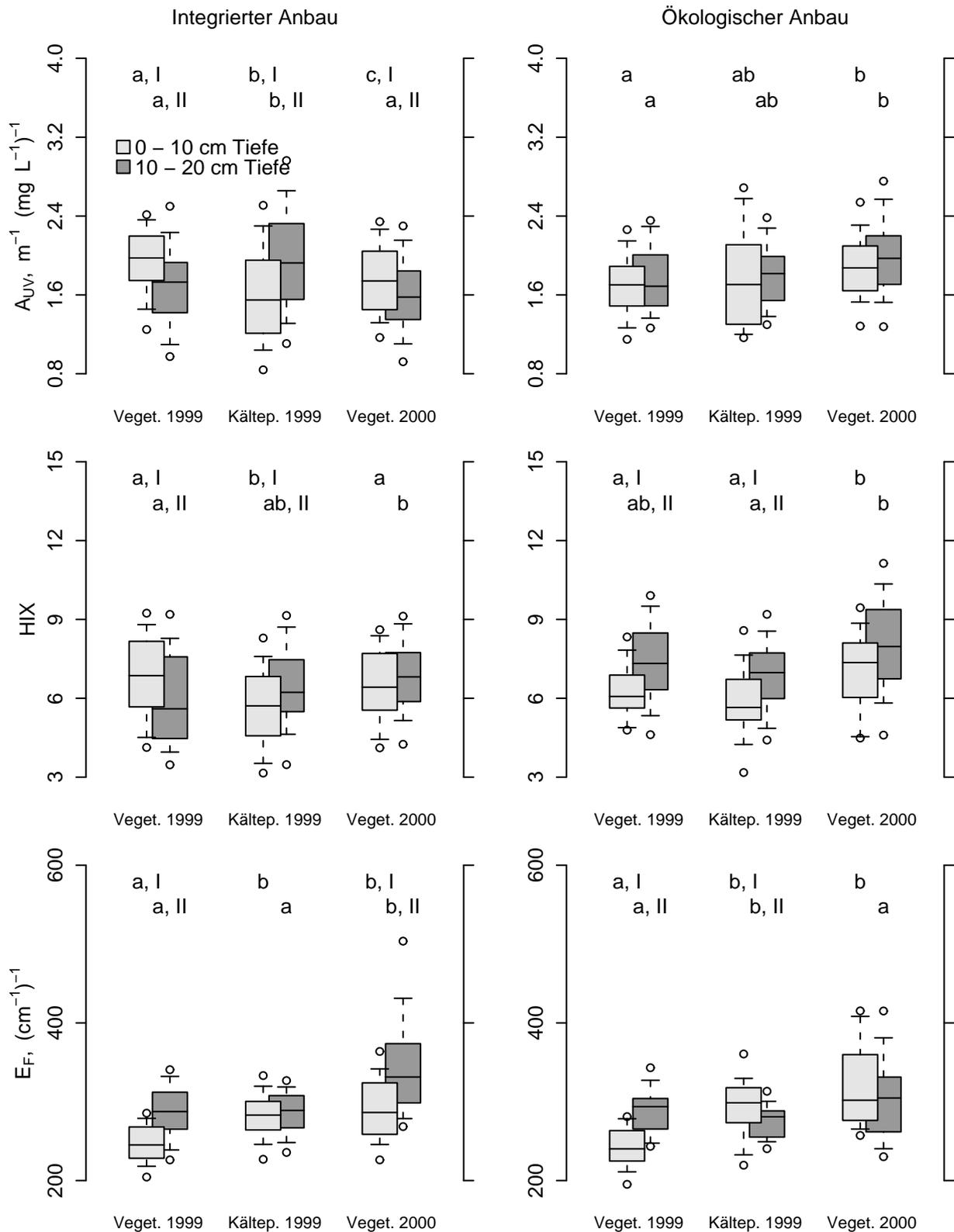


Abbildung 14: Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM von Mai bis September 1999 (Veget. 1999), von November 1999 bis März 2000 (Kältep. 1999) und von Mai bis September 2000 (Veget. 2000) in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe des Integrierten und Ökologischen Anbaus. a, b, c: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen; I, II: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Tiefen,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 42$  (Integrierter Anbau),  $n = 21$  (Ökologischer Anbau).

Werte (Abb. 14). Während der Vegetationsperioden ist die Aromatizität in 0 – 10 cm Tiefe signifikant höher, zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringer als in 10 – 20 cm Tiefe. Im Ökologischen Anbau zeigt die Aromatizität hinsichtlich der Tiefenstufe keinen signifikanten Unterschied und ist zwischen Mai und September 1999 signifikant geringer als zwischen Mai und September 2000.

Der Humifizierungsindex ist im Integrierten Anbau zwischen Mai und September 1999 in 0 – 10 cm Tiefe signifikant größer, zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringer als in 10 – 20 cm Tiefe, im Ökologischen Anbau ist der Humifizierungsindex während beider Zeiträume in 0 – 10 cm Tiefe signifikant geringer als in 10 – 20 cm Tiefe. Der Humifizierungsindex ist im Integrierten Anbau in 0 – 10 cm Tiefe zwischen November 1999 und März 2000 am geringsten, in 10 – 20 cm Tiefe sowie im Ökologischen Anbau zwischen Mai und September 2000 am größten.

Die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  ist in 0 – 10 cm Tiefe zwischen Mai und September 1999 signifikant geringer als in den anderen beiden Zeiträumen. In 10 – 20 cm Tiefe ist die Fluoreszenz-Effizienz im Integrierten Anbau zwischen Mai und September 2000 signifikant höher als in den anderen beiden Zeiträumen und im Hohertrag des Ökologischen Anbaus zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringer als während der beiden Vegetationsperioden.

Das Substratpotenzial  $B$  von WEOM ist zwischen Mai und September 1999 signifikant geringer als während der anderen beiden Zeiträume. Nur zwischen Mai und September 2000 ist das Substratpotenzial in 0 – 10 cm Tiefe des Integrierten Anbaus signifikant geringer als in 10 – 20 cm Tiefe.

Der Vergleich der drei Zeiträume Mai bis September 1999, November 1999 bis März 2000 und Mai bis September 2000 zeigt, daß WEOM während der Beprobungszeit dynamische Veränderungen durchläuft. Diese betreffen seine Menge, seine Qualität und sein Substratpotenzial. Die Dynamik von WEOM aus 0 – 10 cm verläuft dabei anders als von WEOM aus 10 – 20 cm Tiefe, bzw. im Integrierten Anbau anders als im Ökologischen Anbau. Ursache für die zeitliche Dynamik von WEOM ist einerseits das jahreszeitlich geprägte Klima, andererseits die Bewirtschaftung der beprobten Flächen.

Die bedeutendsten jahreszeitlichen Faktoren sind die Temperatur und der Wassergehalt des Bodens. Im  $A_p$ -Horizont sind diese abhängig von der Lufttemperatur bzw. von der Häufigkeit und der Heftigkeit von Niederschlagsereignissen. Mit ihnen können Troknungs-Wiederbefeuchtungs- sowie Frost-Tau-Zyklen verbunden sein. Einflußfaktoren, die von der jeweiligen Bewirtschaftung ausgehen, sind Art und Anbausweise der jeweiligen Ackerfrucht, organische und mineralische Düngung und Bodenbearbeitung. Die zugrunde liegenden Ergebnisse wurden in einem Feldversuch erhoben. Daher ist es an dieser Stelle nicht möglich, die konkrete Auswirkung eines einzelnen Faktors auf einen der

erhobenen WEOM-Parameter zu definieren. Vielmehr ist die Dynamik von WEOM das Ergebnis eines Zusammenspiels vieler Faktoren, die einander verstärken oder abschwächen können.

#### 5.4.2. Einfluß der Temperatur

Zwischen November 1999 und März 2000 wurde im Integrierten Anbau und im Ökologischen Anbau in 0 – 10 cm Tiefe gegenüber der vorangegangenen Vegetationsperiode ein um 36 % bzw. 43 %, gegenüber der nachfolgenden ein um 24 % bzw. 20 % geringerer WEOC-Gehalt gemessen. In 10 – 20 cm Tiefe des Integrierten Anbaus beträgt die Differenz zur vorangegangenen Vegetationsperiode noch 16 %, zur nachfolgenden Vegetationsperiode 12 %. Im Integrierten Anbau weist WEOM in 0 – 10 cm Tiefe während der Vegetationsperioden einen ähnlichen oder höheren, während der Kälteperiode den geringeren Umsetzungsgrad auf als in 10 – 20 cm Tiefe. Im Ökologischen Anbau in 10 – 20 cm Tiefe blieb der WEOC-Gehalt, wahrscheinlich bedingt durch organische Düngung, in allen drei Zeiträumen nahezu gleich.

Höhere Temperatur kann zu höherer DOM-Freisetzung im Boden führen. CRONAN & AIKEN (1985), GUGGENBERGER (1992) und MICHALZIK & MATZNER (1999) fanden bei höheren Temperaturen höhere DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung. LIECHTY et al. (1995) schätzten aus ihren Ergebnissen, daß eine Temperaturerhöhung um 2,1° C einen Anstieg der DOC-Konzentration um 16 % verursachte. In Inkubationsexperimenten konnten CHRIST & DAVID (1996) die exponentielle Abhängigkeit der DOM-Freisetzung von der Bodentemperatur nachweisen. Andererseits konnten KÄTTERER et al. (1998) und REICHSTEIN et al. (2000) zeigen, daß Abbau und Mineralisierung organischer Substanz gleichfalls positiv mit der Temperatur zusammenhängen. Nach ROCHETTE & GREGORICH (1998) wächst die DOM-Freisetzung jedoch stärker mit der Temperatur an als die DOM-Mineralisierung. CRONAN & AIKEN (1985), QUALLS & HAINES (1991) und CHAPMAN et al. (1995) fanden, daß jahreszeitliche Schwankungen der DOM-Konzentration mit zunehmender Bodentiefe geringer werden. Unterschiedliche Temperatureffekte in unterschiedlich tiefen Bodenbereichen deuten darauf hin, daß die Menge des vorhandenen DOM durch mikrobielle Aktivität kontrolliert wird (GUGGENBERGER et al., 1998).

#### 5.4.3. Einfluß des Bodenwassergehaltes

In der Zeit von Mai bis September 1999 wurde, außer in 10 – 20 cm Tiefe des Ökologischen Anbaus, der signifikant höhere WEOC-Gehalt gefunden als in den gleichen Monaten des Folgejahres, obgleich während letzteren der A<sub>p</sub>-Horizont feuchter war als während ersteren. Zwischen November 1999 und März 2000 war der A<sub>p</sub>-Horizont über längere Zeit hinweg weitgehend wassergesättigt, so daß das vorübergehende Eintreten anaerober Bedingungen möglich ist. Im Integrierten Anbau unterscheiden sich die beiden Tiefenstufen nicht hinsichtlich des WEOC-Gehaltes, während der WEOC-Gehalt in der vorange-

gangenen wie in der nachfolgenden Vegetationsperiode in 10 – 20 cm signifikant geringer war als in 0 – 10 cm Tiefe.

Nach CHRIST & DAVID (1996) nimmt die DOM-Freisetzung mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit zu. Die Autoren erwarten daher die größte DOM-Freisetzung in feuchten Sommern. Diese von CHRIST & DAVID (1996) geäußerte Erwartung trifft auf die Ergebnisse dieser Arbeit jedoch nicht zu. Durch hohe Wassersättigung hervorgerufene anaerobe Bedingungen können die Freisetzung von DOM begünstigen (SEDELL & DAHM, 1990), da der anaerobe Abbau organischer Substanz weniger effektiv ist als der aerobe Abbau und die Freisetzung von Zwischenprodukten begünstigt (MULHOLLAND et al., 1990; OTSUKI & HANYA, 1972). So konnten KALBITZ et al. (1997) und WANG & BETTANY (1993) bei der Inkubation überstauter Böden eine erhöhte DOM-Freisetzung beobachten.

#### 5.4.4. Wirkung von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen

Zwischen Mai und September 1999 war der gravimetrische Wassergehalt im A<sub>p</sub>-Horizont der beprobten Flächen signifikant geringer als zwischen Mai und September 2000 (Abbildung 15), zugleich zeigt der größere Interquartilbereich, daß während des erstgenannten Zeitraumes der gravimetrische Wassergehalt des Bodens größeren Schwankungen unterworfen war. In den Monaten Mai und Juni des Jahres 1999 waren die Monatssummen der Niederschläge höher, in den Monaten Juli bis Oktober geringer als in den entsprechenden Monaten des Folgejahres (SEHY, 2004). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen ist daher für die Monate Mai bis September des Jahres 1999 größer als für die selben Monate des Folgejahres.

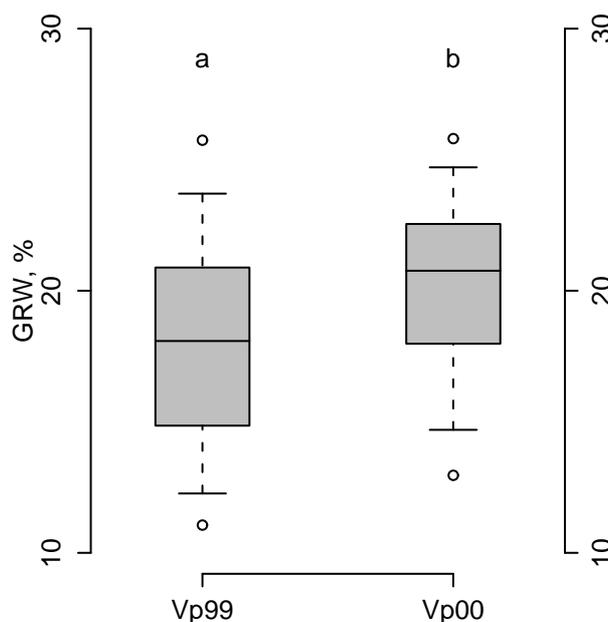


Abbildung 15: Gravimetrischer Wassergehalt GRW in 0 - 20 cm Tiefe im Ökologischen und Integrierten Anbau von Mai bis September 1999 (Vp99) und von Mai bis September 2000 (Vp00). a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 252$ .

Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen haben verstärkte DOM-Freisetzung zur Folge (CHITTLEBOROUGH et al., 1992; HAYNES & SWIFT, 1991; KALBITZ & KNAPPE, 1997; LUNDQUIST et al., 1999; MERCKX et al., 2001; TIPPING et al., 1999; ZABOWSKI & UGOLINI, 1990; ZSOLNAY et al., 1999). LUNDQUIST et al. (1999) führen hierfür drei Gründe an:

Infolge von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen findet ein reduzierter DOM-Verbrauch durch die mikrobielle Biomasse statt (LUNDQUIST et al., 1999). VAN GESTEL et al. (1993) und WEST et al. (1992) konnten einen durch Trocknung und Wiederbefeuchtung verursachten Rückgang der mikrobiellen Biomasse nachweisen, MAGID et al. (1999) hingegen nicht, und auch LUNDQUIST et al. (1999) räumen ein, daß sie bei ihren Versuchen in getrockneten und wiederbefeuchteten Böden einen ähnlichen oder größeren Gehalt an mikrobieller Biomasse feststellten als in kontinuierlich feucht gehaltenen. Allerdings stellten ZSOLNAY et al. (1999) nach Ofentrocknung (105° C) die Freisetzung von DOM aus lysierter Biomasse fest. Wie stark die mikrobielle Biomasse durch Trocknung beeinträchtigt wird, hängt daher möglicherweise von der Intensität der Trocknung ab.

Im Verlauf von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen werden die mikrobielle Biomasse und mikrobielle Stoffwechselprodukte verstärkt umgesetzt (LUNDQUIST et al., 1999). Dadurch wird die Freisetzung von humifiziertem und abbauresistentem DOM gefördert. ZSOLNAY et al. (1999) zeigte, daß im Vergleich zu bei 60 % der Feldkapazität feuchten Böden luftgetrocknete (20° C) Böden stärker humifiziertes DOM freisetzen.

Für den stärkeren Einfluß von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen während der Vegetationsperiode 1999 sprechen daher der höhere WEOC-Gehalt, die größere Aromatizität und der größere Humifizierungsindex von WEOM insbesondere in 0 – 10 cm Tiefe. Aber auch das geringere Substratpotenzial während dieser Zeit weist darauf hin, daß WEOM in höherem Grade umgesetzt wurde. Die geringere Fluoreszenz-Effizienz zwischen Mai und September 1999 zeigt an, daß die WEOM-Bestandteile in dieser Zeit ein größeres Molekulargewicht und damit eine größere Komplexität der Moleküle aufwiesen.

Infolge von Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen können Strukturelemente des Bodens zerstört werden, so daß okkludiertes organisches Material in Stoffwechselprozesse einbezogen werden kann (LUNDQUIST et al., 1999). DEGENS & SPARLING (1995) und PICCOLO et al. (1997) konnten zeigen, daß wiederholte Zyklen von Trocknung und Wiederbefeuchtung zur Disaggregation des Bodens führen können.

#### 5.4.5. Wirkung von Frost-Tau-Zyklen

Zwischen Anfang November 1999 und Anfang März 2000 gab es 53 Tage mit Tagestemperaturen der Luft und 8 Tage mit mittleren Tagestemperaturen in 5 cm Bodentiefe unter dem Gefrierpunkt (SEHY, 2004). Aufgrund des direkten Kontaktes zur Atmosphäre ist daher zwischen November 1999 und März 2000 innerhalb des A<sub>p</sub>-Horizontes am ehesten in 0 – 10 cm Tiefe mit der unmittelbaren Einwirkung von Frost-Tau-Zyklen zu rechnen. In

diesem Zeitraum zeigen die geringere Aromatizität und der geringere Humifizierungsindex (im Ökologischen Anbau nur der geringere Humifizierungsindex) in 0 – 10 cm Tiefe gegenüber 10 – 20 cm Tiefe den geringeren Umsetzungsgrad von WEOM an. Dies kann durch eine Freisetzung von organischem Material aus im Zuge von Frost-Tau-Zyklen abgestorbenen Mikroorganismen ermöglicht worden sein. Auch kann durch Frost-Tau-Zyklen zusätzliches DOM freigesetzt werden (CHRISTENSEN & CHRISTENSEN, 1991; MELICK et al., 1994; WANG & BETTANY, 1993). Im Verlauf von Frost-Tau-Zyklen wird mikrobielles Zellgewebe in ähnlicher Weise wie durch Trocknungs-Wiederbefeuchtungs-Zyklen oder bei der Fumigation zerstört (DELUCA et al., 1992). Daneben ist denkbar, daß durch das Wachstum von Eiskristallen Aggregate aufgebrochen werden und so okkludiertes organisches Material freigesetzt wird. Andererseits kann das freigesetzte organische Material, das als leicht verfügbar anzusehen ist, in tiefere Bereiche des  $A_p$ -Horizontes verfrachtet worden sein und dort die mikrobielle Stoffwechselaktivität stimuliert haben. Dafür spricht, daß WEOM in 10 – 20 cm Tiefe des Integrierten Anbaus einen stärkeren Umsetzungsgrad als in der vorangegangenen Vegetationsperiode und einen ähnlichen Umsetzungsgrad wie in der nachfolgenden Vegetationsperiode aufweist.

#### 5.4.6. Einfluß durch die Ackerfrucht

Im Jahr 1999 wurde im Integrierten Anbau Silomais, im Ökologischen Anbau Klee, Gras und Luzerne als Brachefrucht angebaut, im Jahr 2000 auf beiden Schlägen Winterweizen. Im Integrierten Anbau wurde der Silomais mit 75 cm Reihenabstand gesät, der Winterweizen mit einem Reihenabstand von 12,5 cm. Im Ökologischen Anbau wurde die Brachefrucht in ca. 30 cm breiten Streifen mit etwa ebensobreiten Zwischenräumen, der Winterweizen mit einem Reihenabstand von 11,5 cm angebaut. Aufgrund des größeren Reihenabstandes während der Zeit von Mai bis September 1999 in beiden Kulturen kann angenommen werden, daß die Durchwurzelung des  $A_p$ -Horizontes in diesem Zeitraum heterogener war als in der Zeit von Mai bis September 2000, mithin auch die Verteilung von Wurzelexsudaten. Nicht mit der unterschiedlichen Durchwurzelung des Bodens erklärt werden kann der Unterschied hinsichtlich des Substratpotenziales von WEOM der beiden genannten Zeiträume, da sich, wie bereits gezeigt, WEOM aus durchwurzelmtem und wurzelfreiem Boden nicht hinsichtlich des Substratpotenziales unterscheidet.

Einzelne Pflanzenspezies können sich durch Menge und Qualität der von ihnen in den Boden eingetragenen Wurzelexsudate unterscheiden (CURL & TRUELOVE, 1986; ROVIRA, 1959; ROVIRA & DAVEY, 1974; VANCURA & HANZLIKOVA, 1972). Ackerfrüchte unterscheiden sich beim Anbau auch in Saattiefe und Reihenabstand. Dies führt zu Unterschieden in der Durchwurzelung des Bodens, mithin zu unterschiedlicher Verteilung von Wurzelexsudaten im  $A_p$ -Horizont. Wie bereits gezeigt wurde, unterscheidet sich WEOM, das aus dem  $A_p$ -Horizont der Pflanzreihe von Silomais gewonnen wurde, in Menge und Qualität von WEOM, das aus der Zwischenreihe gewonnen wurde (siehe auch Seite 31).

### 5.4.7. Wirkungen Organischer Düngung

Im Herbst 1998 wurde im Integrierten Anbau Senf als Zwischenfrucht angebaut, der während des Winters abfror und im Anschluß daran auf der Bodenoberfläche belassen wurde. Im Oktober 1999 wurde im Ökologischen Anbau die Brachefrucht aus Klee, Gras und Luzerne umgebrochen und in 12 cm Tiefe eingearbeitet.

Im Rahmen der Feldbewirtschaftung wird auf dem Versuchsgut Scheyern auch Zwischen- und Brachefruchtanbau betrieben, um noch vorhandene pflanzenverfügbare Nährstoffe zu fixieren und dem Boden wieder zuzuführen. Dabei gelangen auch erhebliche Mengen pflanzlichen Materials in den Boden und stellen dort eine zusätzliche Quelle für DOM dar.

ROCHETTE & GREGORICH (1998) konnten nach der Ausbringung von Stroh und Rinderexkrementen auf einem Maisfeld einen sprunghaften Anstieg der freigesetzten DOC-Menge feststellen, der im weiteren Verlauf ihres Experimentes allmählich zurückging. Auch CRONAN et al. (1992), MARTÍN-OLMEDO & REES (1999) und ZSOLNAY & GÖRLITZ (1994) konnten nach der Ausbringung von Sägemehl, Geflügelmist bzw. Dung einen Anstieg der WEOM-Menge verzeichnen. Nach Daten von GREGORICH et al. (1998) hängt die Menge an zusätzlich freigesetztem DOM von der Menge der zugefügten organischen Substanz ab.

Während MARTÍN-OLMEDO & REES (1999) infolge organischer Düngung zusätzlich freigesetztes DOM mit im organischen Dünger enthaltener löslicher organischer Substanz erklären, konnten GÖDDE et al. (1996) und KALBITZ & KNAPPE (1997) zeigen, daß die Menge an freigesetztem DOM positiv mit dem C/N-Verhältnis der organischen Substanz zusammenhängt. MICHEL & MATZNER (1999) konnten allerdings keinen Zusammenhang zwischen der DOM-Freisetzung und dem C/N-Verhältnis feststellen.

Bei beiden organischen Düngungen wurde frisches Pflanzenmaterial eingearbeitet, für das ein anfänglich hohes C/N-Verhältnis angenommen werden kann. In beiden Fällen wurde somit ein gut verfügbares und leicht abbaubares Substrat in den A<sub>p</sub>-Horizont eingebracht, das die Freisetzung von DOM begünstigen kann.

GREGORICH et al. (1998) und ROCHETTE & GREGORICH (1998) stellten nach der Ausbringung von Stroh und Rinderexkrementen eine sprunghafte Zunahme der CO<sub>2</sub>-Freisetzung fest. Infolge der organischen Düngung ist daher mit einer Verstärkung des mikrobiellen Stoffwechsels, mithin ein verstärkter Umsatz von DOM zu erwarten. GAILLARD et al. (1999) haben im Verlauf einer Inkubation nach der Einarbeitung von Stroh in den Boden festgestellt, daß sich um das einzelne Strohpartikel eine Detritosphäre ausbildet, eine Zone mit radial abnehmender mikrobieller Aktivität mit einer Reichweite mehrerer Millimeter, in der sich Abbau und Humifizierung des eingearbeiteten Strohpartikels abspielen. In den Boden eingearbeitetes organisches Material begünstigt demnach den Abbau, mithin die Freisetzung von löslichem organischem Material besonders in seiner unmittelbaren Umge-

bung.

Zwischen Mai und September 1999 wurde im Integrierten Anbau in 0 – 10 cm Tiefe der größere WEOC-Gehalt und das stärker umgesetzte WEOM mit einem höheren Molekulargewicht als in 10 – 20 cm Tiefe nachgewiesen. Zwischen Mai und September 1999 ist das Substratpotenzial in beiden Tiefenstufen signifikant geringer als in der folgenden Kälteperiode bzw. Vegetationsperiode. Das auf der Bodenoberfläche des integrierten Anbaus befindliche Senfmaterial kann dabei, wie zuvor beschrieben, als „Hot Spot“ gewirkt haben, eines Bereiches, in dem Frei- und Umsetzung von DOM bzw. WEOM besonders intensiv ist. Im Ökologischen Anbau konnte im gleichen Zeitraum ein ähnlich starker Tiefen-Gradient von WEOC-Gehalt und Humifizierungsindex nachgewiesen werden. Hier kann als Verursacher von der Brachefrucht aus Klee, Gras und Luzerne herrührende Pflanzenstreu angesehen werden, das während des Winters 1998/1999 angefallen war.

Auf die Rolle des eingearbeiteten Pflanzenmaterials als „Hot Spot“ kann zurückgeführt werden, daß zwischen November 1999 und März 2000 im Ökologischen Anbau in 10 - 20 cm Tiefe der höhere WEOC-Gehalt, der höhere Humifizierungsindex und das höhere Molekulargewicht von WEOM nachgewiesen werden konnte als in 0 – 10 cm Tiefe. Hingegen konnte im Ökologischen Anbau in diesem Zeitraum in 10 – 20 cm Tiefe keine Verringerung des Substratpotenziales gegenüber 0 – 10 cm Tiefe festgestellt werden. Möglicherweise hat eine Vermengung mit WEOM aus 0 – 10 cm Tiefe stattgefunden, das, bedingt durch Frost-Tau-Zyklen, einen höheren Anteil an organismenbürtigem Material mit höherem Substratwert enthielt, oder der während der Kälteperiode lang anhaltend hohe Wassergehalt des Bodens hat verstärkt zu anaeroben Bedingungen, und damit einhergehend, vermindertem Umsatz von WEOM geführt.

Im Gegensatz zu diesen organischen Düngungen hat eine im April 2000 durchgeführte Ausbringung von Gülle im Ökologischen wie im Integrierten Anbau zu keiner nachweisbar anhaltenden Veränderung von WEOM geführt. Mögliche Erklärungen sind, daß organisches Material in der Gülle ähnlich mobil ist wie DOM und daher in kurzer Zeit durch den  $A_p$ -Horizont hindurch in die Tiefe verfrachtet wurde, oder daß das organische Material der Gülle einen schlechteren Substratwert hat als das eingearbeitete Pflanzenmaterial.

#### **5.4.8. Wirkungen Mineralischer Düngung**

Außer einer Schwefeldüngung wurde mineralischer Dünger nur im integrierten Anbau ausgebracht (siehe Tabelle 10 im Anhang). Aufgrund der Einarbeitung pflanzlichen Materials in den Boden zu unterschiedlichen Zeitpunkten, kann aus einem Vergleich von Ökologischem und Integriertem Anbau dennoch keine eindeutige Aussage über die Auswirkung der mineralischen Düngung auf WEOM getroffen werden.

In der Literatur gibt es zudem über die Wirkung von mineralischem N-Dünger auf DOM

verschiedene Arbeiten mit widersprüchlichen Ergebnissen: Während ZSOLNAY & GÖRLITZ (1994) und ROCHETTE & GREGORICH (1998) keine Veränderung von WEOM bzw. DOM infolge der Anwendung von Mineraldünger feststellen konnten, fanden CHANTIGNY et al. (1999), LIANG et al. (1998) und MAZZARINO et al. (1993) die Verringerung und CAMPBELL et al. (1999) und McTIERNAN et al. (2001) die Zunahme von DOM. MERCKX et al. (1987) stellten fest, daß unter N-Limitierung die Gabe von mineralischem N-Dünger die mikrobielle Mineralisation von leicht verfügbarem WEOM stimuliert, und CHANTIGNY et al. (1999) fanden nach der Gabe von 180 kg N ha<sup>-1</sup> zwar eine baldige markante Absenkung von WEOM, das jedoch, nachdem der N-Gehalt des Bodens durch die pflanzliche Aufnahme reduziert worden war, wieder sein vorheriges Niveau erreichte. CHANTIGNY (2003) merkt an, daß die Gabe von mineralischem N-Dünger den Abbau sowohl von DOM als auch der festen organischen Substanz begünstigt. Letzteres führt wiederum zur Freisetzung von DOM (FILIP et al., 1998; KALBITZ et al., 2000 b).

#### 5.4.9. Einfluß der Bodenbearbeitung

Durch die Bodenbearbeitung im Oktober 1999 wurde im Integrierten Anbau das bis dahin auf der Bodenoberfläche belassene, vom letzten Zwischenfruchtanbau herrührende Pflanzenmaterial gleichmäßig über die Bearbeitungstiefe (20 cm) verteilt. Ähnliches kann für die im Ökologischen Anbau während des Winters 1998/1999 angefallene Streu angenommen werden. Dies hat möglicherweise mit zur Verringerung der WEOC-Gehalte in der nachfolgenden Zeit in 0 – 10 cm Tiefe beigetragen.

KALBITZ et al. (2000 b) vermuten, daß infolge von Bodenbearbeitung die Freisetzung von DOM bedingt durch die erhöhte Mineralisierung der organischen Substanz zunimmt. GREGORICH et al. (2000) fanden nach der Einarbeitung von Pflanzenstreu mehr WEOC und schließen daraus, daß die Auflockerung des Bodens und die Vermengung mit der Pflanzenstreu zur Stimulierung des mikrobiellen Abbaus und infolgedessen zu vermehrter WEOM-Freisetzung kommt. Andererseits stellten LINN & DORAN (1984) in konventionell bearbeiteten Böden in der Tiefe bis 7,5 cm die Abnahme, darunter keine Veränderung von WEOM fest. LEINWEBER et al. (2001) fanden nach der Intensivierung der Bodenbearbeitung Veränderungen in der Zusammensetzung von WEOM und führen diese auf gesteigerte oxidative mikrobielle Aktivität im Zuge der verstärkten Bodenbearbeitung zurück.

#### 5.4.10. Saisonalität von WEOM

WEOM zeigt auf den beprobten Flächen einen jahreszeitlichen Verlauf, der sowohl auf klimatisch bedingte Einflüsse wie auch auf die Folgen von Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückgeführt werden kann. Dabei unterscheidet sich die Kälteperiode von den beiden Vegetationsperioden, aber auch die beiden Vegetationsperioden unterschieden sich voneinander hinsichtlich der Menge und der Qualität des WEOM.

Das Substratpotenzial von WEOM zeigt im Verlauf der Beprobungen zwar eine zeitliche Entwicklung, die jedoch nicht eindeutig dem jahreszeitlichen Zyklus folgt. BOYER & GROFFMANN (1996), die das Substratpotenzial von WEOM zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr bestimmten, fanden keine jahreszeitliche Abhängigkeit. Im Gegensatz dazu fanden YANO et al. (2000) und QUALLS & HAINES (1992) jahreszeitliche Schwankungen des Substratpotenziales mit höchsten Werten im Sommer und geringsten Werten im Winter. Auch das Molekulargewicht von WEOM zeigt während der Beprobungszeit zwar einen zeitlichen, jedoch keinen eindeutig jahreszeitlichen Verlauf.

Tabelle 6: Saisonalität von DOM in ausgewählten Literaturzitate.

Zitat	Untersuchungsort	DOM-Gewinnung	Saisonalität von DOM	Bodennutzung
CURRIE et al.(1996)	Harvard Forest, Massachusetts	Sickerwasser	ja	Waldboden
DAI et al., (1996)	Howland, Maine	Sickerwasser	ja	Waldboden
DOSSKEY & BERTSCH (1997)	Atlantische Küstenebene, South Carolina	Zero Tension Lysimeter	nein	Waldboden
FEDERER & STICHER (1994)	Dornach bei Basel, Schweiz	Saugkerzen mit 100 – 300 mbar	ja	Obstgarten <sup>1)</sup>
KAWAGASHI et al. (2003)	Fujisawa und Tsukui, bei Tokio, Japan	Zentrifugation <sup>2)</sup>	nein	Wald, Grasland, Maisfeld
LIECHTY et al. (1995)	Alberta und Oceana, Michigan	Zero Tension Lysimeter	ja	Waldboden
MCDOWELL et al. (1998)	Petersham, Massachusetts	Zero Tension Lysimeter	ja	Waldboden
SCOTT et al. (1998)	Great Dun Fell, UK	Beprobung von Drainage-Tümpeln	ja	Torfboden
TEGEN & DÖRR (1996)	Sandhausen bei Heidelberg	Sickerwasser	ja	Waldboden
TIPPING et al. (1999)	Newton Rigg und Great Dun Fell, UK	Lysimeter	ja	Moor

1) Nach Angaben der Autoren mit Schwermetallen belastet

2) Zentrifugation ungestörter Bodenproben. Die angewandte Zentrifugalkraft entspricht nach den Autoren einer Saugspannung von  $-1,55 \cdot 10^6$  Pa und ermöglicht daher die Gewinnung von Bodenwasser, das bei Saugspannungen bis zum permanenten Welkepunkt  $pF=4,2$  noch verfügbar ist. Die so gewonnene Bodenlösung entspricht daher weitgehend dem in Mittelporen enthaltenen Bodenwasser.

In Tabelle 6 ist eine Auswahl an Arbeiten zusammengestellt, bei denen über Zeiträume zwischen mehreren Monaten bis hin zu mehreren Jahren in regelmäßigen Abständen die DOM-Menge im Boden bestimmt wurde. In den meisten der zitierten Arbeiten wurde die Saisonalität der DOM-Menge festgestellt, wobei, ähnlich den Ergebnissen dieser Arbeit, in der Vegetationsperiode höhere DOM-Mengen bestimmt wurden als in der Kälteperiode. Zur Arbeit von DOSSKEY & BERTSCH (1997), die keine signifikanten Unterschiede zwischen den im Sommer und im Winter gemessenen DOC-Mengen gefunden haben, merken KALBITZ et al. (2000 b) an, daß dies auf das ausgewogene Klima mit nur gering ausgeprägten Jahreszeiten am Arbeitsort ihrer Studie zurückzuführen ist. Allerdings konnten KAWAGASHI et al. (2003) bei ihrer Untersuchung von Bodenlösung der Mittelporen ebenfalls keine Saisonalität von DOM feststellen, obgleich ihre Untersuchungsstandorte ein durch Jahreszeiten geprägtes Klima aufweisen. Für die Untersuchungsorte der meisten anderen Arbeiten kann hingegen aufgrund ihrer geografischen Lage ein Klima mit ausgeprägten Jahreszeiten angenommen werden. Die meisten der in den genannten Zitaten untersuchten Böden unterliegen in weit geringerem Ausmaß Bewirtschaftungseingriffen als ackerbaulich genutzte Böden. Die Saisonalität von DOM ist daher weitgehend auf die Saisonalität des jeweiligen Klimas zurückzuführen.

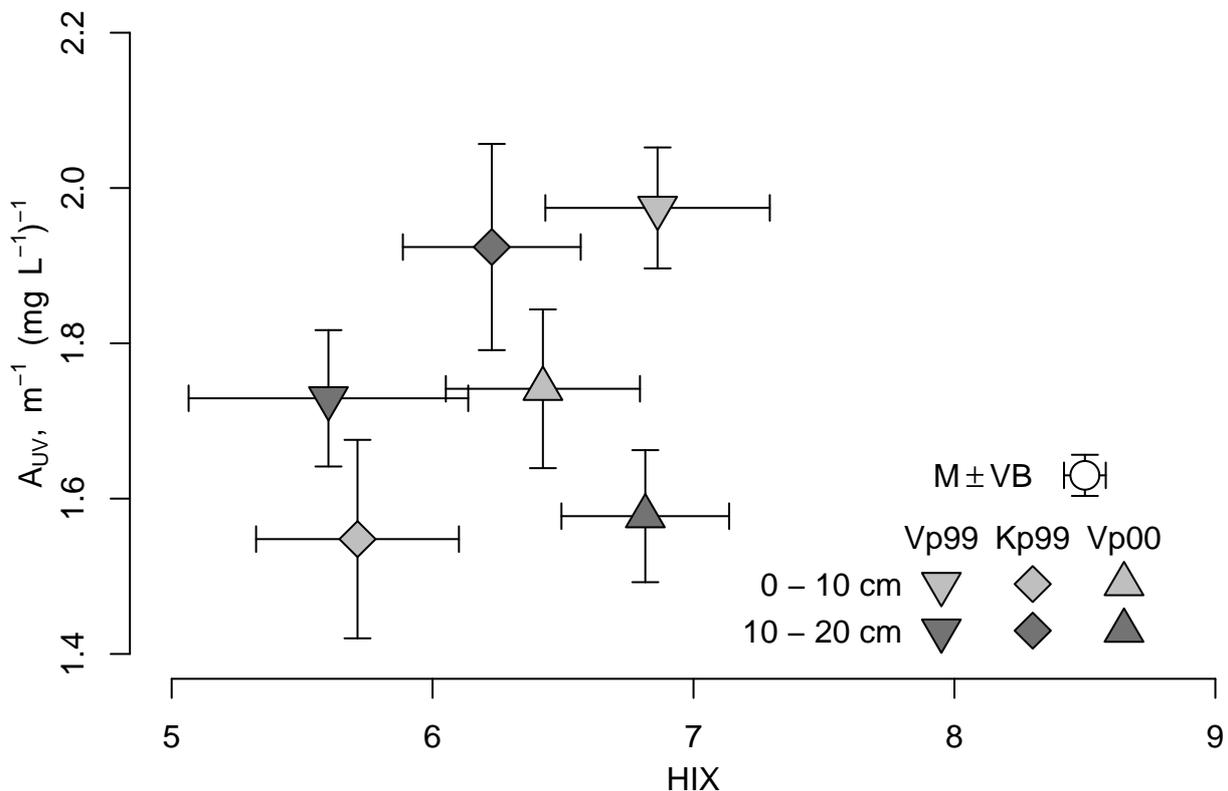


Abbildung 16: Umsetzungsgrad des WEOM von Mai bis September 1999 (Vp99), von November 1999 bis März 2000 (Kp99) und von Mai bis September 2000 (Vp00) in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe des Integrierten Anbaus, dargestellt durch den Humifizierungsindex HIX (Abszisse) und die Aromatizität  $A_{UV}$  (Ordinate). Der Umsetzungsgrad ist desto größer, je größer die Distanz zum Koordinaten-Ursprung ist. M: Median; VB: 95%-Vertrauensbereich des Medians.

Die Aussage der Saisonalität von DOM in den in Tabelle 6 genannten Arbeiten bezieht sich vor allem auf die Quantität von DOM. In dieser Arbeit zeigt WEOM ebenfalls saisonale Einwirkungen mit während der Vegetationsperioden höheren, während der Kälteperiode geringeren WEOC-Gehalten, sofern die Wirkungen anderer Einflußfaktoren wie z.B. organische Düngung ausgeschlossen werden können. Die Saisonalität von WEOM erstreckt sich jedoch auch auf seine Qualität, d. h., der Einfluß der verschiedenen DOM-Quellen auf WEOM fällt zu unterschiedlichen Jahreszeiten unterschiedlich ins Gewicht,

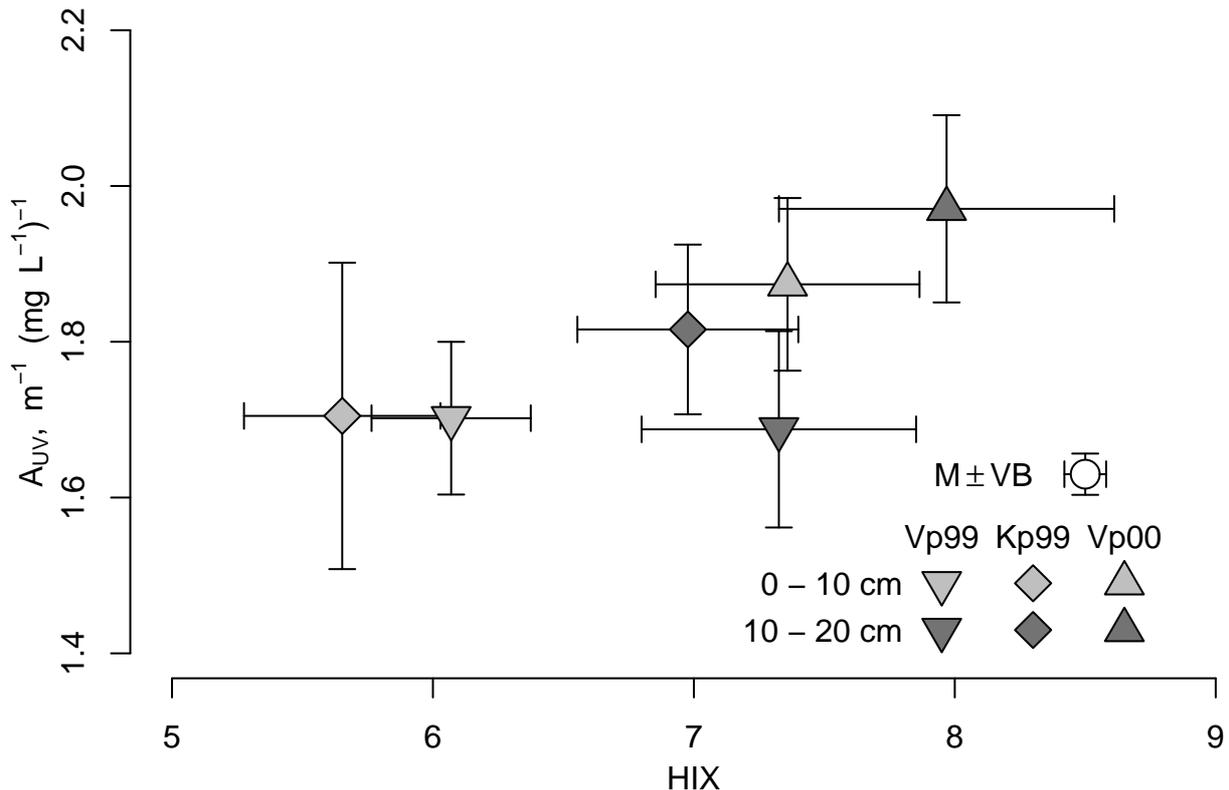


Abbildung 17: Umsetzungsgrad des WEOM von Mai bis September 1999 (Vp99), von November 1999 bis März 2000 (Kp99) und von Mai bis September 2000 (Vp00) in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Tiefe des Ökologischen Anbaus, dargestellt durch den Humifizierungsindex HIX (Abszisse) und die Aromatizität  $A_{UV}$  (Ordinate). Der Umsetzungsgrad ist desto größer, je größer die Distanz zum Koordinaten-Ursprung ist. M: Median; VB: 95%-Vertrauensbereich des Medians.

wie die Abbildungen 16 und 17 zeigen. Der Umsetzungsgrad von WEOM des Integrierten Anbaus deutet in 0 – 10 cm Tiefe auf einen höheren Anteil humusbürtigen organischen Materiales im WEOM der Vegetationsperioden, im WEOM der Kälteperioden auf einen höheren Anteil organismenbürtigen organischen Materiales hin. Ersteres ist erklärbar mit höherer mikrobieller Stoffwechselsaktivität während der Vegetationsperioden, letzteres mit durch mögliche Frost-Tau-Zyklen bedingte Zell-Lyse oder durch den hohen Wassergehalt des Bodens hervorgerufene anaerobe Bedingungen. Der vergleichsweise hohe Umsetzungsgrad von WEOM in 10 – 20 cm Tiefe des Integrierten Anbaus während der Kälteperiode (Abbildung 16) ist dabei möglicherweise auf die Anregung des mikrobi-

ellen Stoffwechsels durch das im Zuge von Frost-Tau-Zyklen freigesetzte und mit dem Sickerwasser in die Tiefe verfrachtete organismenbürtige Material zurückzuführen. Der Anstieg des Umsetzungsgrades von WEOM aus 10 – 20 cm Tiefe des Ökologischen Anbaus während der Kälteperiode und der nachfolgenden Vegetationsperiode (Abbildung 17) kann mit organischer Düngung und die daher zu erwartende verbesserte Umsetzung organischen Materials erklärt werden.

#### 5.4.11. WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> der Kälte- und der Vegetationsperiode

Zur Darstellung der Unterschiede von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> zwischen den Zeiträumen November 1999 bis März 2000 und Mai bis September 2000 wurden die Beprobungsflächen nur nach dem Ertrag aufgeschlüsselt (Abbildungen 18 und 19), da sich

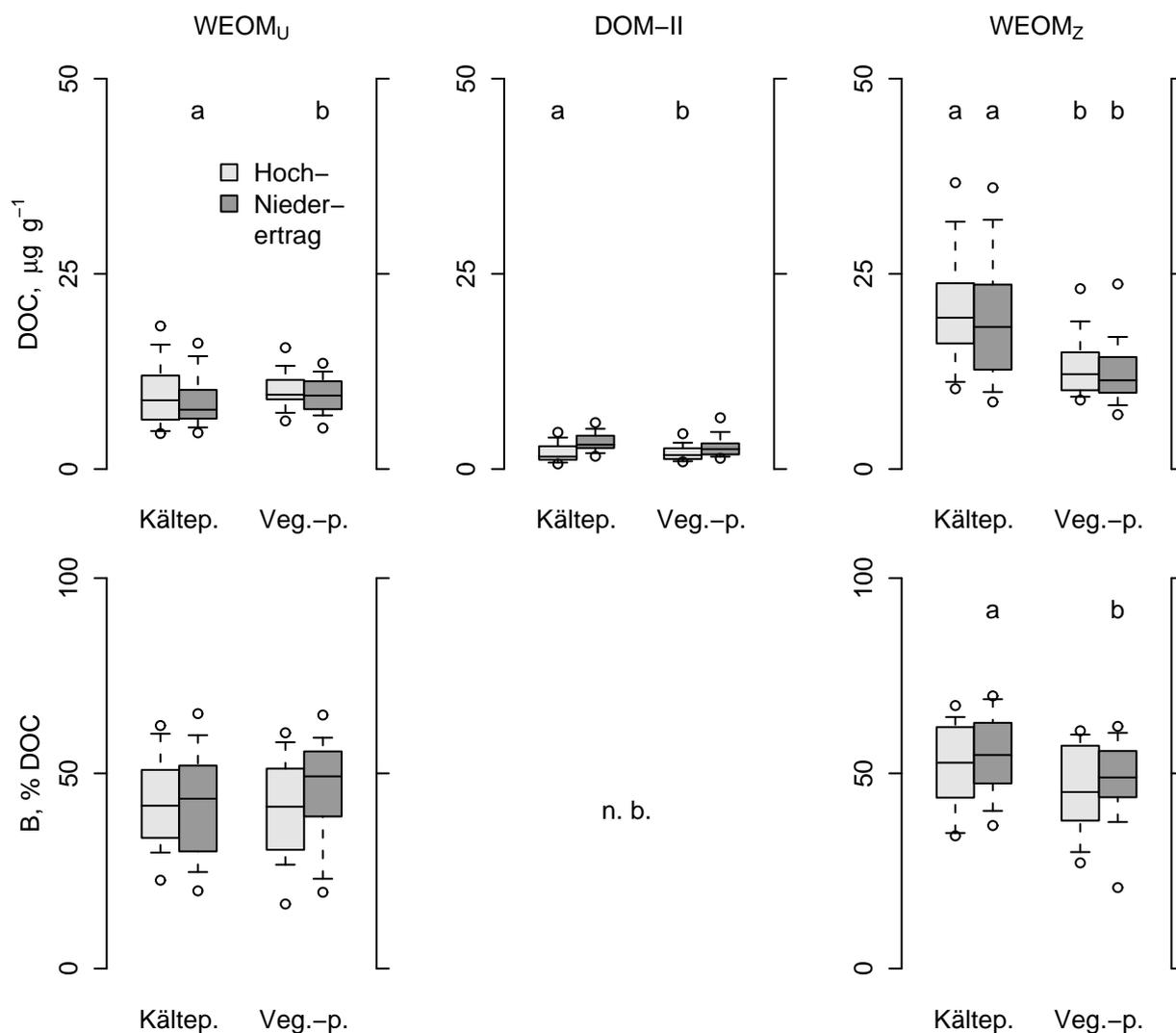


Abbildung 18: DOC-Gehalt und Substratpotenzial B von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> der Hoch- und Niederertragsflächen von November 1999 bis März 2000 (Kältep.) und von Mai bis September 2000 (Veg.-p.). n. b.: nicht bestimmt; a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den genannten Zeiträumen,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 48$  (Kältep.),  $n = 39$  (Veg.-p.).

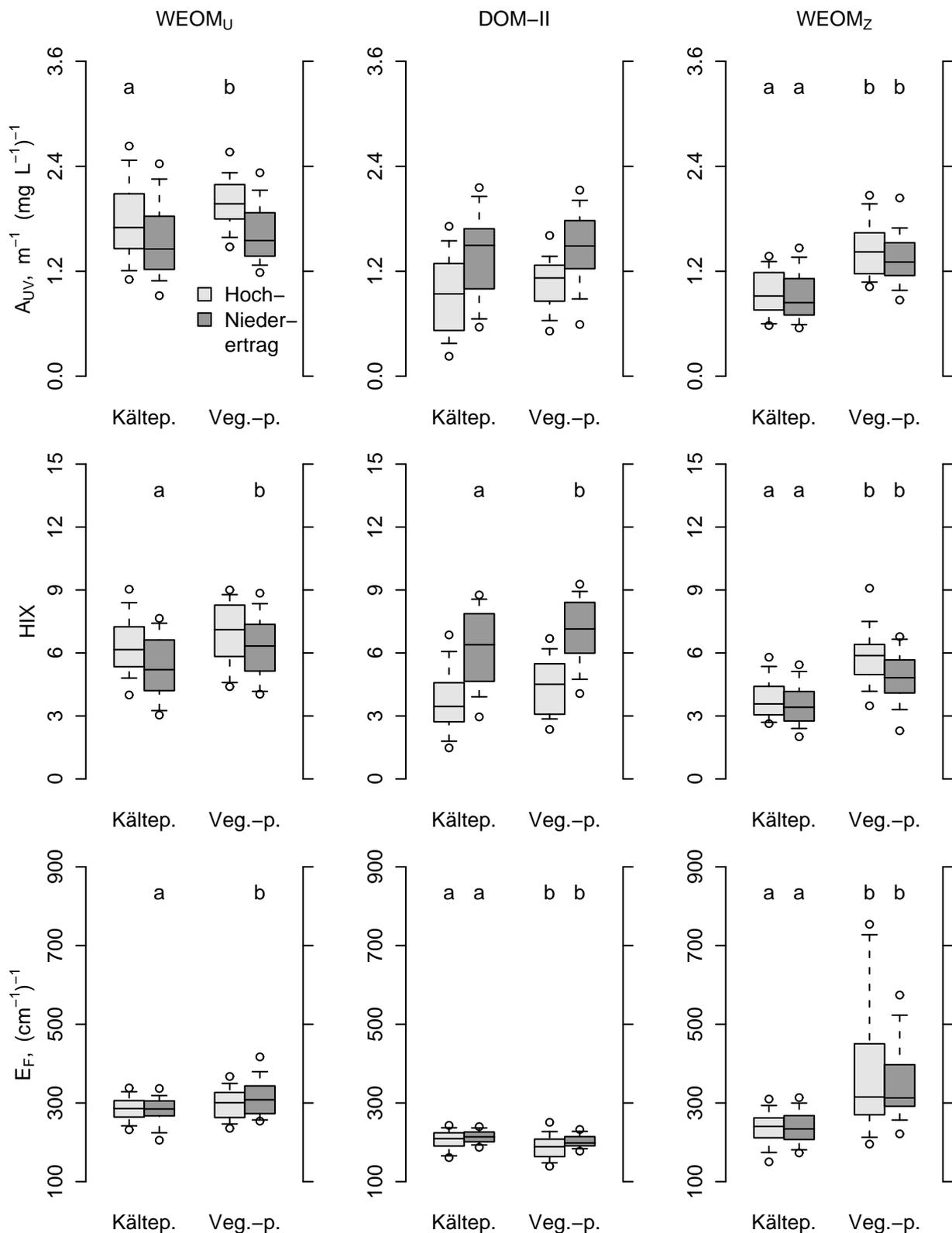


Abbildung 19: Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> der Hoch- und Niederertragsflächen von November 1999 bis März 2000 (Kältep.) und von Mai bis September 2000 (Veg.-p.). a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den genannten Zeiträumen,  $p < 0,05$ ,  $n = 48$  (Kältep.),  $n = 39$  (Veg.-p.).

die Hoch- bzw. Niederertragsflächen hinsichtlich ihrer Porenspektren jeweils ähneln. Erstere zeigen einen höheren Mittelporenanteil und einen geringeren Feinporenanteil als letztere (siehe auch Abbildung 5, S. 24).

Auf den Hohertragsflächen zeigt nur die Aromatizität  $A_{UV}$  von  $WEOM_U$  zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringere Werte als zwischen Mai und September 2000. Gegenüber dem Zeitraum von November 1999 bis März 2000 weist  $WEOM_U$  der Niederertragsflächen in der Zeit von Mai bis September 2000 den höheren WEOC-Gehalt, den höheren Humifizierungsindex und die höhere Fluoreszenz-Effizienz auf.

Die Hohertragsflächen zeigen zwischen November 1999 und März 2000 signifikant höhere, die Niederertragsflächen signifikant geringere DOC-Gehalte von DOM-II als zwischen Mai und September 2000. Aromatizität und Humifizierungsindex von DOM-II zeigen nur auf den Niederertragsflächen zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringere Werte als zwischen Mai und September 2000. Die Fluoreszenz-Effizienz ist zwischen November 1999 und März 2000 signifikant höher als zwischen Mai und September 2000.

Der DOC-Gehalt von  $WEOM_Z$  ist zwischen November 1999 und März 2000 signifikant höher als zwischen Mai und September 2000. Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenzintensität  $E_F$  von  $WEOM_Z$  zeigen zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringere Werte als zwischen Mai und September 2000. Das Substratpotenzial  $B$  ist nur im Niederertrag zwischen November 1999 und März 2000 signifikant geringer als zwischen Mai und September 2000.

#### 5.4.12. Saisonalität von $WEOM_U$ DOM-II und $WEOM_Z$

Aus den Methoden zur Gewinnung von DOM, die bei den in Tabelle 6 aufgeführten Arbeiten angewandt wurden, kann geschlossen werden, daß, außer in den Arbeiten von SCOTT et al. (1998) und KAWAGASHI et al. (2003), das untersuchte DOM weitgehend dem DOM der Grobporen entspricht. Hinsichtlich der Menge wie auch der Qualität zeigt  $WEOM_Z$  im Vergleich zu  $WEOM_U$  und DOM-II die deutlichsten Unterschiede zwischen der Kälteperiode 1999 und der nachfolgenden Vegetationsperiode. Der Umsetzungsgrad von  $WEOM_Z$  ist während der Kälteperiode geringer, der WEOC-Gehalt von  $WEOM_Z$  höher als während der nachfolgenden Vegetationsperiode. KAWAGASHI et al. (2003) führen aus, daß die von ihnen beprobte Bodenlösung vornehmlich kapillar gebundenes Wasser enthält, das längere Retentionszeiten im Boden verbringt als Wasser, das sich gravitativ durch den Boden bewegen kann. Nach ZSOLNAY (1996, 2003) ist DOM in den Feinporen dem mikrobiellen Umsatz weitgehend entzogen. Beides kann dazu führen, daß sich gegenüber  $WEOM_U$  witterungs- oder bewirtschaftungsbedingte Ereignisse auf DOM-II bzw.  $WEOM_Z$  abgeschwächt oder zeitverzögert auswirken, so daß der zeitliche Verlauf der DOC-Gehaltes von DOM-II und  $WEOM_Z$  erheblich von dem des  $WEOM_U$  unterscheidet. Die

Differenzierung des zeitlichen Verlaufs des DOC-Gehaltes von DOM-II nach dem Ertragspotenzial ist dabei vermutlich auf den unterschiedlichen Volumenanteil der Mittelporen zurückzuführen.

## 5.5. Ergebnisse zur räumlichen Variabilität von WEOM

### 5.5.1. Menge und Qualität von WEOM der Rasterbeprobungen

Die Ergebnisse zur Menge und zur Qualität von WEOM der im November 1999 sowie im April 2000 durchgeführten Rasterbeprobungen im Ökologischen Anbau sind in Abbildung 20 zusammengefaßt. Einzelergebnisse enthält Tabelle 25 im Anhang.

Der WEOC-Gehalt, die Aromatizität  $A_{UV}$  und der Humifizierungsindex HIX zeigen bei der Beprobung des gesamten Rasters im November 1999 signifikant höhere Werte, die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  und das Substratpotenzial B signifikant geringere Werte als bei der Beprobung im April 2000. Dies gilt auch auf der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche und, außer für das Substratpotenzial B, auf der ehemaligen Grünlandfläche.

Gegenüber der ehemaligen Grünlandfläche weist die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche bei beiden Beprobungen die signifikant geringeren WEOC-Gehalte und den signifikant geringeren Humifizierungsindex HIX auf. Nur bei der Beprobung im April 2000 zeigen die Aromatizität  $A_{UV}$  für die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche signifikant geringere Werte, die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  signifikant höhere Werte als für die vor 1992 als Grünland genutzte Fläche. Das Substratpotenzial von WEOM der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche ist nur bei der ersten Beprobung signifikant geringer als von WEOM der ehemaligen Grünlandfläche.

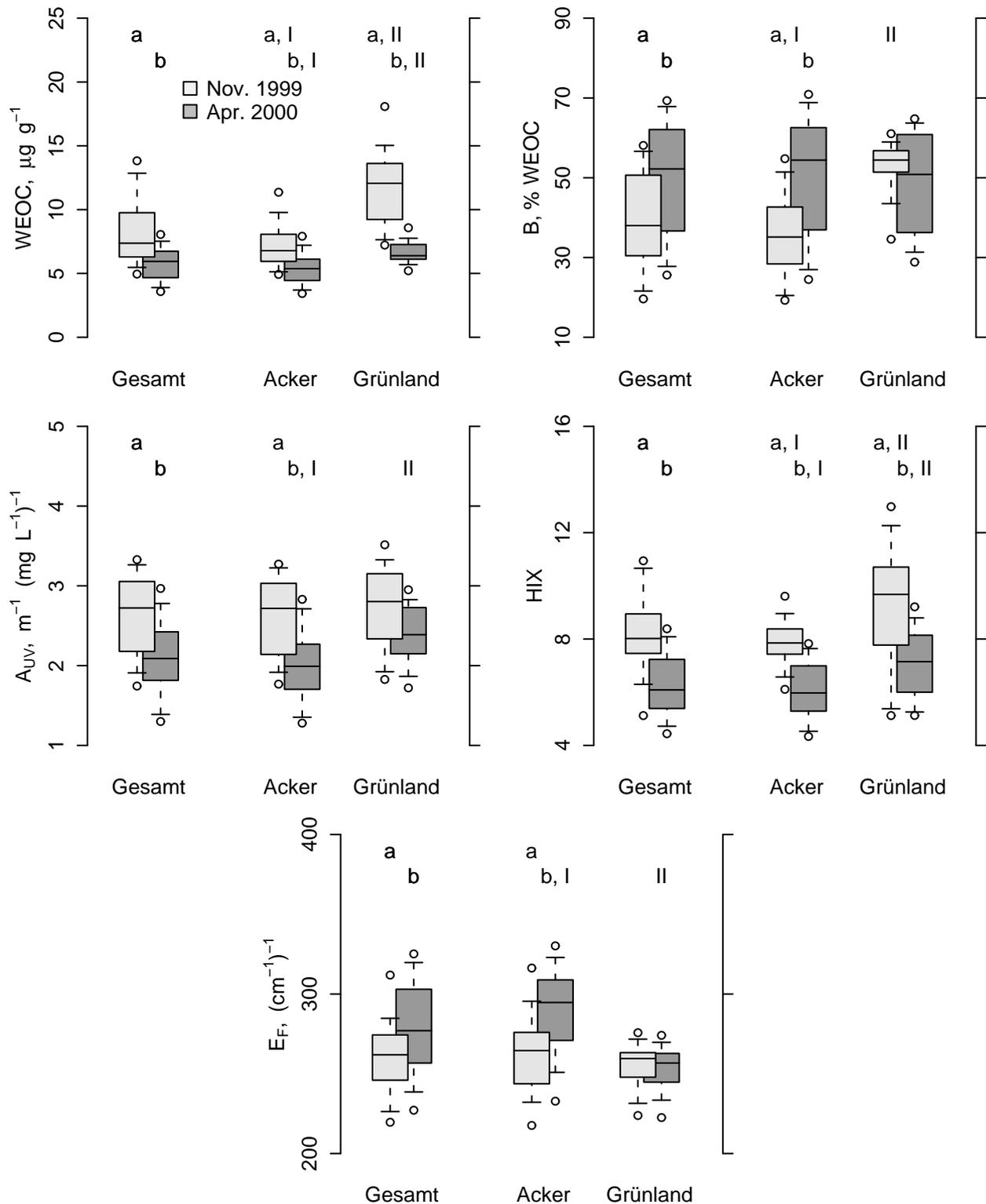


Abbildung 20: WEOC-Gehalt, Substratpotenzial B, Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  von WEOM der Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus (Gesamt, 55 Punkte), der vor 1992 als Acker (Acker, 39 Punkte) bzw. als Grünland (Grünland, 16 Punkte) genutzten Teilflächen im November 1999 und im April 2000. a, b: Im gepaarten Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Beprobungen; I, II im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Teilflächen,  $p \leq 0,05$ .

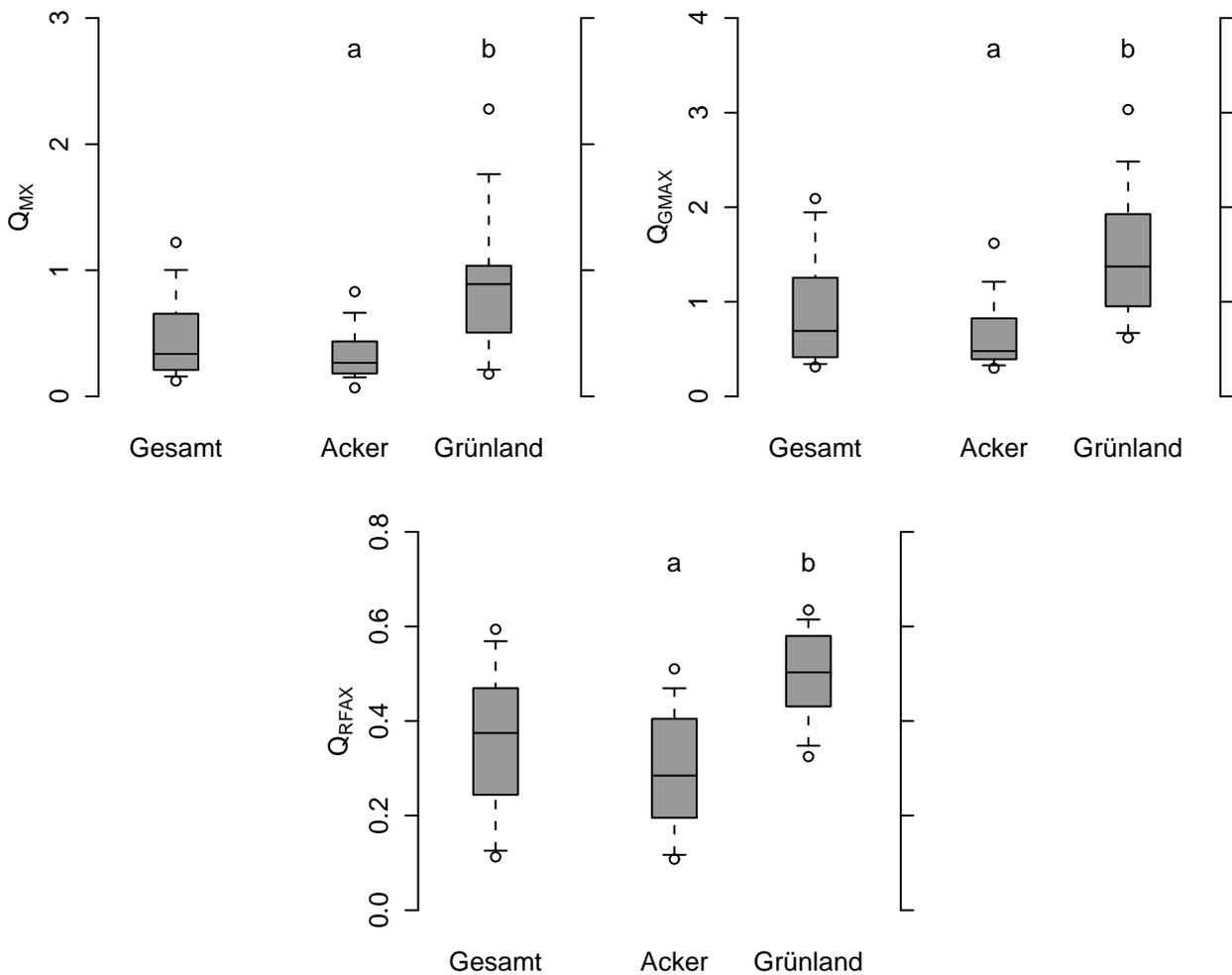


Abbildung 21: Verhältnisse  $Q_{MX}$ ,  $Q_{GMAX}$  und  $Q_{RFAX}$  von WEOM der Rasterbeprobung des gesamten Ökologischen Anbaus (Gesamt, 55 Punkte), der vor 1992 als Acker (Acker, 39 Punkte) bzw. als Grünland (Grünland, 16 Punkte) genutzten Teilflächen im April 2000. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen den Teilflächen,  $p \leq 0,05$ .

Die Monosaccharide Galactose, Mannose, Rhamnose und Fucose können auf mikrobiellen, Arabinose und Xylose auf pflanzlichen Ursprung zurückgeführt werden (CHESHIRE, 1977). Massenverhältnisse der genannten Monosaccharide können daher als Maß für die Veränderung organischen Materiales durch mikrobielle Stoffwechselaktivität verwandt werden. Je größer die in Abbildung 21 dargestellten Massenverhältnisse  $Q_{MX}$ ,  $Q_{GMAX}$  und  $Q_{RFAX}$  sind, desto eher sind die Monosaccharide mikrobiellen, je kleiner, desto eher pflanzlichen Ursprungs (AMELUNG et al., 1996; GUGGENBERGER et al., 1994; GUGGENBERGER & ZECH, 1993; HU et al., 1995 a; HU et al., 1995 b; HU et al., 1997; MURAYAMA, 1984; ROSENBERG; 1999; ZECH et al., 1993):

$$Q_{MX} = \frac{Mnn}{Xyl} \quad \text{Gleichung 12}$$

$$Q_{GMAX} = \frac{Gac + Mnn}{Ara + Xyl} \quad \text{Gleichung 13}$$

$$Q_{RFAX} = \frac{Rhm + Fuc}{Ara + Xyl} \quad \text{Gleichung 14}$$

Mnn Mannosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Gac Galactosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Rhm Rhamnosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Xyl Xylosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Ara Arabinosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Fuc Fucosegehalt, [ng g<sup>-1</sup>]

Die Massenverhältnisse  $Q_{MX}$ ,  $Q_{GMAX}$  und  $Q_{RFAX}$  zeigen übereinstimmend für die vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche des Schlages die statistisch signifikant höheren Werte an als für die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche (Abbildung 21).

### 5.5.2. Einfluß unterschiedlicher Nutzung auf die DOM-Freisetzung

Für das Jahr 1991, d. h. für die Zeit unmittelbar vor dem Umbruch der ehemaligen Grünlandfläche im Jahr 1992, geben SINOWSKI et al. (1995 b) für diese  $C_{org.}$ -Gehalte im Oberboden über 4 % an, für die bereits vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche zwischen 1,5 % und 2 %. In einer für diese Arbeit im April 2000 durchgeführten stichprobenartigen Messung des  $C_{org.}$ -Gehaltes wurde für die ehemalige Grünlandfläche ein  $C_{org.}$ -Gehalt von 2,4 %, für die vor 1992 als Acker genutzte Fläche ein  $C_{org.}$ -Gehalt von 1,4 % festgestellt. DELUCA & KEENEY (1993) und HAYNES (2000) zufolge führt die ackerbauliche Nutzung von Böden zum Humusabbau. BALESIDENT et al. (2000) führen dies unter anderem darauf zurück, daß durch regelmäßige Bodenbearbeitung Ernterückstände in den Boden gelangen und das Gefüge des Bodens zerstört wird. Es ist daher davon auszugehen, daß seit dem Umbruch der Grünlandfläche dort im  $A_p$ -Horizont der Humus in beträchtlichem Maße abgebaut wurde.

WEOM der ehemaligen Grünlandfläche weist einen höheren Umsetzungsgrad auf als WEOM der vor 1992 als Acker genutzten Fläche (Abbildung 22) und kann daher auch zu einem höheren Anteil humusbürtiges organisches Material enthalten, wie es bei verstärktem Humusabbau zu erwarten wäre. Allerdings kann der höhere Umsetzungsgrad auch darauf beruhen, daß der  $C_{org.}$ -Gehalt der ehemaligen Grünlandfläche noch immer höher ist als der der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche. Humusaufbau wie Humusabbau sind eine Folge mikrobieller Umsetzungen organischer Substanz im Boden. Vor diesem Hintergrund weisen die höheren Werte für die Quotienten  $Q_{MX}$ ,  $Q_{GMAX}$  und  $Q_{RFAX}$  darauf hin, das WEOM der ehemaligen Grünlandfläche in größerem Maße mikrobieller Umsetzung unterlegen hat. Diese kann während der aktuellen Freisetzung oder im Zuge der Prozesse, die in früherer Zeit zum Aufbau des Humus' geführt haben, stattgefunden haben. Die geringeren Werte für die genannten Quotienten der vor 1992 als Acker genutz-

ten Teilfläche zeigen dagegen an, daß WEOM hier in größerem Maß pflanzlichen Ursprungs ist. Wahrscheinlich ist daher, daß der Einfluß der einzelnen DOM-Quellen auf WEOM der beiden Teilflächen des Ökologischen Anbaus unterschiedlich ist.

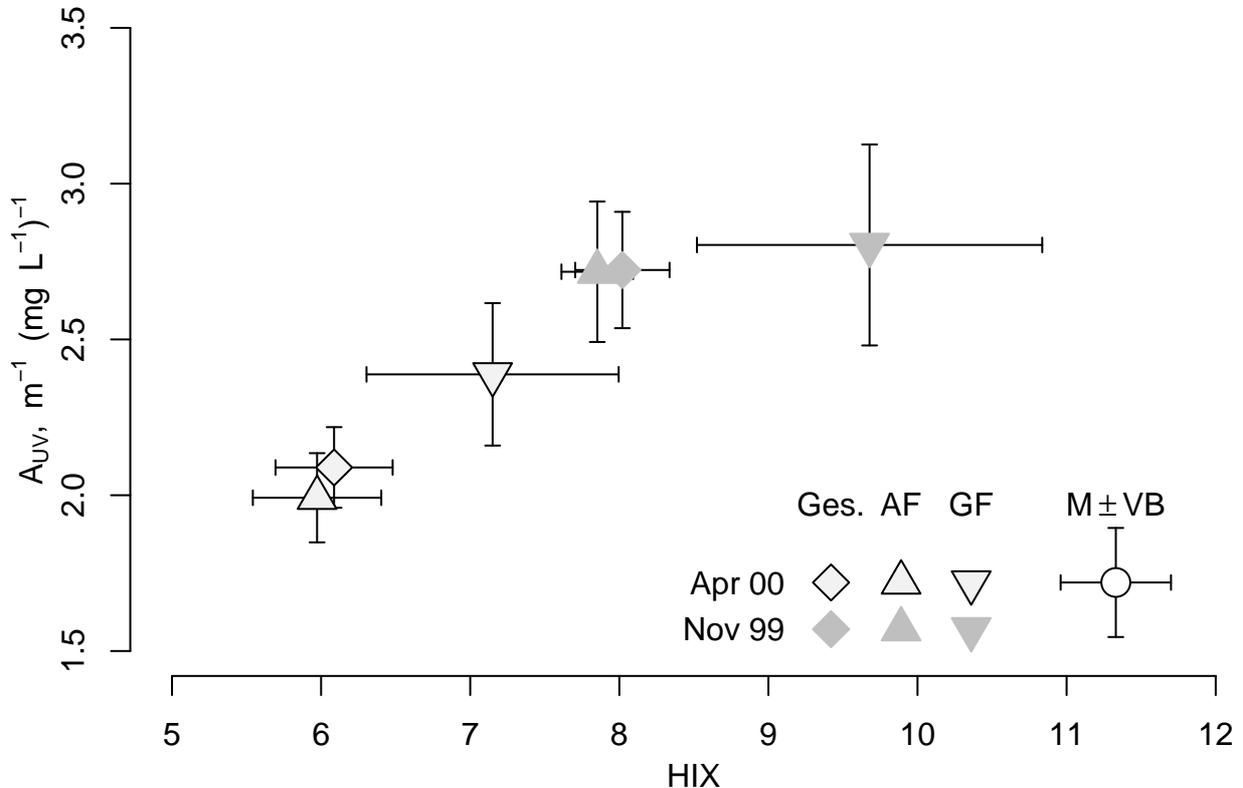


Abbildung 22: Umsetzungsgrad von WEOM der Rasterbeprobungen des gesamten Ökologischen Anbaus (Ges.) und der vor 1992 als Acker (AF) bzw. als Grünland (GF) genutzten Teilflächen im November 1999 (Nov. 99) und im April 2000 (Apr. 00), dargestellt durch den Humifizierungsindex HIX (Abszisse) und die Aromatizität  $A_{UV}$  (Ordinate). Der Umsetzungsgrad ist desto größer, je größer die Distanz zum Koordinatenursprung ist. M: Median; VB: 95 %-Vertrauensbereich des Medians.

### 5.5.3. Zeitliche Aspekte der Rasterbeprobungen

Bei den Beprobungen zur räumlichen Variabilität von DOM wurde der  $A_p$ -Horizont im ökologischen Anbau nur in 0 – 10 cm Tiefe erfaßt. Es ist davon auszugehen, daß während des im Oktober 1999 im Ökologischen Anbau durchgeführten Umbruchs ein Teil der Wurzelmasse der eingearbeiteten Pflanzen in diesen Bereich gelangte. Dieses Wurzelmaterial konnte auch zur stärkeren Umsetzung von DOM in 0 – 10 cm Tiefe beitragen. Aufgrund der größeren zeitlichen Nähe zum Umbruch kann davon ausgegangen werden, daß bei der Beprobung im November 1999 WEOM im stärkeren Maße durch die eingearbeitete Wurzelmasse beeinflusst wurde als im April 2000. Dafür sprechen der höhere WEOM-Gehalt, der höhere Umsetzungsgrad und das geringere Substratpotenzial von WEOM bei der November-Beprobung gegenüber der April-Beprobung.

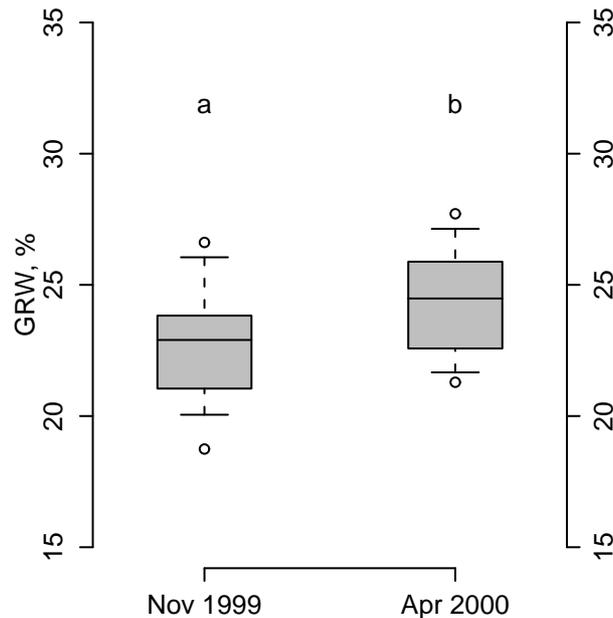


Abbildung 23: Gravimetrischer Wassergehalt GRW der Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus im November 1999 (Nov 1999) und im April 2000 (Apr 2000). a, b: Im Wilcoxon-Test signifikanter Unterschied,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 55$ .

Die Unterschiede hinsichtlich der Menge und der Qualität des WEOM der beiden Rasterbeprobungen können auch auf witterungsbedingt unterschiedliche Einflüsse zurückgeführt werden. Bei der Rasterbeprobung im April 2000 war der Wassergehalt des Bodens signifikant höher als bei der im November 1999 durchgeführten Beprobung (Abbildung 23). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, daß anaerobe Bedingungen eintreten, unter denen der Umsatz von WEOM der April-Beprobung reduziert ist und so zu dessen geringerem Umsetzungsgrad gegenüber dem WEOM der November-Beprobung führt. Daß dennoch bei der November-Beprobung der höhere WEOC-Gehalt gegenüber der April-Beprobung festgestellt wurde, kann auf deren größere zeitliche Nähe zur organischen Düngung und der damit verbundenen zusätzlichen DOM-Freisetzung zurückgeführt werden.

#### 5.5.4. Geostatistische Analyse

In Abbildung 24 sind Semivariogramme und daran angepaßte Modelle der in den beiden Rasterbeprobungen gemessenen Größen WEOC-Gehalt, Substratpotential B, SAK,  $F_{mk}$ ,  $A_{UV}$ , HIX und  $E_F$  dargestellt. Bei der Berechnung der Semivariogramme hat sich herausgestellt, die viele der gemessenen Größen einem Trend unterliegen. Zur Berechnung der Semivariogramme dieser Größen wurden, einer Empfehlung von BRUCKNER et al. (1999) folgend, die Residuen nach Anpassung eines linearen oder quadratischen Trendes verwandt. Dies ist nötig, da zur geostatistischen Analyse verwandte Daten stationär sein müssen, d. h. weder einen Trend noch Periodizität aufweisen dürfen.

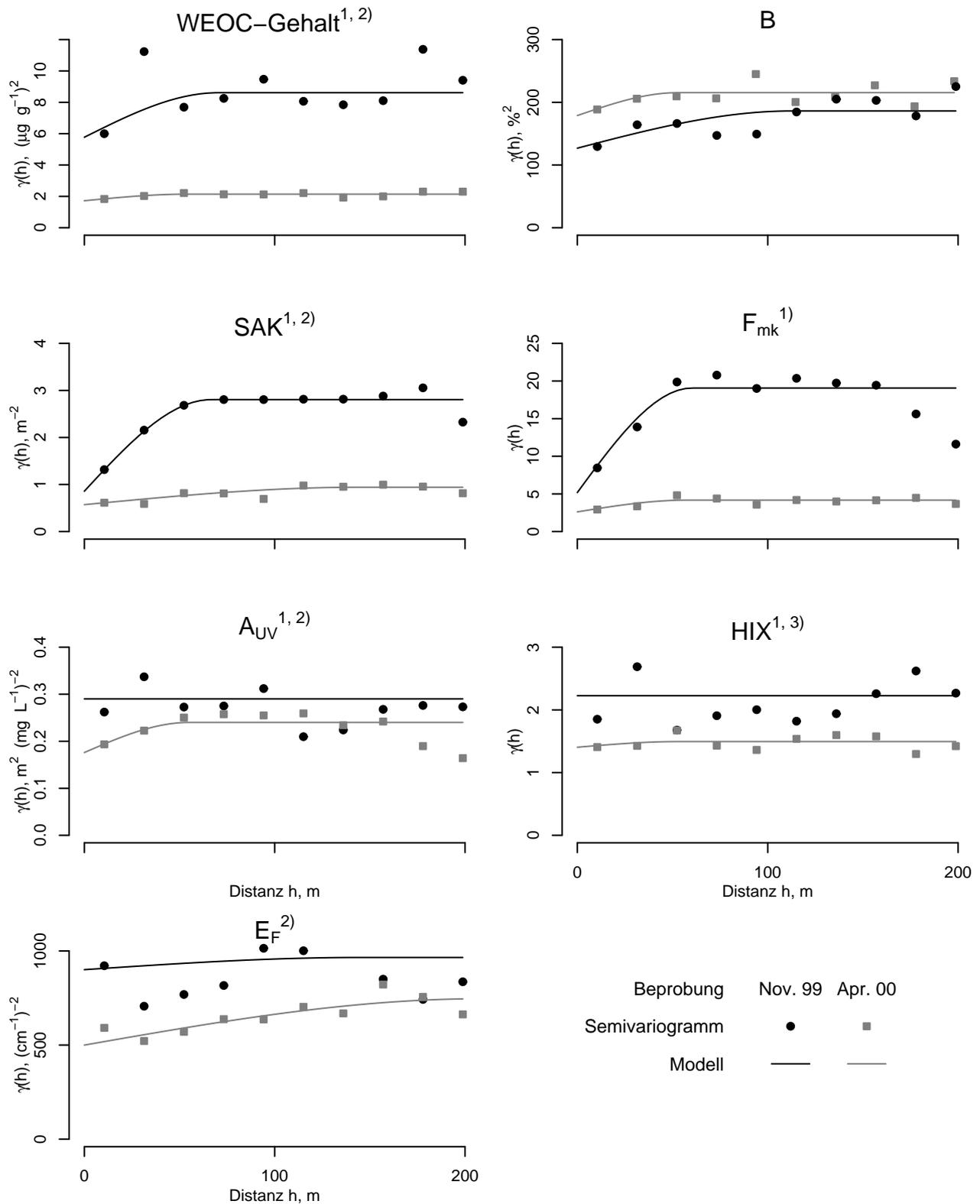


Abbildung 24: Semivariogramme und Modelle von WEOM-Parametern der Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus im November 1999 (Nov. 99) und im April 2000 (Apr. 2000).

- 1) Anpassung eines linearen Trends an Ergebnisse der Beprobung im November 1999.
- 2) Anpassung eines linearen Trends an Ergebnisse der Beprobung im April 2000.
- 3) Anpassung eines quadratischen Trends an Ergebnisse der Beprobung im April 2000.

Abbildung 24 verdeutlicht, daß die Anpassung der Semivariogrammmodelle unterschiedlich gut ist. Die breite Streuung der Semivarianz ist in vielen Fällen auch auf die geringe Anzahl von Beprobungspunkten zurückzuführen.

Tabelle 7: Nugget-Effekt  $C_0$ , Schwellwert  $C_s$ , strukturelle Variabilität  $V_s$  und Reichweite  $R$  der Semivariogrammmodelle der WEOM-Parameter bei den Rasterbeprobungen des Ökologischen Anbaus im November 1999 und im April 2000.

Größe	Einheit <sup>1)</sup>	$C_0$	$C_s$	$C_0 + C_s$	$V_s$	$R$
					%	m
Rasterbeprobung im November 1999						
WEOC <sup>2)</sup>	$\mu\text{g}^2 \text{g}^{-2}$	5,77	2,84	8,61	33	70
B	$\%^2$	127	59	186	32	112
SAK <sup>2)</sup>	$\text{m}^{-2}$	0,86	1,95	2,81	69	67
$F_{\text{mk}}$ <sup>2)</sup>		5,2	13,9	19,1	73	60
$A_{\text{UV}}$ <sup>2)</sup>	$\text{m}^{-2} (\text{mg L}^{-1})^{-2}$	0,29	0	0,29	0	130
HIX <sup>3)</sup>		2,22	0	2,22	0	86
$E_{\text{F}}$	$(\text{cm}^{-1})^{-2}$	901	65	966	7	144
Rasterbeprobung im April 2000						
WEOC <sup>2)</sup>	$\mu\text{g}^2 \text{g}^{-2}$	1,72	0,42	2,14	20	54
B	$\%^2$	179	37	216	17	53
SAK <sup>2)</sup>	$\text{m}^{-2}$	0,57	0,37	0,94	39	144
$F_{\text{mk}}$ <sup>2)</sup>		2,29	1,86	4,15	45	53
$A_{\text{UV}}$ <sup>2)</sup>	$\text{m}^{-2} (\text{mg L}^{-1})^{-2}$	0,176	0,064	0,240	7	55
HIX <sup>2)</sup>		1,32	0,17	1,49	11	46
$E_{\text{F}}$ <sup>3)</sup>	$(\text{cm}^{-1})^{-2}$	500	246	746	33	208

1) Einheit von Nugget-Effekt  $C_0$  und Schwellwert  $C_s$  des jeweiligen Parameters.

2) Berechnung des Semivariogrammes anhand der Residuen nach Anpassung eines linearen Trends.

3) Berechnung des Semivariogrammes anhand der Residuen nach Anpassung eines quadratischen Trends.

Tabelle 7 enthält die Modellparameter der in Abbildung 24 dargestellten Semivariogrammmodelle. Die strukturelle Variabilität  $V_s$  der analysierten Parameter liegt zwischen 0 % und 73 %. Gegenüber der zweiten Beprobung im April 2000 zeigen die Parameter WEOC, SAK und  $F_{\text{mk}}$ , die zur Quantifizierung von löslichem organischem Material verwandt werden können (MACCRAITH et al., 1993), und das Substratpotential B bei der ersten Beprobung im November 1999 die geringere, die Parameter  $A_{\text{UV}}$ , HIX und  $E_{\text{F}}$  die

größere strukturelle Variabilität  $V_s$ . Bei den ersten vier Parametern beruht die Verringerung von  $V_s$  vor allem auf der starken Abnahme des Schwellwertes  $C_s$ . Bei den Größen  $A_{UV}$ , HIX und  $E_F$  steht der Verringerung des Nugget-Effektes  $C_0$  die Zunahme des Schwellwertes  $C_s$  gegenüber. Außer dem Substratpotenzial  $B$  zeigen alle Parameter bei der zweiten Beprobung die geringere Semivarianz, die der Summe von Nugget-Effekt  $C_0$  und Schwellwert  $C_s$  entspricht, als bei der ersten Beprobung.

Wird die Abstufung der räumlichen Abhängigkeit nach CAMBARDELLA et al. (1994) zugrundegelegt (siehe auch Seite 9), zeigen nur die Größen SAK und  $F_{mk}$  bei beiden Beprobungen moderate räumliche Abhängigkeit, der WEOC-Gehalt und das Substratpotenzial bei der ersten Beprobung moderate, bei der zweiten Beprobung schwache räumliche Abhängigkeit. Die Aromatizität  $A_{UV}$  und der Humifizierungsindex HIX zeigen bei beiden Beprobungen schwache räumliche Abhängigkeit, und die Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  bei der ersten Beprobung schwache, bei der zweiten Beprobung moderate räumliche Abhängigkeit. Die geringe räumliche Abhängigkeit vor allem qualitativer WEOM-Parameter wie der Aromatizität  $A_{UV}$  und des Humifizierungsindex' HIX deutet darauf hin, daß diese in hohem Maß von kleinräumiger Variabilität bestimmt werden, die bei dem gegebenen Punktabstand des Rasters nicht mehr erfaßt wird (BRUCKNER et al., 1999).

CAMBARDELLA et al. (1994), die auf zwei Beprobungsflächen mehrere Bodenparameter geostatistisch auswerteten, fanden auf der einen Fläche die gegenüber der anderen stets höhere Semivarianz sowie den meist geringeren Anteil des Nugget-Effektes und führen diesen Unterschied auf Bewirtschaftungseingriffe zurück. Die erste Rasterbeprobung des Ökologischen Anbaus fand wenige Wochen nach der Mulchung des Schlages mit dem zuvor angebauten Brachefrucht aus Klee, Gras und Luzerne statt. Zwar wurde dabei die oberirdischen Pflanzenteile in 12 cm Tiefe in den Boden eingebracht, so daß deren Einfluß bei der Rasterbeprobung nicht mehr erfaßt wurde. Jedoch ist davon auszugehen, daß Wurzelbestandteile der Pflanzen in 0 – 10 cm Tiefe verblieben sind und so als DOM-Quelle Menge und Qualität des WEOM beeinflussen konnten. Aufgrund der größeren zeitlichen Nähe zur im Oktober 1999 durchgeführten Mulchung ist anzunehmen, daß der Einfluß dieser Wurzelstreu auf Menge und Qualität des WEOM bei der Rasterbeprobung im November 1999 stärker hervortritt als bei der im April 2000.

Der Ökologische Anbau umfaßt verschiedene Bodeneinheiten (GLA, 1980), die sich auch hinsichtlich der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum unterscheiden (SINOWSKI et al., 1995 a), und damit auch in ihrem Porenspektrum. Bei der Rasterbeprobung im April 2000 war der Wassergehalt des Bodens höher als bei der im November 1999 (s. a. Abbildung 23, Seite 58). Daher waren bei der Beprobung im April 2000 auch Grobporen zu einem größeren Anteil wassererfüllt als bei der Beprobung im November 1999. Dies verbessert den Austausch von organischem Material zwischen Poren unterschiedlichen Durchmessers, so daß sich mögliche Unterschiede hinsichtlich der Konzentration und der Qualität von WEOM in den Poren verringern. Der höhere Wassergehalt trägt somit zur

Verringerung des Einflusses des Porensystems auf Menge und Qualität von WEOM. Daher ist der Beitrag des Porensystems des Bodens zur strukturellen Variabilität  $V_s$  der gemessenen Größen bei der zweiten Beprobung geringer als bei der ersten.

Die Reichweiten  $R$  der einzelnen Parameter betragen zwischen 46 m und 208 m. Außer bei den Größen SAK und  $E_F$  ist  $R$  bei der zweiten Beprobung geringer als bei der ersten. Die räumliche Abhängigkeit der übrigen erhobenen Größen ist daher bei der zweiten Beprobung geringer als bei der ersten. Auf die Reichweite können sich zwischen verschiedenen Bodeneinheiten bestehende Unterschiede auswirken (CAMPARDELLA et al., 1994; WEBSTER et al., 1985). Es ist daher anzunehmen, daß der unterschiedliche  $C_{org}$ -Gehalt der beiden Teilflächen des Ökologischen Anbaus die räumliche Abhängigkeit der erhobenen WEOM-Parameter beeinflusst hat.

### 5.5.5. Kriging

Semivariogrammodelle können dazu benutzt werden, um den Wert einer Größe in einem nicht beprobten Punkt vorherzusagen (GOOVAERTS, 1998). Das Ergebnis dieses Kriging genannten Verfahrens kann insbesondere durch den Nugget-Effekt  $C_0$ , den Schwellwert  $C_s$  und die Reichweite  $R$  beeinflusst werden (GROENIGEN, 2000). Die Abbildungen 25 und 26 zeigen die durch Kriging erstellte Karten der Größen WEOC-Gehalt, SAK und  $F_{mk}$  des ökologischen Anbaus bei den im November 1999 bzw. im April 2000 durchgeführten Rasterbeprobungen.

Wie die zugrunde liegenden gemessenen Werte erwarten lassen, ist bei allen drei Größen die Differenz zwischen größtem und kleinstem Wert bei der Beprobung im November 1999 größer als bei der im April 2000, und die vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche (GF) erreicht höhere Werte als die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche (AF). WEOC-Gehalt, SAK und  $F_{mk}$  zeigen bei der Beprobung im November 1999 einen deutlichen und räumlich begrenzten Anstieg der Werte im Grenzbereich der beiden Teilflächen. Alle drei Größen zeigen auf dem gesamten Schlag ein ähnliches Muster mit ähnlich gelegenen lokalen Maxima und Minima. Bei der Beprobung im April 2000 ist der Anstieg im Grenzbereich der beiden Teilflächen breiter als bei der Beprobung im November 1999, und die Lage der lokalen Minima und Maxima der drei Größen sind unterschiedlich und weichen von der der Novemberbeprobung ab. Dies deutet daraufhin, daß sowohl der Trend zu höheren Werten im Norden des Schlages als auch die zufällige Variabilität bei der Beprobung im April 2000 stärker ins Gewicht fallen als bei der Beprobung im November 1999.

Der Vergleich der beiden Rasterbeprobungen zeigt, daß die räumliche Variabilität der Menge und der Qualität von WEOM einerseits vom Gehalt und von der Dynamik des Humus' beeinflusst werden kann, andererseits auch Faktoren mit hoher Fluktuation wie der Witterung unterliegt. Letzteres bewirkt, daß die räumliche Variabilität von WEOM unter gegebenen Bodenverhältnissen dennoch einer zeitlichen Entwicklung unterliegt. Eine ein-

zelne Rasterbeprobung kann daher immer nur einen punktuellen Zustand von WEOM zeigen, der von momentanen Einflüssen geprägt ist.

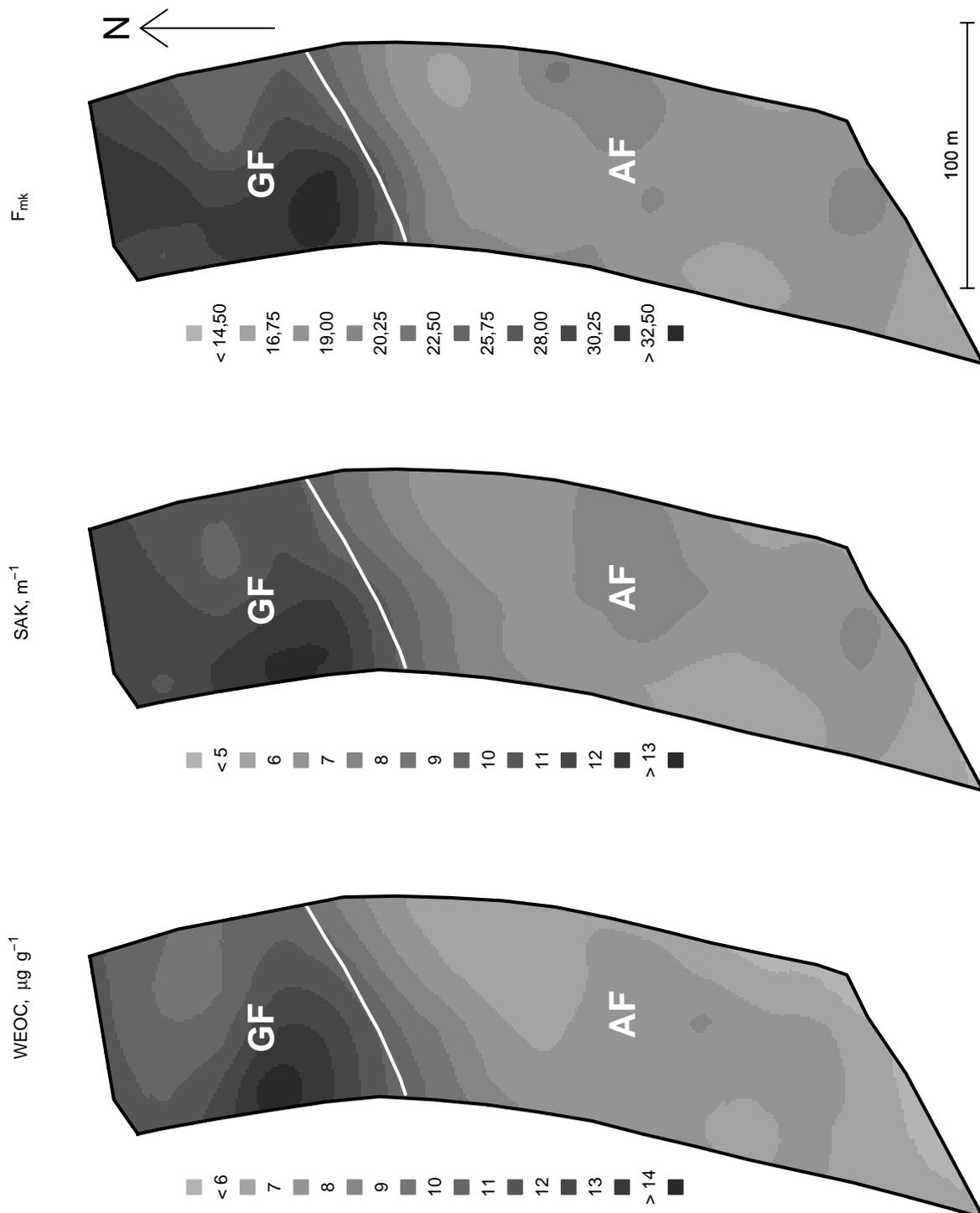


Abbildung 25: Kontourkarten des WEOC-Gehaltes, des Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK und der maximalen Fluoreszenz-Intensität  $F_{mk}$  im Ökologischen Anbau bei der Rasterbeprobung im November 1999. AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche; N: Nordrichtung.

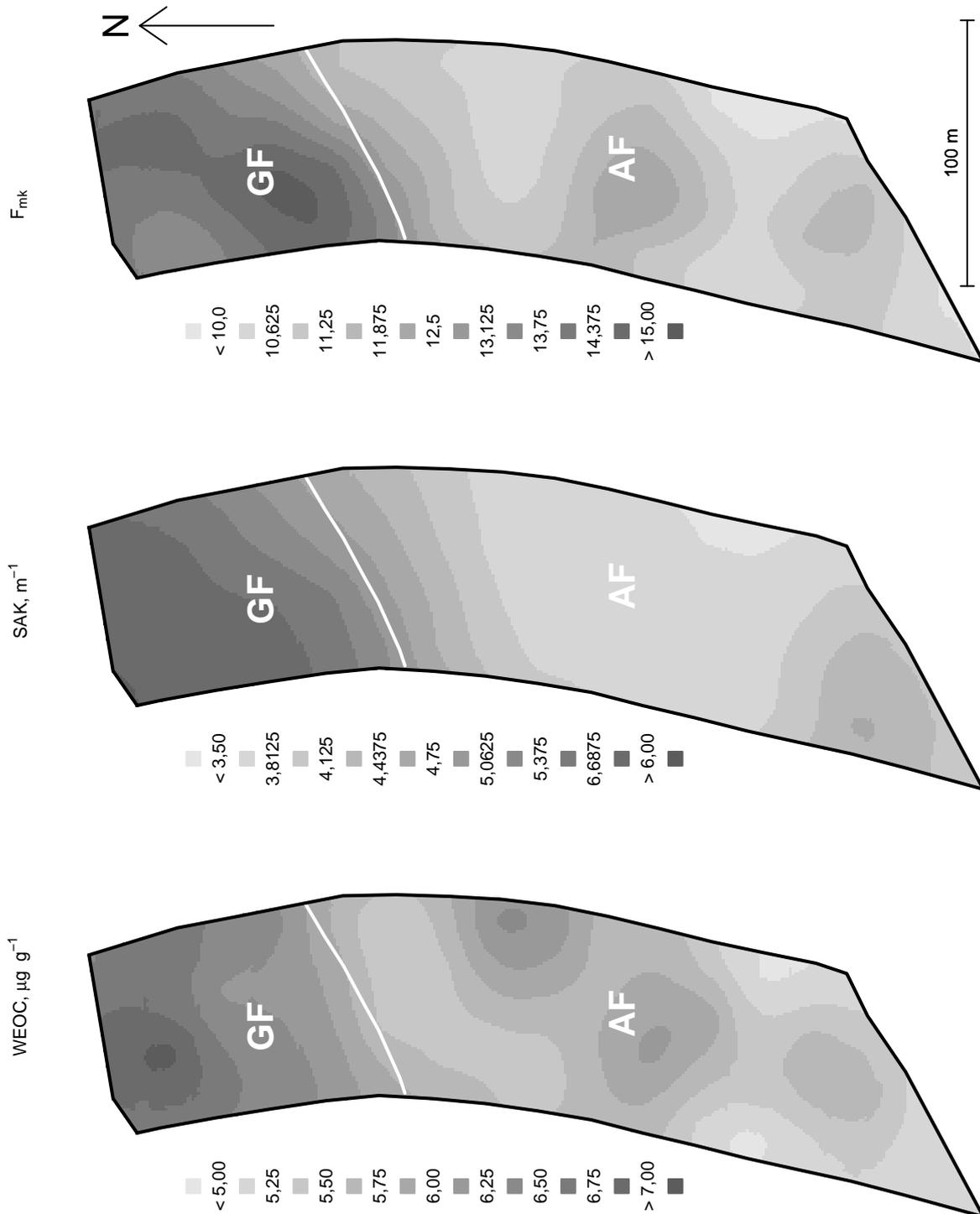


Abbildung 26: Kontourkarten des WEOC-Gehaltes, des Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK und der maximalen Fluoreszenz-Intensität  $F_{mk}$  im Ökologischen Anbau bei der Rasterbeprobung im April 2000. AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche; N: Nordrichtung.

### 5.6. Hydrolysierbare Monosaccharide des WEOM

Tabelle 8 zeigt die Gehalte und die WEOC-Anteile der einzelnen Monosaccharide sowie deren Summe (Einzelergebnisse enthält Tabelle 26 im Anhang). Der Median des Gesamt-

gehaltenes der im WEOM enthaltenen und nach Hydrolyse gemessenen Monosaccharide beträgt  $1565 \text{ ng g}^{-1}$ . Den größten mittleren Gehalt zeigt dabei die Glucose mit  $908 \text{ ng g}^{-1}$ . Der

Tabelle 8: Gehalt und WEOC-Anteil der hydrolysierbaren Monosaccharide bei der Rasterbeprobung des gesamten Ökologischen Anbaus (Gesamt), sowie der vor 1992 als Acker (Acker) bzw. als Grünland (Grünland) genutzten Teilflächen im April 2000.

Mono- saccharid	Gesamt		Acker		Grünland	
	ng g <sup>-1</sup>	% WEOC	ng g <sup>-1</sup>	% WEOC	ng g <sup>-1</sup>	% WEOC
Glucose	908 ± 128	6,57 ± 0,86	943 ± 140	7,00 ± 0,81 <sup>a</sup>	775 ± 341	4,51 ± 2,41 <sup>b</sup>
Galact.	81 ± 32	0,54 ± 0,24	66 ± 13 <sup>a</sup>	0,44 ± 0,12 <sup>a</sup>	266 ± 168 <sup>b</sup>	1,67 ± 0,83 <sup>b</sup>
Fucose	25 ± 7	0,20 ± 0,06	18 ± 8 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,06	37 ± 15 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,11
Rham.	38 ± 9	0,30 ± 0,09	29 ± 8 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,07 <sup>a</sup>	69 ± 41 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,23 <sup>b</sup>
Gal.-N	14 ± 4	0,09 ± 0,03	10 ± 2 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,02 <sup>a</sup>	35 ± 14 <sup>b</sup>	0,22 ± 0,07 <sup>b</sup>
Arabin.	83 ± 22	0,73 ± 0,17	49 ± 19 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,17 <sup>a</sup>	151 ± 39 <sup>b</sup>	0,99 ± 0,27 <sup>b</sup>
Glu.-N	27 ± 8	0,21 ± 0,05	21 ± 3 <sup>a</sup>	0,15 ± 0,03 <sup>a</sup>	69 ± 47 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,23 <sup>b</sup>
Xylose	142 ± 20	1,00 ± 0,19	148 ± 23 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,24 <sup>a</sup>	126 ± 28 <sup>a</sup>	0,81 ± 0,19 <sup>b</sup>
Mannose	44 ± 9	0,36 ± 0,05	38 ± 6 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,04 <sup>a</sup>	87 ± 30 <sup>b</sup>	0,57 ± 0,15 <sup>b</sup>
Fructose	15 ± 13	0,11 ± 0,11	15 ± 17	0,12 ± 0,16	14 ± 13	0,08 ± 0,06
Ribose	54 ± 18	0,40 ± 0,13	53 ± 20 <sup>a</sup>	0,40 ± 0,16	66 ± 34 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,22
Gal.	10 ± 5	0,07 ± 0,03	5 ± 3 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,03 <sup>a</sup>	33 ± 17 <sup>b</sup>	0,18 ± 0,07 <sup>b</sup>
Glu.	21 ± 5	0,14 ± 0,02	19 ± 4	0,13 ± 0,03	24 ± 8	0,15 ± 0,04
hyd. KH	1565 ± 232	11,47 ± 1,66	1491 ± 225	11,77 ± 1,43	1909 ± 765	11,05 ± 5,07

Angegeben sind der Median und der 95 %-Vertrauensbereich des Medians. Galact.: Galactose; Rham.: Rhamnose; Gal.-N: Galactosamin; Arabin.: Arabinose; Glu.-N: Glucosamin; Galu.: Galacturonsäure; Gluu.: Glucuronsäure; hyd. KH: hydrolysierbare Kohlenhydrate. a, b: Im Wilcoxon-Test signifikante Unterschiede zwischen Ackerfläche (39 Punkte) und ehemaliger Grünlandfläche (16 Punkte),  $p \leq 0,05$ .

Gehalt an Xylose beträgt  $142 \text{ ng g}^{-1}$ , alle weiteren Monosaccharide zeigen mittlere Gehalte unter  $100 \text{ ng g}^{-1}$ . Die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche weist zwar den geringeren Median des Gesamtgehaltes der gemessenen Monosaccharide auf als die vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche, jedoch ist der Unterschied aufgrund der breiten Streuung nicht signifikant.

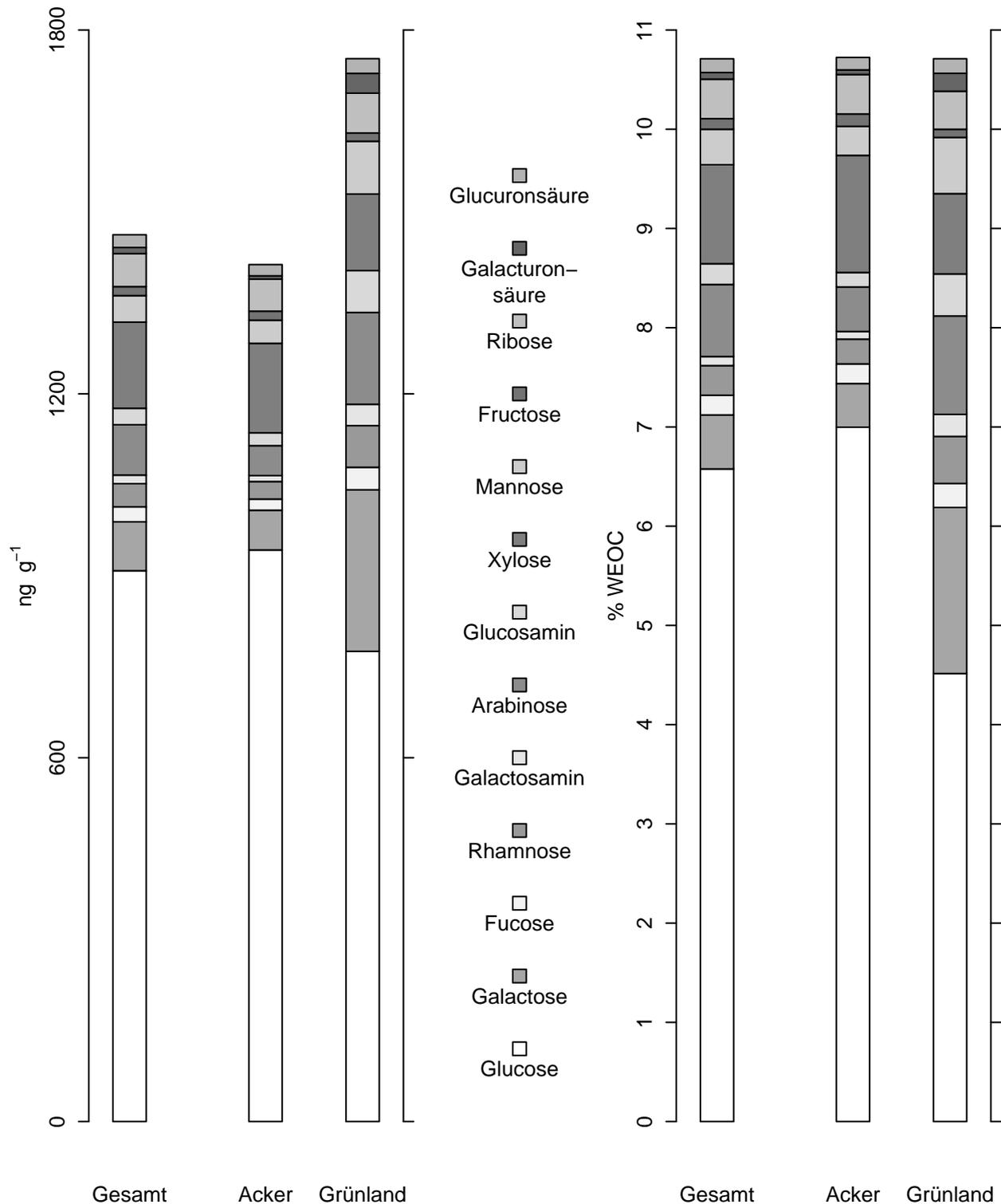


Abbildung 27: Gehalt (links) und WEOC-Anteil (rechts) der hydrolysierbaren Monosaccharide von WEOM des gesamten Ökologischen Anbaus (Gesamt, 55 Punkte), der vor 1992 als Acker (Acker, 39 Punkte) bzw. als Grünland (Grünland, 16 Punkte) genutzten Teilflächen bei der Rasterbeprobung im April 2000.

Wie Abbildung 27 zeigt, ist auch die Summe der Mediane der einzelnen Monosaccharide

auf der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche geringer als auf der vor 1992 als Grünland genutzten Teilfläche. Die Gehalte von Glucose, Xylose, Fructose und Glucuronsäure unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich der beiden Teilflächen, alle übrigen Monosaccharide weisen auf der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche die höheren Gehalte auf als auf der vor 1992 als Grünland genutzten Teilfläche.

Der Anteil aller bestimmten Monosaccharide am WEOC beträgt im Mittel 11,46 %. Mit einem Anteil von 6,57 % ist Glucose dabei das häufigste Monosaccharid. Galactose, Arabinose und Xylose zeigen noch einen Anteil von über 0,5 % am WEOC, die anderen Monosaccharide liegen darunter. Wie auch Abbildung 27 (unten) zeigt, unterscheiden sich die vor 1992 als Acker bzw. als Grünland genutzten Teilflächen nicht hinsichtlich des WEOC-Anteils aller gemessenen Monosaccharide, jedoch hinsichtlich des WEOC-Anteils einzelner der gemessenen Monosaccharide. Dabei ist der WEOC-Anteil von Glucose und Xylose auf der vor 1992 als Acker genutzten Teilfläche statistisch signifikant höher als auf der vor 1992 als Grünland genutzten Teilfläche, der von Galactose, Mannose und anderen Monosacchariden statistisch signifikant geringer.

Die molekulare Struktur der Kohlenhydrate und ihrer Monomere, der Monosaccharide, enthält so gut wie keine Mehrfachbindungen mit  $\pi$ -Elektronen. Bei der Charakterisierung von DOM durch UV-Absorption und Fluoreszenz wird diese Stoffgruppe daher nicht erfaßt. Die Bestimmung der Monosaccharide ist daher eine wertvolle Ergänzung zur Charakterisierung des DOM durch UV- und Fluoreszenz-Spektroskopie, da sie zusätzliche Information über Ursprung (siehe Seite 55) und Zusammensetzung des gelösten organischen Materiales liefert.

DELUCA & KEENEY (1993) bestimmten einen DOC-Anteil des Hexosen-C zwischen 8 % und 34 %, aus den Daten von PASCUAL et al. (2000) ergibt sich ein Anteil des Hexosen-C am DOC zwischen 20 % und 40 %. Beide bestimmten den Anteil des Hexosen-C nach BRINK et al. (1960). Sowohl absolut als auch auf den WEOC bezogen ist Glucose das häufigste Monosaccharid. Auch TRAVNIK et al. (1995) fanden nach der Hydrolyse als häufigstes Monosaccharid im DOM Glucose. KOIVULA & HÄNNINEN (2001) fanden bei der Analyse von Huminstoffen in unterschiedlichen Humifizierungsstadien in den meisten Fällen ebenfalls als häufigstes Monosaccharid Glucose.

GUGGENBERGER & ZECH (1994) fanden im DOM den höheren Anteil pflanzenbürtiger Pentosen gegenüber der organischen Festsubstanz und führen dies auf die Freisetzung von Produkten des Lignocellulose-Abbaus zurück. Auch YAVITT & FAHEY (1986) führen in der Bodenlösung enthaltene Monosaccharide auf den Lignocellulose-Abbau zurück. HU et al. (1995 b) konnten zeigen, daß der Kohlenhydratgehalt eines Bodens zurückging, dessen Durchwurzelung sie verhinderten. Wurzeln sind daher eine bedeutende Quelle für Kohlenhydrate im Boden, mithin auch in der Bodenlösung. Diese können dabei sowohl vom Abbau der Wurzelstreu als auch aus Wurzelexsudaten herrühren.

KALBITZ et al. (2003 a) fanden in DOM, das zu einem hohen Grade mikrobiell abbaubar war, einen höheren Kohlenhydrat-Anteil als in DOM mit geringerem Substratpotential. In dieser Arbeit zeigen außer der mengen- wie anteilmäßig unbedeutenden Glucuronsäure weder die einzelnen gemessenen Monosaccharide noch ihre Summe eine signifikante Korrelation mit dem Substratpotenzial B (Tabelle 9). OGAWA et al. (2001) konnten zeigen, daß durch mikrobiellen Abbau von Glucose und Glutamat im DOM refraktäres gelöstes

Tabelle 9: Rangkorrelationen des Gehaltes der Monosaccharide mit dem Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK, der maximalen Fluoreszenz-Intensität  $F_{mk}$ , dem Humifizierungsindex HIX, dem Substratpotenzial B und dem mikrobiell verfügbaren Anteil BDOC von WEOM des Ökologischen Anbaus bei der Rasterbeprobung im April 2000,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 55$ .

Monosaccharid	SAK	$F_{mk}$	HIX	B	BDOC
Glucose	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Galact.	0,497	0,402	n. s.	n. s.	n. s.
Fucose	0,343	0,373	0,283	n. s.	n. s.
Rham.	0,464	0,435	n. s.	n. s.	n. s.
Gal.-N	0,731	0,617	n. s.	n. s.	n. s.
Arabin.	0,437	0,393	n. s.	n. s.	n. s.
Glu.-N	0,696	0,574	n. s.	n. s.	n. s.
Xylose	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Mannose	0,387	0,381	n. s.	n. s.	0,39
Fructose	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Ribose	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Gal.	0,59	0,387	0,297	n. s.	n. s.
Glu.	n. s.	n. s.	n. s.	0,288	0,367
Gesamt	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

Galact.: Galactose; Rham.: Rhamnose; Gal.-N: Galactosamin; Arabin.: Arabinose; Glu.-N: Glucosamin; Galu.: Galacturonsäure; Glu.: Glucuronsäure; Gesamt: Summe der aufgezählten Monosaccharide; n. s.: nicht signifikant.

organisches Material entsteht, das seinerseits 10 – 15 % Aminosäuren und Glucose enthielt. Dies deutet darauf hin, daß Kohlenhydrate dem mikrobiellen Abbau durch Anbindung an stabile DOM-Komponenten entzogen werden können (GUGGENBERGER et al., 1994). Kohlenhydrate tragen daher nicht im vollen Umfang zum Substratpotenzial von DOM bzw. von WEOM bei. SOLLINS et al. (1996) weisen darauf hin, daß viele Mikroorganismen verschiedene Polysaccharide an ihre unmittelbare Umgebung absondern. Mikrobielle

Stoffwechselaktivität führt daher nicht nur zum Abbau von Kohlenhydraten, sie kann auch zu deren Bildung beitragen. So konnten auch TRAVNIK et al. (1995) im Verlauf der Inkubation von DOM keine signifikanten Änderungen von Polysacchariden feststellen.

Die Inkorporierung von Kohlenhydraten in stark umgesetzte organische Substanz durch Mikroorganismen kann zur Folge haben, daß Kohlenhydrate auch am Aufbau makromolekularer Strukturen beteiligt sind, die außerdem auch aromatische Strukturen enthalten können. Zwischen dem spektralen Absorptionskoeffizienten SAK und Gehalt einiger Monosaccharide, jedoch nicht der Glucose, bestehen Rangkorrelationen mit Koeffizienten zwischen 0,34 und 0,73 (Tabelle 9). Dies läßt darauf schließen, daß die Häufigkeit von Monosacchariden mit der aromatischer Molekülbestandteile zunimmt. Daß keine Korrelation mit dem Humifizierungsindex vorliegt, deutet an, daß dies von der Größe wie von der Komplexität der aromatischen Bestandteile unabhängig ist.

### 5.7. Substratpotenzial von DOM

Bei den verschiedenen Beprobungen dieser Arbeit wurden im Mittel Werte zwischen 36 % und 52 % für das Substratpotenzial von WEOM, bzw. WEOM<sub>U</sub> und WEOM<sub>Z</sub> bestimmt. Die Glucosekontrollen zeigten ein mittleres Substratpotenzial von 87 %. KALBITZ et al. (2003 a) fanden für DOM aus A-Horizonten ackerbaulich genutzter Böden mit Werten zwischen 17 und 32 % ein gegenüber dieser Arbeit geringeres Substratpotenzial.

Wie das Substratpotenzial von WEOM bzw. WEOM<sub>U</sub> und WEOM<sub>Z</sub> zeigt, enthalten diese Fraktionen zu einem erheblichen Anteil Bestandteile, die mikrobiellem Abbau in weit geringerem Maße unterliegen als Glucose. Nach ALMENDROS & DORADO (1999) wird die Abbauresistenz von Huminsäuren weniger von einem einzelnen Strukturmerkmal, wie Aromatizität, sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen o. ä., als vielmehr vom komplexen chaotischen Zusammenspiel der Strukturkomponenten bestimmt. GRAMSS et al. (1999 c) schreiben den Huminstoffabbau von verschiedenen Mikroorganismen ausgeschiedenen oxidierenden bzw. hydrolysierenden Enzymen zu. Möglich ist daher, daß die komplexe chaotische Struktur von Huminstoffen den Zugang einzelner Komponenten zum aktiven Zentrum des Enzyms behindert und auf diese Weise die Wirksamkeit des Enzyms einschränkt. Daß dennoch auch aromatische Molekülstrukturen mikrobiellem Abbau unterliegen können, zeigt sich daran, daß infolge des Huminstoffabbaus durch unterschiedliche Organismen die Absorption von Licht vermindert wird (GRAMSS et al., 1999 c), oder an der Entfärbung huminstoffhaltiger Nährmedien (HAIDER & MARTIN, 1988). Andererseits stellten KALBITZ et al. (2003 b) in einer 90 Tage dauernden Inkubation fest, daß mit der Zeit UV-Absorption und Humifizierungsindex zunahm, und schließen daraus, daß sich im Zuge des Abbaus DOM mit komplexen und kondensierten Molekülstrukturen relativ anreichert. Der Abbau von DOM mit einem hohen Anteil aromatischer Molekülstrukturen ist demnach geringer als der Abbau anderer löslicher organischer Substrate. Es ist davon auszugehen, daß zwar aromatische DOM-Bestandteile dem Abbau unterliegen, sich jedoch

während des Abbaus anreichern oder neu bilden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, daß es neben aromatischen Bestandteilen andere Stoffgruppen im DOM gibt, die nur in geringem Maße abbaubar sind. Hierzu können beispielsweise Fette, Fettsäuren und Sterole gehören (KALBITZ et al., 2003 b).

Während MARSCHNER & KALBITZ (2003) einen negativen linearen Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,69$  zwischen Aromatizität und Substratpotenzial von DOM aus feldfrischem, luftgetrocknetem und gefrorenem Boden fanden, fanden MARSCHNER & BREDOW (2002) gar keinen Zusammenhang. KALBITZ et al. (2003 a) fanden exponentiell negative Korrelationen des Substratpotenziales von DOM mit der Aromatizität und dem Humifizierungsindex und schließen daraus, daß die Häufigkeit und der Kondensationsgrad aromatischer Strukturen die mikrobielle Verfügbarkeit von DOM limitieren können. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit konnte kein deutlicher Zusammenhang zwischen dem SAK, der Aromatizität bzw. dem Humifizierungsindex einerseits und dem Substratpotenzial andererseits von WEOM oder WEOM<sub>Z</sub> festgestellt werden. Das von KALBITZ et al. (2003 a) untersuchte DOM entstammt einem breiten Spektrum unterschiedlicher Quellen (Ackerböden, Auflagenhorizonte von Waldböden, Maisstroh u. a.), das eine breitere Variabilität hinsichtlich der genannten Parameter, mithin eine genauere Bestimmung von Zusammenhängen, ermöglicht als das in dieser Arbeit untersuchte DOM. Ähnliches kann auch für die von MARSCHNER & KALBITZ (2003) ins Feld geführten Ergebnisse angenommen werden.

## 6. Schlußfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurden die zeitliche Dynamik und die räumliche Variabilität von DOM im  $A_p$ -Horizont ackerbaulich genutzter Flächen untersucht. Die zugrunde gelegten Parameter ermöglichten die Quantifizierung von DOM, die Abschätzung des Einflusses der beiden Hauptquellen von DOM, der organischen Substanz des Bodens und der Bodenorganismen, und die Bestimmung des mikrobiellen Substratpotenziales. Somit kann anhand der Ergebnisse aufgezeigt werden, welche möglichen endogenen und exogenen Faktoren Freisetzung, Umsetzung sowie Auf- und Abbau gelöster organischer Substanz beeinflussen.

Bei den Beprobungen zur zeitlichen Dynamik von WEOM zeigten die Flächen mit dem höheren  $C_{org}$ -Gehalt tendenziell den höheren WEOC-Gehalt, die höhere Aromatizität und den höheren Humifizierungsindex. Dies ist im integrierten Anbau die Hoch-, im ökologischen Anbau die Niederertragsfläche. Von daher ist ein direkter Zusammenhang zwischen WEOM und dem Ertragspotential nicht gegeben.

Die erhobenen WEOM-Parameter WEOC-Gehalt, Substratpotenzial B, Aromatizität  $A_{UV}$ , Humifizierungsindex HIX und Fluoreszenz-Effizienz  $E_F$  weisen im Vergleich der Vegetationsperioden der Jahre 1999 und 2000 sowie der Kälteperiode dazwischen eine zeitliche Entwicklung auf. Diese verläuft in 0 - 10 cm Tiefe anders als in 10 - 20 cm Tiefe, und im Integrierten Anbau anders als im Ökologischen Anbau. Als mögliche Ursache hierfür können einerseits Veränderungen von Temperatur und Bodenwassergehalt, und damit verbunden Trocknungs-Wiederbefeuchtungs- bzw. Frost-Tau-Zyklen, andererseits die Einarbeitung von Pflanzenmaterial in den  $A_p$ -Horizonten zu unterschiedlichen Zeitpunkten und auf unterschiedliche Weise, Bodenbearbeitung und der Anbau unterschiedlicher Ackerfrüchte angesehen werden. Der konkrete Einfluß einzelner Faktoren kann dabei nicht exakt abgegrenzt werden, da diese im Feldversuch einander beeinflussen können.

Gegenüber dem nicht durchwurzelten  $A_p$ -Horizont weisen der höhere WEOC-Gehalt und der geringere Humifizierungsindex im von Silomais durchwurzelten  $A_p$ -Horizont auf den höheren organismenbürtigen Anteil von WEOM hin. Der Eintrag von Wurzelexsudaten und Wurzelstreu kann daher als zusätzliche Quelle von WEOM angesehen werden.

Während bei der Extraktion von WEOM durch die Zugabe des Extraktionsmittels die Desorption organischer Substanz begünstigt wird, bleibt bei der Zentrifugation das Gleichgewicht zwischen der festen und der gelösten organischen Substanz erhalten. Somit enthält WEOM auch organisches Material, das sich unter in-situ-Bedingungen nicht in Lösung befindet, während DOM-II tatsächlich das in situ gelöste organische Material der Mittelporen enthält. Die DOM-Gewinnung durch Zentrifugation ermöglicht daher den besseren Einblick in die in situ ablaufenden DOM-relevanten Prozesse. Durch die Wahl von Dauer und Zentrifugalkraft können dabei zudem DOM-Fraktionen porenspezifisch

gegeneinander abgegrenzt werden.

Die DOC-Konzentration und die Qualität von DOM-II spiegeln die in den Mittelporen vorherrschenden in-situ Bedingungen wieder, zumal diese Fraktion als einzige im Gleichgewicht mit dem Boden gewonnen wurde. Höherer DOC-Gehalt, höhere Aromatizität  $A_{UV}$  und höhere Humifizierungsindices HIX von DOM-II der Hohertragsflächen zeigen dabei den deutlichsten Zusammenhang von DOM-II mit dem Ertragspotenzial.

WEOM<sub>U</sub>, DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> zeigen Unterschiede hinsichtlich des jahreszeitlichen Verlaufes der DOC-Konzentration. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß Transport und Umsetzung von DOM mit abnehmendem Porenradius durch Kapillarkräfte und durch Okklusion stärker verzögert oder behindert werden.

Im Ökologischen Anbau führen der anhaltende Humusabbau und der höhere  $C_{org}$ -Gehalt auf der vor 1992 als Grünland bewirtschafteten Teilfläche zur Freisetzung der größeren WEOM-Menge mit dem höheren Humusbürtigen Anteil. WEOM dieser Teilfläche enthält vermehrt Monosaccharide mikrobiellen Ursprungs als die vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche. Für WEOM der ehemaligen Grünlandfläche kann daher stärkere mikrobielle Umsetzung angenommen werden.

Die Parameter WEOC, SAK und  $F_{mk}$ , die als Quantifizierung von WEOM interpretiert werden können, sowie das Substratpotenzial weisen die höhere strukturelle Variabilität  $V_s$  aus als Humifizierungsindex HIX und Aromatizität  $A_{UV}$ . Erstere unterliegen daher in stärkerem Maße dem Einfluß der räumlichen Strukturierung des Bodens. Die räumliche Variabilität, und damit auch die strukturelle Variabilität  $V_s$  einzelner Parameter, unterliegt allerdings auch einer zeitlichen Entwicklung.

Im  $A_p$ -Horizont hängt der Einfluß des organischen Solidus' wie auch der Bodenorganismen von endogenen und exogenen Faktoren ab. Räumliche Unterschiede und zeitliche Änderungen äußerer Bedingungen durch Witterung und Bewirtschaftung können den Beitrag von humus- bzw. organismenbürtigem organischem Material zu Menge und Qualität von DOM ebenso beeinflussen wie die Stoffwechselaktivität von Organismen. Mithin kann durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflußt werden, inwieweit der Humus des Bodens in aktuelle Stoffwechselprozesse einbezogen wird.

## 7. Zusammenfassung

### 7.1. Zusammenfassung

In einer Feldstudie wurde die zeitliche Dynamik und die räumliche Variabilität von gelöstem organischem Material (DOM) in  $A_p$ -Horizonten von 2 Böden unter Ackerbau untersucht. Das Ziel dieser Studie war ein besseres Verständnis der Faktoren, die Freisetzung, Umsetzung und Abbau von DOM steuern. Da DOM die verfügbarste und mobilste organische Fraktion in Böden ist, ist sein Schicksal entscheidend für Auf-, Um- und Abbauprozesse der organischen Substanz. Diese sind von grundlegender Bedeutung für alle von Mikroorganismen gesteuerten Prozesse ebenso wie für die Freisetzung von Nährstoffen. Außer der organischen Substanz als Quelle bestimmt die Porosität des Bodens, inwieweit DOM in situ verfügbar ist. Diese beiden Parameter bestimmen zugleich die Fähigkeit des  $A_p$ -Horizontes, Nährstoffe und Wasser für die Kulturpflanzen verfügbar bereitzustellen und sind daher für das Ertragspotenzial verantwortlich.

Zur Verfolgung der zeitlichen Dynamik von DOM wurden zwei Areale auf einem konventionell und zwei Areale auf einem ökologisch bewirtschafteten Schlag des Versuchsgutes des Forschungsverbundes Agrarökosystem München (FAM) bei Scheyern ausgewählt, jeweils mit dauerhaft hohem bzw. geringem Ertrag und Unterschieden im  $C_{org}$ -Gehalt und der Porosität. Die Hoch- bzw. Niederertragsareale wurden anhand von Ertragskarten mehrerer Jahre definiert.

Die Areale wurden im Zeitraum von Mai 1999 bis Dezember 2000 wöchentlich in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe zwischen den Pflanzreihen beprobt. Eine Beprobung in der Pflanzreihe erfolgte von Mai bis Oktober 1999 im Hohertragsareal des konventionellen Anbaus in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe. WEOM wurde mit 0,01-molarer  $CaCl_2$ -Lösung extrahiert.

Zusätzlich wurden von September 1999 bis Dezember 2000 die Areale zwischen den Pflanzreihen in 0 - 10 cm Tiefe wöchentlich beprobt. Diese Proben wurden der Zentrifugation unterzogen, danach wurde wie beschrieben WEOM extrahiert, um DOM der Mittelporen (2- 10  $\mu m$ ) und der Feinporen (> 2  $\mu m$ ) getrennt zu gewinnen. Es wurde gezeigt, daß bei der Zentrifugation das Lösungsgleichgewicht zwischen fester und gelöster organischer Substanz erhalten bleibt und so das in situ tatsächlich gelöste organische Material gewonnen wird. Bei der Extraktion wird durch die Zugabe zusätzlichen Volumens an Flüssigkeit die Desorption sorbierten organischen Materiales begünstigt.

Zur Erfassung der räumlichen Variabilität von DOM wurde auf dem ökologisch bewirtschafteten Feld ein Raster von 55 Beprobungspunkten mit 20 m Abstand angelegt. Etwa ein Drittel des Schlagbereiches, der 16 Punkte umfaßte, wurde bis 1992 als Grünland genutzt und danach zu Ackerland umgewandelt, während die restlichen zwei Drittel vor 1992 als Acker genutzt wurden. Das Raster wurde im November 1999 und im April 2000

beprobte WEOM wurde, wie oben beschrieben, extrahiert.

DOM und WEOM wurden als gelöster bzw. als wasserextrahierbarer organischer Kohlenstoff (DOC bzw. WEOC) quantifiziert, um Einblick in die Freisetzung organischer Substanz zu erhalten. DOM und WEOM wurden mithilfe der UV- und Fluoreszenzspektroskopie analysiert. Aus den Ergebnissen wurden die Aromatizität und der Humifizierungsindex berechnet, um DOM zu charakterisieren. Beide Parameter ermöglichen die Abschätzung, inwieweit DOM von der organischen Substanz des Bodens bzw. den Bodenorganismen beeinflusst wird. In Inkubationen wurde das Potenzial von DOM als mikrobielles Substrat bestimmt. WEOM der zweiten Rasterbeprobung wurde der Hydrolyse mit Trifluoressigsäure gefolgt von der amperometrischen Detektion verschiedener Monosaccharide unterzogen.

Hinsichtlich der zeitlichen Dynamik weisen der WEOC-Anteil und die Qualität von WEOM einen jahreszeitlichen Verlauf auf. Dies kann auf den jahreszeitlichen Witterungsverlauf oder auf Bewirtschaftung zurückgeführt werden. Die Einarbeitung von Pflanzenmaterial übte durch die Erhöhung der Freisetzung von stärker umgesetztem organischem Material einen mehrere Monate anhaltenden Einfluß auf Menge und Qualität von WEOM aus. Da das Pflanzenmaterial im konventionell und im ökologisch bewirtschafteten Schlag zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Tiefen eingearbeitet wurde, unterschied sich die zeitliche Dynamik von Menge und Qualität von WEOM zwischen beiden Schlägen und zwischen 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe. Dies zeigt eindeutig, daß Menge und Qualität von DOM durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden.

Zwischen Mai und Oktober 1999 wies WEOM aus von Mais durchwurzeltem Boden signifikant höhere WEOC-Gehalte und geringere Aromatizität und Humifizierungsindices auf als wurzelfreier Boden. Daher kann das Vorhandensein von Wurzeln den Anteil von organismenbürtigem WEOM durch Exsudation vergrößern.

Bei der Untersuchung der zeitlichen Dynamik zeigten die Areale mit dem höheren  $C_{org}$ -Gehalt in beiden Tiefenstufen die signifikant höheren Humifizierungsindices von WEOM. Auf dem konventionell bewirtschafteten Schlag ist dies das Hohertragsareal, auf dem ökologisch bewirtschafteten Schlag das Niederertragsareal. Die Aromatizität zeigt diesen Unterschied nur noch im konventionellen Anbau, der WEOC-Gehalt im konventionellen Anbau nur noch in 0 – 10 cm Tiefe.

Auf den Hohertragsflächen, die gegenüber Niederertragsflächen den größeren Volumenanteil der Mittelporen aufweisen, zeigt DOM der Mittelporen den höheren DOC-Gehalt sowie höhere Aromatizität und höhere Humifizierungsindices und läßt so einen Zusammenhang mit dem Ertragspotenzial erkennen. Die zeitliche Dynamik des DOC-Gehaltes von WEOM und DOM der Mittel- und Feinporen unterscheidet sich durch den jahreszeitlichen Verlauf. Dies kann auf Kapillarkräfte und die Okklusion von DOM zurückge-

führt werden, die Transport und Umsetzung von organischem Material verlangsamen oder unterbinden.

Die Rasterbeprobungen ergaben für die ehemalige Grünlandfläche höhere WEOC-Gehalte, höhere Aromatizität und höhere Humifizierungsindices von WEOM. Dies kann einerseits auf den dort noch immer höheren  $C_{\text{org}}$ -Gehalt, andererseits auf die Abnahme des  $C_{\text{org}}$ -Gehaltes dort zurückgeführt werden. Auf Basis des unterschiedlichen  $C_{\text{org}}$ -Gehaltes vor der Umwandlung des Graslandes in Ackerland und in einer für diese Arbeit durchgeführten Messung ist anzunehmen, daß der  $C_{\text{org}}$ -Gehalt seit der Umwandlung signifikant abgenommen hat. Höherer  $C_{\text{org}}$ -Gehalt kann zu höherer Freisetzung stark humifizierten und umgesetzten Materiales führen wie auch der stärkere Humusabbau. In Übereinstimmung damit zeigten Verhältnisse von Monosacchariden mikrobiellen und pflanzlichen Ursprungs, daß WEOM der ehemaligen Grünlandfläche im stärkeren Maße von Mikroorganismen umgesetzt worden war.

Bei der geostatistischen Analyse zeigten die WEOM-Parameter mittlere bis sehr geringe räumliche Abhängigkeit, d. h. ein hohes Maß an zufälliger Variabilität. Die Parameter WEOC-Gehalt, UV-Absorption und maximale Fluoreszenz-Intensität, die die Quantifizierung von WEOM ermöglichen, zeigten bei der ersten Rasterbeprobung gegenüber der zweiten höhere räumliche Abhängigkeit. Dies zeigt, daß, gegenüber der zweiten Beprobung, die bei der ersten Beprobung herrschenden Bedingungen, insbesondere der Wassergehalt, stärker zur räumlichen Differenzierung der WEOM-Menge beitrugen.

Der Anteil des mikrobiell verfügbaren WEOM unterschied sich in der Untersuchung der zeitlichen Dynamik weder hinsichtlich der Bewirtschaftung noch des Ertrages. Statt eines saisonalen Verlaufes trat ein langsamer anhaltender Anstieg auf. Bei der Untersuchung der räumlichen Variabilität zeigte sich nur bei der ersten Beprobung ein auf der ehemaligen Grünlandfläche signifikant höherer Anteil von mikrobiell verfügbarem WEOM. Korrelationen mit Aromatizität oder Humifizierungsindex bzw. mit dem Monosaccharidgehalt von WEOM traten nicht auf. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß Monosaccharide wie auch aromatische Bestandteile, die Absorption und Fluoreszenz hervorrufen, durch mikrobielle Aktivität laufend sowohl ab- als auch aufgebaut werden.

Diese Arbeit zeigt, daß Freisetzung und Umsetzung von gelöstem organischem Material in  $A_p$ -Horizonten ackerbaulich genutzter Böden von in situ Bedingungen und den äußeren Einflüssen, das sind einerseits Witterungsprozesse, andererseits Bewirtschaftungsmaßnahmen, abhängen. Durch letztere sind Menge und Qualität von DOM beeinflussbar. Dabei können sich kurzzeitige und langfristige Effekte auswirken. Bei zukünftigen Untersuchungen von gelöstem organischem Kohlenstoff ist der Einfluß räumlicher und zeitlicher Bedingungen bei der Beprobung zu berücksichtigen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß mithilfe von Humifizierungsindex und Aromatizität die Auswirkungen kurzfristiger Ereignisse auf die Qualität der gelösten organischen Substanz erfaßt werden

können. über längere Zeiträume hinweg bilden diese Größen den Zustand der gelösten organischen Substanz ab, der auf die Bodeneigenschaften wie Humusgehalt oder Porosität zurückgeführt werden kann.

## 7.2. Summary

In a field study, temporal dynamics and spatial variability of dissolved organic matter (DOM) in ploughing horizons of soils under agricultural use have been investigated. The aim of this study was to better understand the variability of release, turnover and degradation of DOM in time and space and controlling parameters. Because DOM is the most available and most mobil organic fraction in soils, its fate is crucial for processes of building up, processing and degrading organic material, which are fundamental for all processes in soil driven by microorganisms as well as for mobilization of nutrients. Besides the organic material as source, the soil porosity determines, to which extent DOM is available in situ. These two parameters aswell determine the ability of the ploughing horizon to provide available nutrients and water to the crop plants and, thus, are responsible for the potential yield.

To follow temporal dynamics of DOM, two sites on a conventionally managed field and two sites on an ecologically managed field of the Munich Research Assosiation for Agricultural Ecosystems (FAM) research farm near Scheyern were chosen, each with traditionally high or low yields. Yield maps of several years were used to define the areas. These areas differed by their organic matter content and by their porosity.

These sites were sampled weekly between the plant rows at 0 - 10 cm and 10 - 20 cm depth from May 1999 until December 2000. An additional area within the maize plant row of the conventional managed high yield site was sampled from May until October 1999. Water extractable organic carbon (WEOM) of these samples was extracted using a 0,01 molar  $\text{CaCl}_2$ -solution.

Additionally, these sites were sampled weekly between the plant rows at 0 - 10 cm depth from September 1999 until December 2000. These samples were subjected to centrifugation followed by extraction as described to seperate DOM of medium (2 - 10  $\mu\text{m}$ ) and small (> 2  $\mu\text{m}$ ) size pores. Centrifugation was shown to keep the balance between solid and dissolved organic material and, thus, to provide the in situ actually dissolved organic material, whereas the extraction method, by addition of further liquid volume, promotes the desorption of sorbed organic material.

To investigate the spatial variability of DOM, a grid of 55 sampling points with 20 m distance was established on the ecologically managed field. About one third of the field area, which contained 16 sampling points was used as grassland until 1992 and afterwards converted to agriculture, whereas the remaining to thirds were under agriculture also before 1992. The grid was sampled in November 1999 and in April 2000. WEOM was

extracted as mentioned above.

DOM and WEOM were quantified as dissolved organic carbon (DOC) and water extractable organic carbon (WEOC), respectively, to get insight into the release of organic material. DOM and WEOM were analysed by UV- and fluorescence spectroscopy. From the results aromaticity and humification indices were calculated to characterise DOM. Both parameters allow to estimate the influence exerted on DOM by soil organic matter and the soil organisms. Incubations were done to measure the potential of dissolved organic matter to serve as microbial substrate. WEOM of the second grid sampling was subjected to hydrolysis using trifluoroacetic acid followed by amperometric detection of several monosaccharides.

Concerning temporal dynamics, the amount of WEOC as well as the quality of WEOM show clearly a seasonal pattern. This may be due to the seasonal changes of weather conditions as well to human management activities. The amendment of plant material exerted a great and several months persisting impact on amount and quality of WEOM by raising the release and the degree of humification of organic material. It is in part due to the fact that plant material amendements were applied to the conventionally and to the ecologically managed field at different terms and in different depths that temporal dynamics of the amount and quality of WEOM differed between both fields and between 0 - 10 cm and 10 - 20 cm depth. This clearly shows, that amount and quality of DOM is influenced by management activities.

Between May and October 1999, WEOM from a soil penetrated by maize roots showed significantly higher WEOC content and lower aromaticity and humification indices than the bulk soil. Therefore, the presence of roots may enlarge the amount of WEOM derived from organisms either by exuding or by stimulating microorganisms within the rhizosphere.

Examining temporal dynamics, the sites with higher carbon content showed, in both depths, significantly higher humification indices of WEOM. These are on the conventionally managed field the high yield site and on the ecologically managed field the low yield area. The aromaticity shows this difference only within the conventionally managed field, the WEOC content within the conventionally managed field in the depth of 0 - 10 cm.

DOM of the medium size pores shows higher DOC content as well as higher aromaticity and humification indices for the high yield sites also showing the higher volume of medium size pores than for the low yield sites and, therefore, shows a relationship to the potential yield. Temporal dynamics of the DOC content of WEOM and DOM of the medium and small size pores differ by their seasonal patterns. This may be due to capillary forces and DOM occlusion from microorganisms, which may slow down or even hinder transport and turnover of organic material.

Higher WEOC contents, higher aromaticity and higher humification indices of WEOM of the former grassland found at both grid samplings may in part be due to its still higher carbon content and in part due to the decline of its carbon content. Because of the different carbon contents before the conversion of the former grassland to agricultural use and of a measurement made for this study, it is to assume, that, since the conversion, its carbon content declined significantly. Higher carbon content may lead to a greater release of strongly humified and more processed soluble organic material as well as the enhanced degradation of humic material. Conformingly, ratios of monosaccharides of microbial and herbal origin showed, that WEOM of the former grassland area had been more processed by microorganisms.

Using geostatistics, WEOM parameters showed medium to very low spatial dependency, i. e. to a high extent, accidental variability. Parameters allowing the quantification of WEOM, WEOC content, UV absorption and maximal fluorescence intensity, showed higher spatial dependency at the first grid sampling than at the second sampling, revealing, that, at the first sampling, the field conditions, especially the water content, have led to stronger spatial differentiation of the WEOM amount than at the second sampling.

Studying temporal dynamics, the amount of microbial available WEOM differed neither by field management nor by yield. Instead of a seasonal pattern a slowly, persisting increase occurred. Studying the spatial variability, only at the first grid sampling, the amount of microbial available WEOM of the former grassland area was significantly higher than the agricultural area. Correlations with aromaticity, humification index or monosaccharide content of WEOM did not occur. This may be, because monosaccharides as well as aromatic constituents, which cause absorption and fluorescence, are always being built up as well as degraded by microbial activities.

This study shows, that release and turnover of dissolved organic matter in the ploughing horizons of soils under agricultural use depend on site conditions as well as on external influences, which are processes of weathering and management practices. By the latter amount and quality of DOM are controllable. Short and long term events may, thereby, take effect. Further studies on dissolved organic carbon have to take into account the impact of spatial and temporal conditions on sampling. The results of this study show, that humification index and aromaticity are able to reflect the impact of short term events on quality of dissolved organic matter. Within the long term, these parameters show the state of dissolved organic matter as a result of soil properties such as organic carbon content and porosity.

## 8. Literatur

- AG Boden, 1994. Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage, Hannover
- Ahmad, S. R., Reynolds, D. M., 1999. Monitoring of water quality using fluorescence technique: prospect of on-line process control. *Water Research*, 33, 2069 – 2074
- Almendros, G., Dorado, J., 1999. Molecular characteristics related to the biodegradability of humic acid preparations. *European Journal of Soil Science*, 50, 227 - 236
- Amelung, W., Cheshire, M.V., Guggenberger, G., 1996. Determination of neutral and acidic sugars in soil by capillary gas-liquid chromatography after trifluoroacetic acid hydrolysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1631 - 1639
- Asmar, F., Eiland, F., Nielsen, N.E., 1994. Effect of extracellular-enzyme activities on solubilization rate of organic nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*, 17, 32 - 38
- Azcue, J.M., Cheam, V., Lechner, J., 1997. Effects of centrifugation speed on measurements of thallium in sediment pore water. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, 66, 61 - 70
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, 53, 215 – 230
- Barancikova, G., Senesi, N., Brunetti, G., 1997. Chemical and spectroscopic characterisation of humic acids isolated from different Slovak soil types. *Geoderma*, 78, 251 - 266
- Bartels, U., 1988. Abschätzung der organischen Kohlenstoffeinträge in Waldökosysteme durch Messung der UV-Absorption (254 nm) im Niederschlagswasser. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 151, 405 – 406
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), 1980. Standortkundliche Bodenkarte 1:25000. München.
- Belin, C., Quéllec, C., Ewald, M., Simon, P., 1993. Characterisation by fluorescence of dissolved organic matter in natural water. Application to fractions obtained by tangential ultrafiltration and XAD resin isolation. *Environmental Technology*, 14, 1131 – 1144
- Bhardwaj, K. K. R., Gaur, A. C., 1971. Isolation and characterisation of some humic acid decomposing bacteria and fungi from soil. *Zentralblatt der Bakteriologie II*, 126, 307 - 312
- Blaser, P., Heim, A., Luster, J., 1999. Total luminescence spectroscopy of NOM-typing samples and their aluminium complexes. *Environment International*, 25, 285 – 293

- Block, J.C., Mathieu, L., Servais, P., Fontvieille, D., Werner, P., 1992. Indigenous bacterial inocula for measuring the biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) in waters. *Water Research*, 26, 481 - 486
- Boissier, J.M., Fontvieille, D., 1993. Biodegradable dissolved organic carbon in seepage waters from two forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 1257 - 1261
- Boyer, J.N., Groffman, P.M., 1996. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 783 - 790
- Brandstetter, A., Sletten, R.S., Mentler, A., Wenzel, W.W., 1996. Estimating dissolved organic carbon in natural waters by UV absorbance (254 nm). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 159, 605 – 607
- Brink, R.H., Dubach, P., Lynch, D.L., 1960. Measurement of carbohydrates in soil hydrolysates with anthrone. *Soil Science*, 89, 157 - 166
- Bruckner, A., Kandeler, E., Kampichler, C., 1999. Plot-scale spatial patterns of soil water content, pH, substrate-induced respiration and N mineralisation in a temperate coniferous forest. *Geoderma*, 93, 207 – 223
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., Konopka, A. E., 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1501 – 1511
- Campbell, C. A., Lafond, G. P., Biederbeck, V. O., Wen, G., Schoenau, J., Hahn, D., 1999. Seasonal trends in soil biochemical attributes: effects of crop management on a Black Chernosem. *Canadian Journal of Soil Science*, 79, 85 – 97
- Cao, J., Tao, S., Li, B.G., 1999. Leaching kinetics of water soluble organic carbon (WSOC) from upland soil. *Chemosphere*, 39, 1771 - 1780
- Chantigny, M. H., 2003. Dissolved and water extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*, 113, 357 – 380
- Chantigny, M. H., Angers, D. A., Prévost, D., Simard, R. R., Chalifour, F.-P., 1999. Dynamics of soluble organic C and C mineralisation in cultivated soils with varying N fertilisation. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 543 – 550
- Chantigny, M. H., Prevost, D., Angers, D. A., Simard, R. R., Chalifour, F. P., 1998. Nitrous oxide production in soils cropped to corn with varying N fertilisation. *Canadian Journal of Soil Science*, 15, 531 - 536
- Chapman, P.J., Reynolds, B., Wheater, H.S., 1995. The seasonal variation in soil water acid

- neutralizing capacity in peaty podzols in mid-Wales. *Water Air and Soil Pollution*, 85, 1089 - 1094
- Cheshire, M.V., 1977. Origins and stability of soil polysaccharide. *Journal of Soil Science*, 28, 1 - 10
- Chevallier, T., Voltz, M., Blanchart, E., Chotte, J.L., Eschenbrenner, V., Mahieu, M., Albrecht, A., 2000. Spatial and temporal changes of soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). *Geoderma*, 94, 43 - 58
- Chin, Y.-P., Aiken, G., O'Loughlin, 1994. Molecular Weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Environmental Science and Technology*, 28, 1853 - 1858
- Chittleborough, D.J., Smettem, R.J., Corsaris E., Leaney, 1992. Seasonal changes in pathways of dissolved organic carbon through a hillslope soil (xeralf) with contrasting texture. *Australian Journal of Soil Research*, 30, 465 - 476
- Chiou, C.T., Malcolm, R.L., Brinton, T.I., Kile, D.E., 1986. Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids. *Environmental Science and Technology*, 20, 502 - 508
- Choudry, G.G., 1984. Photophysical and photochemical properties of soil and aquatic humic materials. *Residue Reviews*, 92, 59 - 112
- Christ, M.J., David, M.B., 1996. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1191 - 1199
- Christensen, S., Christensen, B.T., 1991. Organic matter available for denitrification in different soil fractions: effect of freeze/thaw and straw disposal. *Journal of Soil Science*, 42, 637 - 647
- Coble, P.G., 1990. Characterisation of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine Chemistry*, 51, 325 - 346
- Coble, P. G., Green, S. S., Blough, N., V., Gagosian, R., B., 1990. Characterisation of dissolved organic matter in the Black Sea by fluorescence spectroscopy. *Nature*, 348, 432 - 435
- Cox, L., Celis, R., Hermosin, M.C., Becker, A., Cornejo, J., 1997. Porosity and herbicide leaching in soils amended with olive-mill wastewater. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 151 - 161
- Cronan, C.S., Aiken, G.R., 1985. Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of the Adirondack Park, New York. *Geochimica et Cosmochimica*

Acta, 49, 1697 – 1705

- Cronan, C.S., Lakshman, S., Patterson, H.H., 1992. Effects of disturbance and soil amendments on dissolved organic carbon and organic acidity in red pine forest floors. *Journal of Environmental Quality*, 21, 457 – 463
- Curl, E. A., Truelove, B., 1986. *The Rhizosphere*, Springer, New York
- Currie, W. S., Aber, J. D., McDowell, W. H., Boone, R. D., Magill, A. H., 1996. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. *Biogeochemistry*, 35, 471 - 505
- Dai, K. H., David, M.B., Vance, G.F., 1996. Characterisation of solid and dissolved carbon in a spruce-fir spodosol. *Biogeochemistry*, 35, 339 – 365
- Dalva, M., Moore, T.R., 1991. Sources and sinks of dissolved organic carbon in a forested swamp catchment. *Biogeochemistry*, 15, 1 – 19
- Degens, B. P., Sparling, G. P., 1995. Repeated wet-dry cycles do not accelerate the mineralisation of organic C involved in the macro-aggregation of a sandy loam soil. *Plant and Soil*, 175, 197 – 203
- DeLuca, T.H., Keeney, D.R., 1993. Soluble organics and extractable nitrogen in paired prairie and cultivated soils of central Iowa. *Soil Science*, 155, 219 – 228
- DeLuca, T.H., Keeney, D.R., McCarty, G.W., 1992. Effect of freeze-thaw events on mineralisation of soil nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*, 14, 116 – 120
- Dosskey, M.G., Bertsch, P.M., 1997. Transport of Dissolved Organic Matter through a Sandy Forest Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 920 – 927
- Edwards, A.P., Bremner, J.M., 1967. Microaggregates in soil. *Journal of Soil Science*, 18, 64 – 73
- Ellert, B. H., Gregorich E. G., 1994. Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. In: McFee, W. W., Kelly, J. M. (eds.). *Proceedings of the 8th North American Forest Soil Conference*, Soil Science Society of America, Madison
- Erich, M.S., Trusty, G.M., 1997. Chemical characterisation of dissolved organic matter released by limed and unlimed forest soil horizons. *Canadian Journal of Soils Science*, 77, 405 – 413
- Evans, L. T., Russell, E. W., 1959. The adsorption of humic and fulvic acids by clays. *Journal of Soil Science*, 10, 119 – 132

- Ewald, M., Berger, P., Visser, S.A., 1988. UV-Visible and fluorescence properties of fulvic acids of microbial origin as functions of their molecular weights. *Geoderma*, 362, 299 - 306
- FAM: siehe Forschungsverbund Agrarökosysteme München.
- Federer, P., Sticher, H., 1994. Zusammensetzung und Spezierung der Bodenlösung eines mit Schwermetallen belasteten kalkreichen Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 157, 131 - 138
- Filip, Z., Claus, H., Dippell, G., 1998. Abbau von Huminstoffen durch Bodenmikroorganismen - eine Übersicht. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 161, 605 - 612
- Forschungsverbund Agrarökosysteme München, 1994 a:  
<http://fam.weihenstephan.de/karten/images/nutz92.gif>
- Forschungsverbund Agrarökosysteme München, 1994 b:  
<http://fam.weihenstephan.de/karten/images/nutz97.gif>
- Frimmel, F.H., 2000. Development in aquatic humic chemistry. *Agronomie* 20, 451 – 463
- Gaillard, V., Chenu, C., Recous, S., Richard, G., 1999. Carbon, nitrogen and microbial gradients induced by plant residues decomposing in soil. *European Journal of Soil Science*, 50, 567 – 578
- Gallet, C., Keller, C., 1999. Phenolic composition of soil solutions: comparative study of lysimeter and centrifuge waters. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1151 - 1160
- Gauthier, T.D., Shane, E.C., Guerin, W.F., Seitz, W.R., Grant, C.L., 1986. Fluorescence quenching method for determining equilibrium constants for polycyclic aromatic hydrocarbons binding to dissolved humic materials. *Environmental Science and Technology*, 20, 1162 - 1166
- Giesler, R., Lundström, U.S., Grip, H., 1996. Comparison of soil solution chemistry assessment using zero-tension lysimeters or centrifugation. *European Journal of Soil Science*, 47, 395 – 405
- GLA: siehe Bayerisches Geologisches Landesamt
- Goderya, F.S., 1998. Field scale variations in soil properties for spatially variable control: a review. *Journal of Soil Contamination*, 7, 243 - 264

- Gödde, M., David, M.B., Christ, M.J., Kaupenjohann, M., Vance, G.F., 1996. Carbon mobilisation from the forest floor under red spruce in the northeastern USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1181 – 1189
- Görres, J.H., Dichiario, M.J., Lyons, J.D., Amador, J.A., 1998. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a forest and an old field. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 219 – 230
- Göttlein, A., Matzner, E., 1997. Microscale heterogeneity of acidity related stress-parameters in the soil solution of a forested cambic podzol. *Plant and Soil*, 192, 95 – 105
- Goovaerts, P., 1998. Geostatistical tools for characterising the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 315 - 334
- Gramss, G., Voigt, K.-D., Kirsche, B., 1999 a. Oxireductase enzymes liberated by plant roots and their effects on soil humic material. *Chemosphere*, 38, 1481 – 1494
- Gramss, G., Voigt, K.-D., Kirsche, B., 1999 b. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons with three to seven aromatic rings by higher fungi in sterile and unsterile soils. *Biodegradation*, 10, 51 , 62.
- Gramss, G., Ziegenhagen, D., Sorge, S., 1999 c. Degradation of soil humic extract by wood- and soil-associated fungi, bacteria and commercial enzymes. *Microbial Ecology*, 37, 140 – 151
- Granli, T., Bøckman, O, C., 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norway Journal of Agric Science and Supplement*, 12, 1 - 128
- Gregorich, E. G., Liang, B. C., Drury, C. F., Mackenzie, A. F., McGill, W. B., 2000. Elucidation of the source and turnover of water soluble and microbial biomass carbon in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 581 – 587
- Gregorich, E. G., Rochette, P., McGuire, S., Liang, B.C., Lessard, R., 1998. Soluble organic carbon and carbon dioxide fluxes in maize fields receiving spring-applied manure. *Journal of Environmental Quality*, 27, 209 - 214
- Grieve, I.C., 1996. Effects of the centrifuge drainage method on total organic carbon concentrations in soil solutions from peaty soils. *Geoderma*, 74, 115 – 123
- Grøn, C., Tørsløv, Albrechtsen, H.-J., Møller Jensen, H., 1992. Biodegradability of dissolved organic carbon in groundwater from an unconfined aquifer. *The Science of the Total Environment*, 117/118, 241 - 251

- Groenigen, J.W., 2000. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging. *Geoderma*, 97, 223 – 236
- Gu, B. H., Schmitt, J., Chen, Z., Liang, L. Y., McCarthy, J. F., 1995. Adsorption and desorption of different organic matter fractions on iron oxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 219 – 229
- Guggenberger, G., 1992. Dynamik und Eigenschaften gelöster organischer Substanzen (DOM) in unterschiedlich immissionsbelasteten Fichtenbeständen des Fichtelgebirges. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, 26
- Guggenberger, G., Christensen, B., T., Zech, W., 1994. Land use effects on the composition of organic matter in particle-size separates in soil: I. lignin and carbohydrate signature. *European Journal of Soil Science*, 45, 449 – 458
- Guggenberger, G., Kaiser, K., Zech, W., 1998. Mobilisation and immobilisation of dissolved organic matter in forest soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 161, 401 – 408
- Guggenberger, G., Zech, W., 1993. Dissolved organic carbon control in acid forest soils in the Fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition analyses. *Geoderma*, 59, 109 – 129
- Guggenberger, G., Zech, W., 1994. Composition and dynamics of dissolved carbohydrates and lignin-degradation products in two coniferous forest, N. E. Bavaria, Germany. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 19 - 27
- Haider, K., 1999. Von der toten organischen Substanz zum Humus. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 162, 363 – 371
- Haider, K. M., Martin, J. P., 1988. Mineralisation of <sup>14</sup>C-labelled humic acids and of humic acid bound <sup>14</sup>C-xenobiotics by *Phanerochaete chrysosporium*. *Soil Biology and Biochemistry*, 20, 425 – 429
- Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 211 – 219
- Haynes, R.J., Swift, R.S., 1991. Concentration of extractable Cu, Zn and Mn in a group of soils as influenced by air- and oven drying and rewetting. *Geoderma*, 49, 319 - 333
- Hongve, D., 1999. Production of dissolved organic carbon in forested catchments. *Journal of Hydrology*, 224, 91 - 99
- Hornik, K., 2002. The R FAQ. [http://cran.r-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html#Citing this document](http://cran.r-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html#Citing%20this%20document)

- Hu, S., Coleman, D.C., Beare, M.H., Hendrix, P.F., 1995 a. Soil carbohydrates in aggrading and degrading agroecosystems: influences of fungi and aggregates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 54, 77 – 88
- Hu, S., Coleman, D.C., Carroll, C.R., Hendrix, P.F., Beare, M.H., 1997. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 69 - 78
- Hu, S., Coleman, D.C., Hendrix, P.F., Beare, M.H., 1995 b. Biotic manipulation effects on soil carbohydrates and microbial biomass in a cultivated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 1127 - 1135
- Hütter, L.A., 1994. *Wasser und Wasseruntersuchung*. Otto Salle Verlag, Frankfurt/Main
- Hüttmann, S., Beyer, L., 1996. Mikrobielle Verwertung verschiedener Huminstoff-Fraktionen eines Podsol in Schleswig-Holstein. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 81, 197 – 200
- Ihaka, R., Gentleman, R., 1996. R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299 - 314
- Jackson, R.B., Coldwell, M.M., 1993, Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. *Journal of Ecology*, 81, 683 – 692
- Jones, D. L., Edwards, A. C., Donachie, K., Darrah, P. R., 1994. Role of proteinaceous amino-acids released in root exudates in nutrient acquisition from the rhizosphere. *Plant and Soil*, 158, 183 - 192
- Journel, A.G., Huijbregts, C.J. *Mining Geostatistics*. Academic Press, London
- Kätterer, T., Reichstein, M., Andrén, O., Lomander, A., 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analysed with different models. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 258 – 262
- Kaiser, K., Guggenberger, G., Zech, W., 1996. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils. *Geoderma*, 74, 281 – 303
- Kalbitz, K., Geyer, S., Geyer, W., 2000 a. A comparative characterisation of dissolved organic matter by means of original aqueous samples and isolated humic substances. *Chemosphere*, 40, 1305 – 1312
- Kalbitz, K., Geyer, W., Geyer, S., 1999. Spectroscopic properties of dissolved humic substances – a reflection of land use history in a fan area. *Biogeochemistry*, 47, 219 – 238

- Kalbitz, K., Geyer, W., 2001. Humification indices of water-soluble fulvic acids derived from synchronous fluorescence spectra – effects of spectrometer type and concentration. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 164, 259 – 265
- Kalbitz, K., Knappe, S., 1997. Influence of soil properties on the release of dissolved organic matter (DOM) from the topsoil. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 160, 475 – 483
- Kalbitz, K., Popp, P., Geyer, W., Hanschmann, G., 1997.  $\beta$ -HCH mobilisation in polluted wetland soils as influenced by dissolved organic matter. *The Science of the Total Environment*, 204, 37 -48
- Kalbitz, K., Schmerwitz, J., Schwesig, D., Matzner, E., 2003 a. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 113, 273 - 291
- Kalbitz, K., Schwesig, D., Schmerwitz, J., Kaiser, K., Haumaier, L., Glaser, B., Ellerbrock, R., Leinweber, P., 2003 b. Changes in properties of soil-derived dissolved organic matter induced by biodegradation. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 1129 – 42
- Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.-H., Michalzik, B., Matzner, E., 2000 b. Controls of the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science*, 165, 277 – 304
- Kawagashi, M., Sumida, H., Yamamoto, K., 2003. Seasonal changes in organic compounds in soil solutions obtained from volcanic ash soils under different land uses. *Geoderma*, 113, 381 - 396
- Keiding, K., Nielsen, P.H., 1997. Desorption of organic macromolecules from activated sludge: Effect of ionic composition. *Water Research*, 31, 1665 – 1672
- Khandelwal, K. C., Gaur, A. C., 1980. Degradation of humic acids, extracted from manure and soil by some streptomycetes and fungi. *Zentralblatt für Bakteriologie II*, 135, 119 – 122
- Koivula, N., Hänninen, K., 2001. Concentrations of monosaccharides in humic substances in the early stages of humification. *Chemosphere*, 44, 271 – 279
- Kontchou, C. Y., Blondeau, R., 1992. Biodegradation of soil humic acids by *Streptomyces viridosporus*. *Canadian Journal of Microbiology*, 38, 203 – 208
- Korshin, G.V., Li, C.-W., Benjamin, M.M., 1997. Monitoring the properties of natural organic matter through UV spectroscopy: a consistent theory. *Water Research*, 31, 1787 – 1795
- Krafczyk, I., Trolldenier, G., Beringer, H., 1984. Soluble root exudates of maize: influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*,

16, 315 - 322

- Kuzyakov, Y., Domanski, G., 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 163, 421 – 431
- Leinweber, P., Schulten, H.-R., Kalbitz, K., Meißner, R., Jancke, H., 2001. Fulvic acid composition in degraded fenlands. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 164, 371 – 379
- Liang, B. C., MacKenzie, A. F., Schnitzer, M., Monreal, C. M., Voroney, P. R., Beyaert, R., P., 1998. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. Biology and Fertility of Soils, 26, 88 – 94
- Liechty, H.O., Kuuseoks, E., Mroz, G.D., 1995. Dissolved organic carbon in northern hardwood stands with differing acidic inputs and temperature regimes. Journal of Environmental Quality, 24, 927 – 933
- Linn, D. M., Doran, J. W., 1984. Effect of waterfilled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide in tilled and nontilled soils. Soil Science Society of America Journal, 48, 1267 – 1272
- Lorenz, S.E., Hamon, R.E., McGrath, S.P., 1994. Differences between soil solutions obtained from rhizosphere and non-rhizosphere soils by water displacement and soil centrifugation. European Journal of Soil Science, 45, 431 – 438
- Lundquist, E.J., Jackson, L.E., Scow, K.M., 1999. Wet-dry cycles affect dissolved organic carbon in two California agricultural soils. Soil Biology and Biochemistry, 31, 1031 – 1038
- MacCraith, B., Grattan, K.T.V., Connolly, D., Briggs, R., Boyle, W.J.O., Avis, M., 1993. Cross comparison of techniques for the monitoring of total organic carbon (TOC) in water sources and supplies. Water Science and Technology, 28, 457 – 463
- Magid, J., Kjærgaard, C., Gorisson, A., Kuikman, P.J., 1999. Drying and rewetting of a loamy sand did not increase the turnover of native organic matter, but retarded the decomposition of added <sup>14</sup>C-labelled plant material. Soil Biology and Biochemistry, 31, 595 - 602
- Majure, J.J., 1995. <http://www.gis.iastate.edu/SGeoStat/homepage.html>
- Marschner, B., 1999. Sorption von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und polychlorierten Biphenylen (PCB) im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 162, 1- 14
- Marschner, B., Bredow, A., 2002. Temperature effects on release and ecologically relevant

- properties of dissolved organic carbon in sterilised and biologically active soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 459 – 466
- Marschner, B., Kalbitz, K., 2003. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma* 113, 211 - 235
- Marschner, H., 1991. Plant-soil relationships: acquisition of mineral nutrients by roots from soils. In: Porter, J.R., Lawlor, D.W. (Hrsg.). *Plant Growth: Interactions with Nutrition and Environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marschner, H., Romheld, V., Cakman, I., 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition*, 10, 1175 – 1184
- Martín-Olmedo, P., Rees, R.M., 1999. Short-term N availability in response to dissolved-organic-carbon from poultry manure, alone or in combination with cellulose. *Biology and Fertility of Soils*, 29, 386 – 393
- Mazzarino, M. J., Szott, L., Jimenez, M., 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and watersoluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 205 – 214
- McCarthy, J. F., Zachara, J. M., 1989. Subsurface transport of contaminants: mobile colloids in the subsurface environment may alter the transport of contaminants. *Environmental Science and Technology*, 23, 496 – 502
- McDougall, B.M., 1970. Movement of  $^{14}\text{C}$ -photosynthate into the roots of wheat seedlings and exudation of  $^{14}\text{C}$  from intact roots. *New Phytologist*, 69, 37 – 46
- McDowell, W. H., Currie, S.W., Aber, J.D., Yano, Y., 1998. Effects of chronic nitrogen amendments on production of dissolved organic carbon and nitrogen in forest soils. *Water Air and Soil Pollution*, 105, 175 – 182
- McKnight, D.M., Boyer, E.W., Westerhoff, P.K., Doran, P.T., Kulbe, T., Anderson, D.T., 2001. Spectrofluorometric characterisation of dissolved organic matter for indication of precursor material and aromaticity. *Limnology and Oceanography*, 46, 38 – 48
- McTiernan, K. B., Jarvis, S. C., Scholefield, D., Hayes, M. H. B., 2001. Dissolved organic carbon losses from grazed grasslands. In Rees, R. M., Ball, B. C., Campbell, C. D., Watson, C. A. (Hrsg.). *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. CAB International, CABI Publishing, New York
- Melick, D. R., Bolter, M., Moller, R., 1994. Rates of soluble carbohydrate utilization in soils from the Windmill Islands Oasis, Wilkes Land, Continental Antarctica. *Polar Biology*, 14, 59 – 64

- Merbach, W., Mirus, E., Knof, G., Remus, R., Ruppel, S., Russow, R., Gransee, A., Schulze, J., 1999. Release of carbon and nitrogen compounds by plant roots and their possible ecological importance. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 162, 373 – 383
- Merckx, R., Brans, K., Smolders, E., 2001. Decomposition of dissolved organic carbon after soil drying and rewetting as an indicator of metal toxicity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 235 – 240
- Merckx, R., Dijkstra, A., Den Hartog, A., Van Veen, J. A., 1987. Production of root-derived material and associated microbial growth in soil at different nutrient levels. *Biology and Fertility of Soils*, 5, 126 – 132
- Michalzik, B., Matzner, E., 1999. Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem. *European Journal of Soil Science*, 50, 579 – 590
- Michel, K., Matzner, E., 1999. The release of DOC and DON from forest floors in relation to solid phase properties, respiration and N-mineralisation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162, 645 - 652
- Møller, J., Miller, M., Kjølter, A., 1999. Fungal-bacterial interaction on beech leaves: influence on decomposition and dissolved organic carbon quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 367 – 374
- Molina, J. A. E., Clapp, C. E., Linden, D. R., Allmaras, R. R., Layese, M. F., Dowdy, R. H., Cheng, H. H., 2001. Modeling the incorporation of corn (*Zea mays* L.) carbon from roots and rhizodeposition into soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 83 – 92
- Monreal, C.M., McGill, W.B., 1985. Centrifugal extraction and determination of free amino acids in soil solutions by TLC using tritiated 1-Fluoro-2,4-Dinitrobenzene. *Soil Biology and Biochemistry*, 17, 533 – 539
- Moore, T. R., de Souza, W., Koprivnjak, J.-F., 1992. Controls on the sorption of dissolved organic carbon by soils. *Soil Science*, 154, 120 – 129
- Mulholland, J.P., Dahm, C.N., David, M.B., DiToro, D.M., Fisher, T.R., Kögel-Knabner, I., Meybeck, M.H., Meyer, J.L., Sedell, J.R., 1990. What are the temporal and spatial variations of organic acids at the ecosystem level?. In: Perdue, E.M., Gjessing, E.T. (Hrsg.). *Organic Acids in Aquatic Ecosystems*. Life Science Research Report 48. Wiley & Sons, Chichester
- Murayama, S., 1984. Changes in the monosaccharide composition during decomposition of

- straws under field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 30, 367 – 381
- Nelson, P. N., Dector, M. C., Soulas, G., 1994. Availability of organic carbon in soluble and particle size fractions from a soil profile. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1549 - 1555
- Novotný, Č., Erbanová, P., Šašek, V., Kubátová, A., Cajthaml, T., Lang, E., Krahl, J., Zadražil, F., 1999. Extracellular oxidative enzyme production and PAH removal in soil by exploratory mycelium of white rot fungi. *Biodegradation*, 10, 159 – 168
- Ogawa, H., Amagai, Y., Koike, I., Kaiser, K., Benner, R., 2001. Production of refractory organic matter by bacteria. *Science*, 292, 917 – 920
- Ohno, T., Cronan, C., S., 1997. Comparative effects of ionic- and nonionic-resin purification treatments on the chemistry of dissolved organic matter. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 66, 119 – 136
- Otsuki, A., Hanya, T., 1972. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. *Limnology and Oceanography*, 17, 258 - 264
- Pascual, J.A., Garcia, C., Hernandez, T., Morene, J.L., Ros, M., 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1877 - 1883
- Pefferkorn, E., 1997. Structure and stability of natural organic matter/soil complexes and related synthetic and mixed analogues. *Advances in Colloid and Interface Science*, 73, 127 - 200
- Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J. S. C., 1997. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*, 75, 267 – 277
- Qualls, R.G., Haines, B.L., 1991. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 1112 – 1123
- Qualls, R.G., Haines, B.L., 1992. Biodegradability of dissolved organic matter in forest throughfall, soil solution and stream water. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 578 - 586
- Ranger, J., Marques, R., Jussy, J.-H., 2001. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. *Forest Ecology and Management*, 144, 129 - 145
- Reemtsma, T., Bredow, A., Gehring, M., 1999. The nature and kinetics of organic matter release from soil by salt solutions. *European Journal of Soil Science*, 50, 53 – 64

- Reichstein, M., Bednorz, F., Broll, G., Kätterer, T., 2000. Temperature dependence of carbon mineralisation: conclusions from a long-term incubation of subalpine samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 947 - 958
- Rochette, P., Gregorich, E.G., 1998. Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO<sub>2</sub> evolution after three years of manure application. *Canadian Journal of Soil Science*, 78, 283 - 290
- Römken, P.F.A.M., Dolfing, I., 1998. Effect of Ca on the solubility and molecular size distribution of DOC and Cu binding in soil solution samples. *Environmental Science and Technology*, 32, 363 - 369
- Romano, N., Santini, A., 1997. Effectiveness of using pedo-transfer functions to quantify the spatial variability of soil water retention characteristics. *Journal of Hydrology*, 202, 137 - 157
- Rosenberg, W., 1999. Auswirkungen einer Dolomit-Kalkung auf den Humus eines Fichtenwaldes (Höglwald-Projekt). Doktorarbeit, Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortlehre, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- Ross, D.S., Bartlett, R.J., 1990. Effects of extraction methods and sample storage on properties of solutions obtained from forest spodosols. *Journal of Environmental Quality*, 19, 108 - 113
- Rovira, A. D., 1959. Root excretions in relation to the rhizosphere effect. IV. Influence of plant species, age of plant, light temperature and calcium nutrition on exudation. *Plant and Soil*, 11, 53 - 64
- Rovira, A. D., Davey, C. B., 1974. Biology of the rhizosphere. In: E. W. Carson (Ed.). *The Plant Root and its Environment*. University Press of Virginia, Charlottesville
- Ruser, R., Zeller, K., Zsolnay, A. Munch, J.C., in Vorbereitung. Monosaccharid-zusammensetzung von DOC aus Böden – Einfache Methode zur Trennung und Quantifizierung mittels HPLC-IPAD (gepulste amperometrische Detektion), sowie erste Ergebnisse einer Rasterbeprobung.
- SB: siehe Statistisches Bundesamt
- Schaumann, G. E., 2000. Effect of CaCl<sub>2</sub> on the kinetics of dissolved organic matter release from a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 523 - 539
- Schnitzer, M., Khan, S. U., 1972. *Humic Substances in the Environment*. Marcel Dekker, New York
- Scott, M.J., Jones, M.N., Woof, C., Tipping, E., 1998. Concentrations and fluxes of dissolved

- organic carbon in drainage water from an upland peat system. *Environment International*, 24, 537 - 546
- Seal, B.K., Roy, K.B., Mukherjee, S.K., 1964. Fluorescence emission spectra and structure of humic and fulvic acids. *Journal of the Indian Chemical Society*, 41, 212 – 214
- Sedell, J.R., Dahm, C.N., 1990. Spatial and temporal scales of dissolved organic carbon in streams and rivers. In: Perdue, E.M., Gjessing (Hrsg.). *Organic acids in aquatic ecosystems*. Life Sciences Research Report 48. Wiley & Sons, Chichester
- Sehy, U., 2004. *N<sub>2</sub>O-Freisetzungen aus Böden*. Ökom Verlag, München
- Sehy, U., Dyckmans, J., Ruser, R., Munch, J.C., 2004. Adding dissolved organic carbon to simulate freeze-thaw related N<sub>2</sub>O emissions from soil. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 167, 471 - 478
- Senesi, N., Miano, T.M., Provenzano, M.R., Brunetti, G., 1991. Characterisation, differentiation and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, 152, 259 – 271
- Seritti, A., Russo, D., Nannicini, L., del Vecchio, R., 1998. DOC, absorption and fluorescence properties of estuarine and coastal waters of the Northern Tyrrhenian Sea. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10, 95 - 106
- Servais, P., Anzil, A., Ventresque, C., 1989. Simple method for detection of biodegradable dissolved organic carbon in water. *Applied and Environmental Microbiology*, 55, 2732 – 2734
- Servais, P., Billen, G., Hascoët, M.-C., 1987. Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. *Water Research*, 21, 445 – 450
- Sinowski, W., Scheinost, A., Auerswald, K., 1995 a. Karte der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum der Versuchsgüter Scheyern. *Forschungsverbund Agrarökosysteme München (Hrsg.)*
- Sinowski, W., Scheinost, A., Auerswald, K., 1995 b. Karte des organischen Kohlenstoffes im Oberboden (1991) der Versuchsgüter Scheyern. *Forschungsverbund Agrarökosysteme München (Hrsg.)*
- Sollins, P., Homann, P., Caldwell, A., 1996. Stabilization and destabilization of dissolved organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, 74, 65 - 105
- Solntseva, I. E., 1994. Certain energy aspects of microorganism-induced transformation of humic substances. In: Senesi, N., Miano, T., M., *Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health*, Elsevier, New York

- Stabel, H., H., Schweder, H., 1981. Fluoreszenzspektroskopische Charakterisierung der gelösten organischen Substanz eines Fließgewässer-Seensystems in SW Irland. *Vom Wasser*, 57, 329 – 333
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2004. *Landwirtschaft in Zahlen 2003*. Wiesbaden
- Steinweg, B., 2002: Untersuchungen zur in-situ-Verfügbarkeit von wasserlöslichem Humus (DOM) in Oberböden und Grundwasserleitern: Gewinnung, Charakterisierung und Abschätzung seiner Funktionen als mikrobielles Substrat und Träger des Schadstoffes Pyren. *FAM - Bericht 52*, 1 – 109
- Stewart, A., J., Wetzel, R., G., 1980. Fluorescence : absorbance ratios – a molecular weight tracer of dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 25, 559
- Sun, L., Perdue, E. M., Meyer, J. L., Weis, J., 1997. Use of elemental composition to predict bioavailability of dissolved organic matter in a Georgia river. *Limnology and Oceanography*, 42, 714 – 721
- Sundin, P., Valeur, A., Olsson, S., Odham, G., 1990. Interactions between bacteria-feeding nematodes and bacteria in the rape rhizosphere: effects on root exudation and distribution of bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 73, 13 – 22
- Svenningsson, H., Sundin, P., Liljenberg, C., 1990. Lipids, carbohydrates and amino acids exuded from axenic roots of rape seedlings exposed to water-deficit stress. *Plant Cell and Environment*, 13, 155 - 162
- Swift, R. S., Delisle, G., Leonard, R. L., 1987. Biodegradation of humic acids from New Zealand soils. *Science of the Total Environment*, 62, 423 – 430
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell, Scientific Publications, Oxford
- Swinnen, J., van Veen, J.A., Merckx, R., 1995. Root decay and turnover of rhizodeposits in field-grown winter wheat and spring barley estimated by <sup>14</sup>C pulse-labelling. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 211 - 217
- Tegen, I., Dörr, H., 1996. Mobilization of cesium in organic rich soils: correlation with production of dissolved organic carbon. *Water Air and Soil Pollution*, 88, 133 – 144
- Thurman, E., M., 1985. *Organic geochemistry of natural waters*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Dordrecht, The Netherlands.
- Tipping, E., 1981. The adsorption of aquatic humic substances by iron oxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 191 – 199

- Tipping E., 1998. Modelling the properties and behavior of dissolved organic matter in soils. *Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 87, 437 - 448
- Tipping, E., Woof, C., Rigg, E., Harrison, A.F., Ineson, P., Taylor, K., Benham, D., Poskitt, J., Rowland, A.P., Bol, R., Harkness, D.D., 1999. Climatic influences on the leaching of dissolved organic matter from upland UK moorland soils, investigated by a field manipulation experiment. *Environment International*, 25, 83 - 95
- Traina, S.J., Novak, J., Smeck, N.E., 1990. An ultraviolet absorbance method of estimating the percent aromatic carbon content of humic acids. *Journal of Environmental Quality*, 19, 151 - 153
- Travnik, L. J., Jørgensen, N. O. G., 1995. Colloidal and dissolved organic matter in lake water: carbohydrate and amino acid composition, and ability to support bacterial growth. *Biogeochemistry*, 30, 77 - 97
- UBA: siehe Umweltbundesamt
- Umweltbundesamt, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2002. *Umweltdaten Deutschland 2002*. Berlin, Wiesbaden
- Uren, N.C., Reisenauer, H.M., 1988. The role of root exudates in nutrient acquisition. In: Tinker, P.B., Lauchli, A. (Hrsg.). *Advances in Plant Nutrition*. Praeger, New York.
- Vancura, V., Hanzlikova, A., 1972. Root exudates of plants. IV. Differences in chemical composition of seed and seedlings exudates. *Plant and Soil*, 36, 271 - 282
- van Gestel, M., Merckx, R., Vlassak, K., 1993. Microbial biomass responses to soil drying and rewetting: the fate of fast- and slow-growing microorganisms in soils from different climates. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 109 - 123
- Wang, F.L., Bettany, J.R., 1993. Influence of freeze-thaw and flooding on the loss of soluble organic carbon and carbon dioxide from soil. *Journal of Environmental Quality*, 22, 709 - 714
- Webster, 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances of Soil Science*, 3, 1 - 70
- Wessels, L., 2003. Microbial immobilisation and turnover of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N labelled substrates and microbial diversity in two arable soils under field and laboratory conditions. Technische Universität, München
- West, A. W., Sparling, G. P., Feltham, C. W., Reynolds, J., 1992. Microbial activity and survival in soils dried at different rates. *Australian Journal of Soil Research*, 30, 209 - 222

- Wilcke, W., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil - a review. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 163, 229 - 248
- Wolfbeis, O.S., 1985. The fluorescence of organic natural products. In: Schulman, S. G.(Ed.). *Molecular Luminescence Spectroscopy: Methods and Applications, Part 1*. Wiley-Interscience, New York
- Yano, Y., McDowell, W. H., Aber, J. D., 2000. Biodegradable organic carbon in forest soil solution and effects of chronic nitrogen deposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1743 – 1751
- Yano, Y., McDowell, W.H., Kinner, N.E., 1998. Quantifikation of biodegradable organic carbon with flow-through bioreactors. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1556 – 1564
- Yavitt, J. B., Fahey, T. J., 1986. Litter decay and leaching from forest floor in pinus contorta (lodgepole pine) ecosystems. *Ecology*, 74, 525 – 545
- Zabowski, D., Ugolini, F.C., 1990. Lysimeter and centrifuge soil solution: Seasonal differences between methods. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 1130 – 1135
- Zech, W., Reuschel, S., Wohlfromm, J., 1993. Humuschemische Veränderungen während der Fermentation von Fichtenrinde. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, 32
- Ziechmann, W., 1996. Huminstoffe und ihre Wirkungen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Zsolnay, A., 1996. Dissolved Humus in Soil Waters. In: Piccolo, A. (Hrsg.). *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam.
- Zsolnay, A., 2003. Dissolved organic matter: artefacts, definitions and functions. *Geoderma*, 113, 187 - 209
- Zsolnay, A., Baigar, E., Jimenez, M., Steinweg, B., Saccomandi, F., 1999. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere*, 38, 45 - 50
- Zsolnay, A., Görlitz, H., 1994. Water extractable organic matter in arable soils: effects of drought and long-term fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1257 – 1261

## 9. Anhang

### 9.1. Anhang A: Bewirtschaftung des Integrierten und des Ökologischen Anbaus

Tabelle 10: Vor und während der Beprobungen zur zeitlichen Dynamik und zur räumlichen Variabilität von DOM im Integrierten und Ökologischen Anbau durchgeführte Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Datum	Integrierter Anbau	Ökologischer Anbau
Herbst 1998	Zwischenfrucht Senf	Aussaat von Klee, Gras, Luzerne
25.03.1999	Herbizid Durano: 2,5 kg ha <sup>-1</sup>	
26.03.1999		Anwalzen mit Glattwalze
03.05.1999	Fungizid Mesurol	
04.05.1999	Maisaussaat, 10,5 Körner m <sup>-2</sup> Düngung in Pflanzreihen mit Ammonphosphat: 40 kg [N] ha <sup>-1</sup> , 40 kg [P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ] ha <sup>-1</sup> , 6kg [S] ha <sup>-1</sup>	
05.05.1999	Moluskizid Metaldehyd: 4 kg ha <sup>-1</sup>	
12.05.1999	Beginn der Beprobung zur zeitlichen Dynamik von WEOM	
18.05.1999	Herbizid Stentan: 1 kg ha <sup>-1</sup> Herbizid Starane 0,5 kg ha <sup>-1</sup>	
Ende Mai 1999		Mahd und Silierung
01.06.1999	Düngung mit Kalkammonsalpeter: Konventionell: 110 kg ha <sup>-1</sup> Ertragsoptimiert: Hohertrag: 135 kg ha <sup>-1</sup> Niederertrag: 85 kg ha <sup>-1</sup>	
02.06.1999	Herbizid Cato: 0,3 kg ha <sup>-1</sup>	
17.07.1999 / 18.07.1999		Mahd und Silierung
28.08.1999 / 29.08.1999		Mahd und Silierung
19.09.1999	Maisernte: 389,22 dt ha <sup>-1</sup>	
27.09.1999	Beginn der Beprobung zur zeitlichen Dynamik von DOM-II und WEOM <sub>Z</sub>	
12.10.1999		Mulchen mit Klee, Gras, Luzerne, flaches Fräsen
14.10.1999		Saat von Winterweizen „Capo“
18.10.1999	Letzte Beprobung in der Maispflanzenreihe	
21.10.1999	Grubbern: 18 - 20 cm Tiefe	
22.10.1999	Grubbern: 15 cm Tiefe Saat von Winterweizen „Petrus“	
24.11.1999		Erste Beprobung zur räumlichen Variabilität von DOM

Fortsetzung von Tabelle 10.

Datum	Integrierter Anbau	Ökologischer Anbau
24.03.2000	Düngung Ammoniakalische Harnstofflösung: Konventionell: 50 kg [N] ha <sup>-1</sup> Ertragsoptimiert: Hohertrag: 35 kg [N] ha <sup>-1</sup> Niederertrag: 50 kg [N] ha <sup>-1</sup>	Striegeln: NÖ gestriegelt, HÖ nicht gestriegelt
06.04.2000		Zweite Beprobung zur räumlichen Variabilität
17.04.2000	Schwefeldüngung mit Schwedonal Herbizide Azur, CCC, Starane, S	
22.04.2000		Gülldüngung 25 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> , entspricht ca. 20 kg [N] ha <sup>-1</sup>
28.04.2000	Gülldüngung: 25 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	
08.05.2000	Fungizide Juwel Top 0,5 kg ha <sup>-1</sup> , Gladio 0,5 kg ha <sup>-1</sup> Schwefeldüngung: 8 kg ha <sup>-1</sup>	
10.05.2000	Fungizid Juwel Top	
26.05.2000	Düngung Ammoniakalische Harnstofflösung: Konventionell: 60 kg [N] ha <sup>-1</sup> Ertragsoptimiert: Hohertrag: 80 kg [N] ha <sup>-1</sup> Niederertrag: 60 kg [N] ha <sup>-1</sup>	
30.05.2000	Fungizid Amistar	
02.06.2000		Schwefeldüngung mit Schwedonal
09.06.2000	Fungizid Folicur	
16.06.2000	Düngung: Konventionell: 40 kg [N] ha <sup>-1</sup> Ertragsoptimiert: Hohertrag: 60 kg [N] ha <sup>-1</sup> Niederertrag: 40 kg [N] ha <sup>-1</sup>	
28.07.2000		
13.08.2000	Ernte von Winterweizen	
17.08.2000	Bodenbearbeitung Kartoffeldämme	
25.08.2000		Grubbern, Mistdüngung
29.08.2000	Aussaat von Senf :25 kg ha <sup>-1</sup>	
06.09.2000	Düngung AHL: 20 kg [N] ha <sup>-1</sup>	
09.09.2000		
28.12.2000	Ende der Beprobungen zur zeitlichen Dynamik von WEOM, DOM-II und WEOM <sub>Z</sub>	

## 9.2. Anhang B: Der zur Zentrifugation benutzte Becher

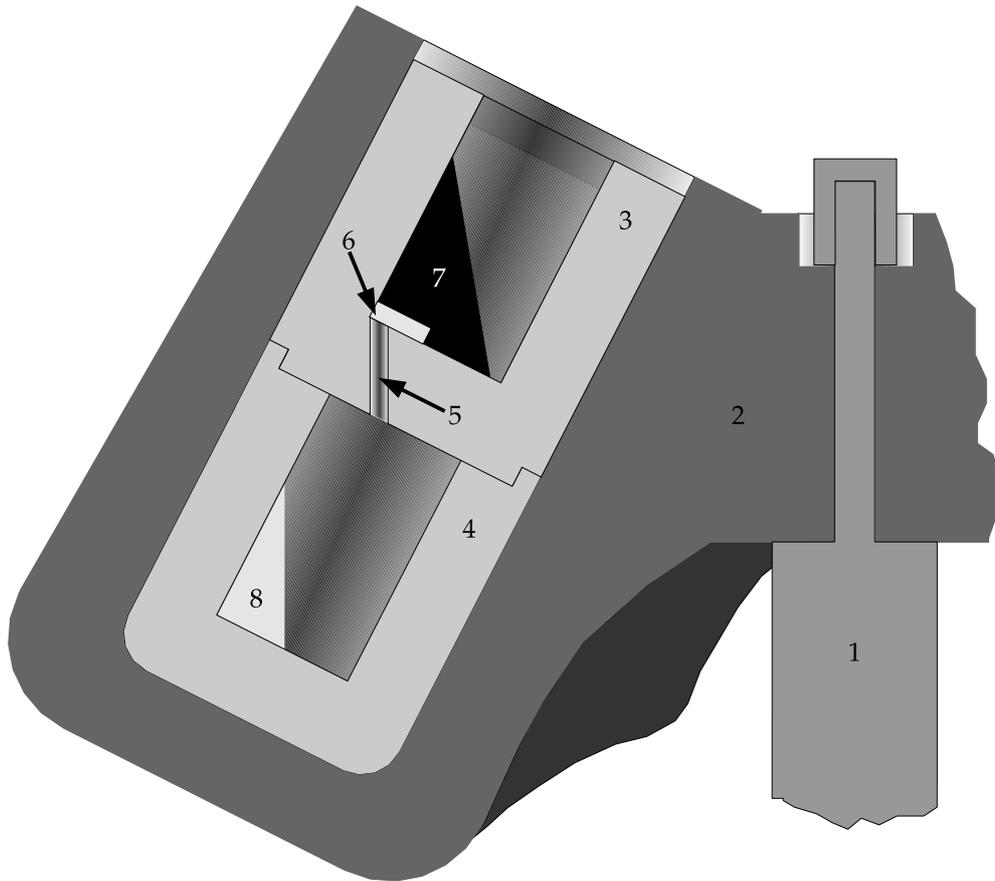


Abbildung 28: Schematischer Querschnitt durch den zur Zentrifugation von Boden verwandten Becher, eingesetzt in den Festwinkelrotor. Erläuterungen im Text.

Um DOM-II durch Zentrifugation zu gewinnen, wird ein zweiteiliger, aus Aufsatz (3) und Untersatz (4) bestehender Becher verwandt. Die im Boden des Aufsatzes befindliche Bohrung (5) wird mit einem Stück Polykarbonatfilter (Porendurchmesser  $0,4 \mu\text{m}$ ) und einem Glasfrittenbruchstück (6) abgedeckt, anschließend wird der zu zentrifugierende Boden (7) in den Aufsatz eingewogen. Aufsatz und Untersatz werden ineinandergesteckt und so in den Festwinkelrotor (2) eingesetzt, daß die schräge Bohrung (5) parallel zur Drehachse (1) verläuft. Während der Zentrifugation wird die Bodenlösung von der Zentrifugalkraft durch das Glasfritten- und das Polykarbonatfilterstück gedrückt und kann durch die Bohrung (5) in den Untersatz (4) abfließen, wo sie als Zentrifugat (8) aufgefangen wird.

## 9.3. Anhang C: Ergebnisse zur zeitlichen Dynamik von WEOM

Tabelle 11: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Hohertragsflächen.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	29,03	20,48	20,8	12,2	4,07	21,01	29,03	19,89	13,84	6,5	1,7	15,52
19.05.1999	24,09	7,23	38,7	5,8	8,16	15,58	24,09	11,56	16,72	9,4	7,14	21,26
26.05.1999	25,63	9,57	27,24	7,5	8,28	17,49	25,63	9,6	25,79	5,6	7,59	15,09
31.05.1999	17,62	12,3	23,72	9,7	8,4	24,83	18,94	10,16	31,3	6,3	9,25	24,89
08.06.1999	25,88	12,9	n. b.	9,2	4,07	17,99	22,22	8,25	25,05	5,2	6,1	16,38
14.06.1999	20,14	10,4	n. b.	9,4	7,44	22,94	20,15	8,2	n. b.	5,9	6,95	16,68
21.06.1999	24,07	15,17	23,76	10,6	6,69	26,73	20,86	10,36	37,18	6,4	4,4	17,51
28.06.1999	22,82	11,67	14,96	10,5	9,27	25,63	20,65	7,02	20,57	5,4	7,29	16,36
05.07.1999	16,73	28,03	29,59	19,3	6,23	40,11	17,4	11,46	48,54	10,1	11,75	25,86
12.07.1999	33,52	29,98	24,02	13,1	4,47	28,67	34,76	36,15	40,95	12,1	4,07	25,25
19.07.1999	18,44	11,89	24,88	12,2	10,09	32,74	19,42	8,76	5,09	6,3	7,12	21,26
26.07.1999	23,04	13,71	45,89	10,9	8,2	27,64	20,95	9,14	46,3	7,1	7,3	17,61
02.08.1999	15,95	14,2	26,01	12,5	8,67	31,72	18,75	12,38	54,11	7	7,68	20,93
09.08.1999	20,22	16,05	25,65	12,7	6,99	28,53	18,75	8,95	33,73	6,6	7,3	18,39
16.08.1999	22,41	13,69	26,34	11,8	7,73	29,73	19,62	7,91	47,61	5,5	8,5	17,08
23.08.1999	19,79	16,85	25,03	14,3	6,66	31,68	19,45	8,83	32,43	6,8	7,83	20,97
30.08.1999	18,13	11,34	22,23	10,3	7,6	29,26	19,24	5,89	36,2	6,7	8,02	23
06.09.1999	17,3	10,78	12,4	11,4	9,3	30,78	18,12	6,86	25,08	6,9	9,46	22,13
13.09.1999	16,99	19,63	8,49	14	6,86	38,45	18,05	11,43	25,91	6,7	5,44	22,82
17.09.1999	14,72	17,29	22,39	14	7,48	36,61	15,5	9,82	36,66	7	7,77	22,59
27.09.1999	21,54	13,9	36,06	11	7,96	31,83	18,86	13,04	31,37	7,2	5,64	23,94
04.10.1999	23,84	16,59	32,46	13,5	6,59	30,68	22,32	13,13	30,14	13,5	4,81	20,46
11.10.1999	21,6	11,21	45,39	8,6	9,54	28,06	20,14	7,85	61,78	5,6	8,21	18,11
18.10.1999	19,16	16,13	43	10,6	5	28,8	18,72	10,87	n. b.	10,3	4,72	18,38
26.10.1999	21,16	13	45,04	12,5	9	36,21	19,07	10,93	35	9,2	8,98	27,41
02.11.1999	24,06	10,07	40,93	9,3	9,94	24,52	22,47	10,33	42,77	7,8	9,36	18,73
08.11.1999	27,71	12,14	31,81	9,3	8,3	24,59	21,69	6,18	26,31	6,2	9,32	17,39
15.11.1999	27,11	11,92	n. b.	6,2	6,81	18,02	23,77	15,27	23,64	8,6	6,51	25,28
22.11.1999	32,9	8,92	39,47	6	6,19	17,32	23,8	7	43,13	7,3	9,17	23,87
29.11.1999	29,12	16,49	39,81	8,3	6	23,28	24,77	10,13	49,91	8,8	6,59	23,78
06.12.1999	30,09	11,07	47,4	6	5,74	17,42	24,38	7,58	43,54	6,3	8,05	19,45
13.12.1999	28	8,26	31,72	5,3	8,24	15,76	22,51	6,96	38,1	5,6	8,72	17,31
20.12.1999	31,39	11,4	40,92	4,9	5,94	12,68	23,46	7,12	65,95	5,5	8,64	15,45
03.01.2000	31,86	18,65	53,71	6,5	4,79	16,83	28,6	17,65	39,52	5,8	4,85	16,73
10.01.2000	29,57	8,49	57,19	4,7	6,25	14,77	26,86	5,06	43,53	5,4	9,06	18,39
17.01.2000	28,07	14,21	49,52	5,8	6,99	15,56	23,46	13,76	50,99	6,4	5,2	15,87
24.01.2000	36,13	14,03	4,35	5,5	5,95	15,9	23,05	6,36	32,05	5	7,53	15,85
31.01.2000	36,77	9,16	n. b.	4,8	6,03	14,39	31,32	6,14	n. b.	4,5	7,48	14,5
07.02.2000	32,22	6,43	24,67	4,1	8,62	13,23	30,4	7,12	43,96	5,6	7,47	14,93
14.02.2000	30,65	19,3	31,16	4,9	5,29	14,12	25,65	7,54	19,25	4,7	5,61	13

Grau unterlegte Werte wurden als WEOM<sub>U</sub> mit DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> (Tabelle 19) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 11.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	F <sub>mk</sub>
21.02.2000	32,57	5,75	55,91	4,1	4,02	10,96	28,24	9,11	68,01	6,3	5,92	15,78
28.02.2000	29,98	5,28	60,75	4,8	6,2	13,3	24,63	3,21	49,77	4,8	7,35	13,91
06.03.2000	31,27	8,76	57,14	3,2	6,43	11,32	26,52	4,84	57,23	4,4	5,63	15,35
13.03.2000	26	9,06	59,95	4,5	5,57	12,17	23,87	6,67	74,97	4,4	2,24	13,46
20.03.2000	34,21	5,39	39,63	3,7	7,19	11,39	31,78	6,13	39,66	4,3	5,78	12,62
27.03.2000	30,24	10,51	48,67	6	7,7	16,49	28	8,38	43,6	5,6	5,53	13,83
03.04.2000	31,49	6,98	18,66	4,6	6,76	14	31,01	11,32	65,06	8,3	4,08	16,14
10.04.2000	29,62	6,96	24,3	n. b.	2,89	17,22	27,68	8,04	53,82	6,2	4,28	14,83
17.04.2000	27,76	9,49	65,22	5,8	8,16	15,92	25,41	7,67	31,11	5,2	6,65	16,99
25.04.2000	23,45	6,04	18,68	6,3	8,05	15,98	23,01	6,84	30,88	5,1	6,46	14,92
02.05.2000	21,21	n. b.	29,83	7,2	5,85	18,88	18,94	8,97	31,66	4,4	6,51	15,29
08.05.2000	18,64	11,66	39,25	8,6	4,62	20,96	16,84	10,91	46,75	5,5	4,15	15,96
15.05.2000	21,62	8,49	60,32	7	9,41	19,49	20,72	6,81	59,32	5	8,63	14,63
22.05.2000	27,8	11,68	28,79	7,4	5,02	18,44	24,02	7,46	49,93	4,9	7,17	14,55
29.05.2000	23,59	7,99	44,69	6,8	7,63	18,67	20,75	9,33	54,8	5,8	5,76	17,76
06.06.2000	21,63	10,75	41,45	7,3	5,63	19,75	17,42	7,96	25,24	5,5	6,78	17,76
13.06.2000	17,18	8,5	55,57	7,9	8,63	21,92	16,85	10,89	47,64	7,3	8,05	22,14
19.06.2000	13,43	13,83	45,32	8,9	6,47	23,53	14,61	7,72	49,67	6	8,62	20,79
26.06.2000	23,05	10,58	39,58	6,7	7,66	21,91	16,16	13,09	36,44	7	4,08	21,52
03.07.2000	16,14	12,71	32,46	10,6	6,16	24,69	13,21	8,57	71,05	6,4	8,81	23,35
10.07.2000	22,98	9,14	28,3	6,9	8,96	21,35	22,09	9,57	70,28	5,3	7,46	18,96
17.07.2000	24,92	11,69	n. b.	6,3	7,09	20,81	23,42	7,04	11,14	4,7	7,18	16,06
24.07.2000	17,42	7,21	49,4	6,7	8,26	21,63	17,14	7,81	56,77	5,3	7,48	19,24
31.07.2000	23,03	9,18	34,69	7,5	7,73	24,65	20,44	9,06	43,51	5,4	7,33	18,77
07.08.2000	25,48	9,06	n. b.	6,6	8,3	20,11	22,81	7,73	n. b.	4,9	8,52	18,86
14.08.2000	23,64	10,42	47,26	7,2	6,32	23,74	21,4	7,02	65,1	5,2	9,13	21,96
21.08.2000	21,58	18,8	45,97	14,3	4,25	32,3	19,41	16,63	47,04	12	6,97	25,4
28.08.2000	23,8	11,69	19,76	9,4	7,54	26,93	20,69	14,02	43,08	5,5	9,23	20,41
04.09.2000	25,03	12,95	76,26	9,5	7,82	26,72	23,28	11,61	68,88	6,3	4,85	18,92
11.09.2000	21,69	11,17	46,97	8,4	8,38	29,15	21,62	10,54	49,77	5	6,74	20,95
18.09.2000	26,82	12,9	25,49	9,8	4,69	24,82	23,99	10,82	55,27	n. b.	5,68	14,96
25.09.2000	30,21	7,16	30,49	6,8	7,75	20,76	26,01	6,8	58,91	5,6	8,5	20,23
02.10.2000	28,78	8,79	35,41	8,1	7,87	24,45	23,23	4,55	17,65	5,1	10,66	19,67
09.10.2000	31,68	14,63	54,06	4,5	1,93	16,83	26,07	12,38	62,18	4,6	7,57	18,33
16.10.2000	30,97	9,96	25,8	4,9	7,59	18,46	27,06	8,28	32,69	5,2	6,29	18,67
23.10.2000	27,89	16,89	39,55	7,4	5,05	19,82	27,27	10,16	22,86	6	9,24	21,85
30.10.2000	32,78	17,17	18,68	6,1	7,06	19,05	24,78	9,95	30,61	5,6	8,53	19,08
06.11.2000	29,14	9,07	51,03	4,8	8,15	17,18	25,85	7,08	60,45	4,7	9,54	19,24
13.11.2000	26,33	12,46	55,11	5,2	4,8	19,17	23,35	6,86	54,95	5,8	7,27	19,15
20.11.2000	30,74	9,83	55,65	5,1	6,44	20,37	23,92	6,85	61,29	4,2	7,69	19,67
27.11.2000	28,42	12,94	73,42	5,2	7,12	16,26	22,84	7,6	76,17	n. b.	4,7	18,15
04.12.2000	27,89	7,75	53,23	4,9	6,81	16,8	22,84	6,6	42,95	6,6	6,35	18,41
11.12.2000	32,12	8,11	33,97	5,3	6,92	16,94	24,45	7,45	32,76	6,3	6,77	18,97
18.12.2000	33,65	8,33	53,78	n. b.	4,15	n. b.	24,48	12,96	58,66	5,6	6,82	18,31
28.12.2000	34,3	12,35	44	8	8,27	15,17	30,08	7,58	44,71	5,3	6,85	17,48

Grau unterlegte Werte wurden als WEOM<sub>U</sub> mit DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> (Tabelle 19) verglichen.

Tabelle 12: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Hohertragsflächen.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	29,73	11,13	6,03	8,5	9,07	20,19	22,46	6,85	19,37	6	8,26	14,62
19.05.1999	25,46	11,27	25,53	10,4	8,75	23,69	24,29	7,94	13,24	6,5	8,13	15,97
26.05.1999	27,26	11,29	17,64	8,8	6,34	21,07	23,5	9,34	35,39	6,5	7,46	16,71
31.05.1999	21,15	15,02	27,33	10,5	7,9	25	21,64	7,08	18,4	6,7	8,89	18,98
08.06.1999	27,2	11,88	29,92	9	7,42	22,99	23,02	11,12	24,84	5,6	4,59	16,35
14.06.1999	20,33	14,1	n. b.	10	6,45	24,66	20,3	8,3	n. b.	6,5	7,11	18,64
21.06.1999	23,83	15	31,58	12,3	9,29	25,36	22,95	8,23	52,55	6,5	8,64	17,17
28.06.1999	22,05	11,81	13,93	10,5	8,33	25,46	20,3	7,71	29,67	5,9	8,17	17,05
05.07.1999	17,6	19,13	25,54	14,8	8,55	33,63	18,77	21,07	39,11	7,2	4,31	22,49
12.07.1999	27,27	14,11	20,39	11,4	9,22	27,05	26,39	10,93	28,38	7,1	6,46	19,66
19.07.1999	20,21	13,18	15,78	12	5,91	30,37	20,17	5,81	0,84	6,9	11,19	23,02
26.07.1999	22,49	15,88	28,39	13,4	7,99	30,32	20,51	9,99	40,88	6,7	7,59	20,26
02.08.1999	17,57	15,78	31,75	14,1	8,62	32,22	18,92	6,46	45,02	5,7	9,38	18,13
09.08.1999	19,87	12,97	17,9	12	8,8	30,05	17,9	10,35	36,05	n. b.	5,4	23,5
16.08.1999	24,05	11,65	26,27	10,6	8,69	28,31	19,77	9,8	26	6,5	7,57	18,55
23.08.1999	19,42	12,77	23,93	10,7	8,57	28,66	19,12	8,85	32,72	6,6	7,74	20,5
30.08.1999	20,28	15,65	20,03	14,1	9,24	38,34	19,04	10,25	16,59	7,7	7,72	24,87
06.09.1999	15,75	15,36	25,6	13,5	8,8	33,41	16,65	9,29	25,54	6,9	7,18	19,04
13.09.1999	15,21	17,89	35,01	13,8	9,02	37,87	15,75	10,29	24,92	7,4	8,29	23,62
17.09.1999	15,2	13,25	31,61	12,3	5,94	32,09	15,79	9,67	34,7	7,5	5,66	22,66
27.09.1999	22,18	21,62	33,82	15,3	7,94	33,73	18,09	8,76	18,94	6,3	7,59	22,81
04.10.1999	24,76	12,62	17,31	11	4,7	27,86	19,6	11,16	38,28	7,2	5,71	16,78
11.10.1999	22,63	11,73	25,46	10,7	8,27	29,06	20,55	8,05	33,4	5,3	8,16	18,6
18.10.1999	19,46	12,79	34,47	9,7	9,81	26,1	18,64	7,54	n. b.	5,1	7,21	16,99
26.10.1999	20,5	14,77	41,59	13	8,01	36,02	18,91	23,29	56,13	11,9	5,25	28,64
02.11.1999	24,22	24,23	45,66	11	9,24	25,94	23,01	8,83	38,25	8	11,06	22,42
08.11.1999	28,29	9,68	30,3	8,9	6,82	23,43	24,56	9,42	40,12	7,9	7,9	18,48
15.11.1999	28,81	14,03	29,5	7,3	5,13	19,83	25,07	16,94	39,53	10,7	6,99	29,25
22.11.1999	32,22	10,53	49,64	7,3	7,26	18,44	24,85	8,87	61,98	7,6	8,7	24,14
29.11.1999	28,25	8,26	51,82	6,7	7,55	18,56	24,38	9,73	57,63	8	6,2	20,22
06.12.1999	29,33	6,21	40,03	4,8	6,98	14,52	25,06	9,34	44,48	10,1	6,19	21,02
13.12.1999	28,62	8,3	60,98	5,3	7,61	14,55	26,18	9,47	49,12	7,4	8,18	20,51
20.12.1999	31,27	6,9	58,3	3,9	5,42	11,33	27,94	8,65	63,34	5,8	6,96	13,65
03.01.2000	34,22	14,56	52,18	4,6	8,66	14,07	32,26	11,67	50,1	6	6,16	17,15
10.01.2000	28,71	6,72	50,68	4,4	5,79	15,07	25,46	5,8	41,52	5,6	10,19	17,84
17.01.2000	32,84	14,3	51,48	6,3	4,71	15,41	22,5	11,65	51,6	n. b.	2,95	15,13
24.01.2000	46,34	16,37	49,58	5,2	6,13	12,12	25,78	8,76	36,68	5,3	7,74	15,79
31.01.2000	34,73	8,69	n. b.	4,7	4,58	13,32	28,62	6,39	n. b.	5,4	8,71	15,66
07.02.2000	31,26	9,19	30,13	5,3	7,24	14,62	27,9	7,5	40,48	5,8	4,41	15,19
14.02.2000	29,65	8,42	33,99	5	5,09	14,6	27,21	13,02	38,03	6,4	5,09	16,15

Untersichene Werte wurden mit WEOM aus der Pflanzreihe (Tabelle 17), grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 20) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 12.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$
21.02.2000	34,96	3,46	73,04	3,9	5,74	9,59	28,97	4,35	59,02	5,2	6,09	13,76
28.02.2000	30,8	4,55	33,86	4,8	6,75	12,22	30,09	5,2	41,07	5,1	7,23	14,11
06.03.2000	32,4	4,35	58,49	3,4	3,69	11,3	28,42	4,93	54,16	4,2	6,83	13,52
13.03.2000	27,27	6,72	75,19	4,6	6,81	12,9	24,89	5,95	68,23	4,4	7,68	13,57
20.03.2000	34,12	4,85	45,34	3,4	7,53	10,71	30,95	4,64	44,04	4	7,72	12,53
27.03.2000	31,31	7,51	56,06	5,4	5,43	16,16	28,55	7,05	45,9	6	8,75	17,25
03.04.2000	33,13	7,96	58,52	4,4	2,62	13,09	33,54	7,73	40,93	5,1	7,38	15,46
10.04.2000	31,25	8,58	32,13	n. b.	7,39	18,12	27,34	7,12	31,93	n. b.	3,56	17,3
17.04.2000	28,21	7,18	26,07	4,8	4,1	15,02	27,35	4,78	39,66	3,9	8,12	14,5
25.04.2000	25,52	10,52	34,76	7	4,52	16,04	23,04	6,69	31,44	5,2	7,55	15,6
02.05.2000	21,23	n. b.	37,97	8	3,7	18,4	20,24	12,38	32,03	6,1	3,72	16,88
08.05.2000	19,47	16,93	39,1	12	8,76	21,22	17,68	9,28	84,26	5,8	5,11	16,45
15.05.2000	22,96	9,08	67,82	6,9	6,06	17,97	19,48	7,2	55,41	5,3	7,37	15,94
22.05.2000	27,78	9,44	n. b.	6,7	8,37	16,61	23,65	8,75	62,55	6,2	9,09	19,05
29.05.2000	25,74	9,1	45,88	7,1	8,35	19,65	21,27	7,75	57,93	6	8,26	19,05
06.06.2000	21,68	10,13	28,55	7,3	5,87	22,02	21,2	8,25	44,12	5,7	8,02	18,03
13.06.2000	16,32	11,21	44,59	8	8,35	20,27	15,53	10,74	51,92	6,9	6,49	19,82
19.06.2000	15,02	11,4	47,5	9	6,26	24,28	15,36	8,85	41,9	7,1	9,24	23,36
26.06.2000	24,44	12,89	52,34	6,7	8,17	22,57	17,93	8,92	33,57	7,7	7,32	21,42
03.07.2000	18,11	12,61	17,1	9,1	4,47	27,21	14,31	11,06	48,02	7,8	5,26	26,31
10.07.2000	24,44	12,2	40,13	8,8	8,5	22,76	20,29	9,36	60,75	6,3	8,84	22,92
17.07.2000	25,51	10,99	4,79	6,6	6,49	22,1	21,82	10,57	43,38	5,4	3,1	15,88
24.07.2000	21,92	8,81	30,95	7,3	7,11	20,9	20,1	5,18	36,92	5,5	10,18	20,6
31.07.2000	23,1	14,48	34,95	7,8	8,12	25,58	20,98	10,46	58,75	6,6	6,83	22,21
07.08.2000	27,76	11,95	n. b.	7,1	9,37	22,78	22,64	10,02	60,46	9,3	7,16	22,73
14.08.2000	22,73	7,31	30,34	6,1	7,75	22,23	19,92	5,86	58,86	5,1	9,51	19,97
21.08.2000	22,64	17,8	42,07	13,5	6,43	34,31	23,14	15,93	24,04	n. b.	8	26,08
28.08.2000	25,31	24,68	32,91	15,5	7,27	34,09	23,46	21,08	54,96	8,4	6,98	22,85
04.09.2000	23,8	9,94	90,37	n. b.	7,57	21,5	23,84	10,77	88,96	5,5	7,65	17,84
11.09.2000	23,46	12,71	41,67	10,1	6,08	33,22	23,52	7,14	42,96	5	7,34	22,73
18.09.2000	29,96	15,39	17,38	n. b.	6,76	28,14	24,62	9,09	27,62	4,6	8,98	22,2
25.09.2000	30,78	11,18	45,3	8,5	9,1	24,95	26,34	8,63	39,72	9,7	6,62	25,13
02.10.2000	27,83	10,13	13,6	8,3	6,06	25,08	21,66	6,41	45,66	5,1	7,48	20,01
09.10.2000	36,35	18,77	59,63	n. b.	4,38	20,6	29,71	14,26	54,63	n. b.	4,87	22,51
16.10.2000	33,14	9,53	37,93	9,3	6,28	17,09	28,81	9,98	48,42	5,2	7,95	19,93
23.10.2000	28,8	9,64	27,27	7,2	5,97	19,96	24,08	9,32	7,94	5,8	8,16	20,58
30.10.2000	32,78	16,31	n. b.	8,8	6,84	21,4	25,33	8,18	13,59	5,3	8,23	19,64
06.11.2000	28,74	11,9	49,25	7	5,04	21,78	24,78	8,82	60,5	5,1	7,31	19,68
13.11.2000	29,34	17,29	63,97	11,1	7,67	23,01	22,92	18,38	64,64	6,5	1,44	20,2
20.11.2000	31,75	10,47	64,84	5,1	6,89	20,21	23,96	10,9	64,69	4,5	6,83	21,28
27.11.2000	31,46	8,88	63,29	7,3	5,07	17,4	22,91	7,38	59,21	6,7	7,27	19,12
04.12.2000	28,16	9,6	35,46	6,7	5,13	19,53	21,67	6,28	53,55	7	6,3	18,92
11.12.2000	33,16	11,89	60,82	5,7	6,04	17,26	27,37	7,84	37,19	5,6	5,87	19,56
18.12.2000	33,17	23,38	54,29	n. b.	7	n. b.	25,21	12,45	44,47	6,9	7,77	20,93
28.12.2000	27,92	7,67	48,63	4,5	5,93	15,4	29,68	8,02	44,6	4,9	6,27	16,43

Grau unterlegte Werte wurden als WEOM<sub>U</sub> mit DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> (Tabelle 20) verglichen.

Tabelle 13: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Niederertragsflächen

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	27,3	9,12	n. b.	6,5	6,89	14,41	22,75	7,3	20,99	5,3	5,5	12,26
19.05.1999	24,48	8,67	38,69	6,4	6,88	14,71	21,61	6,9	n. b.	5,4	5,56	12,96
26.05.1999	20,34	14,26	40,38	6,8	4,34	14,08	21,41	8,23	24,99	4,6	5,27	11,82
31.05.1999	17,18	10,93	36,48	8,1	7,17	17,66	19,67	10,32	47,14	n. b.	4,02	18,97
08.06.1999	22,68	10,18	n. b.	7,2	5,68	16,74	20,61	13,47	16,73	5	1,97	14,41
14.06.1999	17,72	10,09	n. b.	8,4	6,65	19,84	21,18	9,31	n. b.	6,3	4,9	13,62
21.06.1999	23,24	10,48	28,6	7,4	6,56	16,95	21,49	10	24,95	5,2	4,88	14,2
28.06.1999	18,52	5,69	22,96	3,6	7,65	11,9	18,81	7,99	53,1	5,3	4,58	14,18
05.07.1999	15,62	14,83	14,43	10,3	7,75	25,94	15,84	8,94	17,4	6,7	7,36	17,72
12.07.1999	27,81	11,75	14,19	8,1	5,37	18,1	25	7,27	21,08	4,6	4,18	13,08
19.07.1999	17,83	8,9	n. b.	8,4	7,51	22,85	17,71	5,43	n. b.	4,4	4,63	13,96
26.07.1999	19,06	13,54	32,25	9,2	4,07	20,78	18,7	6,68	33,5	6,2	4,21	14,12
02.08.1999	14,52	11,51	33,33	8,5	6,14	20,97	15,4	6,91	43,46	4,8	5	14,15
09.08.1999	15,25	12,39	28,19	9,6	5,92	23,51	13,69	12,13	20,06	5,8	3,45	16,54
16.08.1999	19,2	11,85	21,54	7,3	5,39	17,59	15,85	7,58	72,73	4,7	4,59	12,87
23.08.1999	13,95	9,25	30,38	7,2	6,28	19,93	14,07	6,34	11	4,1	4,8	13,95
30.08.1999	12,09	10,95	17,92	8,2	6,03	24,37	13,29	11,8	37,3	5,8	3,58	17,11
06.09.1999	10,89	9,66	7,5	8,2	6,86	23,16	13,37	8,09	3,09	5,2	4,4	15,34
13.09.1999	9,4	14,15	27,2	9,2	5,64	26,07	12,05	10,04	33,49	4,5	4,58	14,8
17.09.1999	9,91	16,7	35,1	8,6	4,09	23,92	12,02	25,48	55,22	9,8	1,55	22,84
27.09.1999	18,79	14,56	27,3	11	4,96	29,46	12,54	11,12	30,39	5,1	3,83	15,86
04.10.1999	21,57	12,47	31,56	7,4	4,93	17,64	18,27	8,55	21,64	7,5	4,17	15,35
11.10.1999	20,02	16,48	41,75	7	4,92	18,12	18,97	7,92	27,16	3,3	6,83	14,29
18.10.1999	15,56	14,57	52,76	7,3	4,91	18,94	16,05	11,48	10,41	5,2	3,99	14,33
26.10.1999	19,86	14,3	33,99	10,4	7,64	28,56	17,43	10,29	29,73	8,5	9,41	24,96
02.11.1999	21,45	17,02	42,74	7	5,22	15,39	22,16	11,19	39,02	4,6	7,13	13,32
08.11.1999	27,46	7,56	15,61	6,2	7,17	15,45	22,84	10,65	30,41	6,6	5,84	15,21
15.11.1999	26,93	14,17	28,49	5,6	4,26	15,83	23,67	11,44	37,61	6,6	6,91	17,83
22.11.1999	28,89	6,44	58,1	4,1	4,95	13,03	23,82	5,02	62,4	4,5	5,72	14,83
29.11.1999	27,69	5,64	46,05	4,5	5,74	12,23	24,87	7,43	67,66	5,6	4,54	15,28
06.12.1999	28,71	7,65	31,84	3,7	4,55	11,29	22,7	5,47	45,28	5,4	5,96	13,83
13.12.1999	26,98	6,79	53,6	3,5	5,75	10,67	25,39	8,48	48,48	4,5	6,06	14,21
20.12.1999	28,1	7,86	38,27	2,7	5,13	7,38	24,79	8,15	44,22	4,2	5,17	11,24
03.01.2000	28,46	16,19	48,93	3,7	3,47	10,04	26,95	8,07	36,61	4,6	6,45	14,04
10.01.2000	26,44	7,15	46,03	3,1	4,21	8,45	25,7	5,7	43,82	3,9	7,47	12,1
17.01.2000	28,94	16,42	58,01	4,7	2,82	9,55	24,7	5,86	9,65	3,3	5,5	9,64
24.01.2000	33,85	6,75	42,24	2,6	5,21	7,86	26,36	5,91	44,19	3,9	6,73	11,61
31.01.2000	29,78	11,76	n. b.	3,4	3,13	9,72	30,23	7,78	n. b.	3,2	4,43	10,15
07.02.2000	27,6	8,03	56,37	3,7	3,4	9,21	27,44	7,77	47	4,4	5,39	11,68
14.02.2000	27,85	8,47	26,12	3,3	4,49	9,82	23,83	7,69	38,37	3,3	5,82	10,38

Grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 21) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 13.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	F <sub>mk</sub>
21.02.2000	31,9	3,69	54,89	2	4,21	6,55	27,06	n. b.	65,2	4	2,8	10,65
28.02.2000	26,02	4,54	30,25	2,6	3,89	7,25	26,24	4,83	66,34	3,7	5,3	11,03
06.03.2000	27,01	3,85	62,67	2,4	3,59	8	27,01	4,55	62,36	3,6	5,47	11,47
13.03.2000	25,05	5,38	62,56	2,8	3,08	8,19	24,12	5,05	76,51	3,2	7,15	10,58
20.03.2000	27,08	4,36	52	2,1	4,15	7,23	27,44	5,95	26,06	3	5,46	9,51
27.03.2000	30,7	10,71	49,53	4	3,31	10,45	28,2	6,57	44,03	4,2	6,45	11,9
03.04.2000	25	6,15	57,05	n. b.	2,26	12,8	26,21	5,8	41,74	3,1	5,25	9,81
10.04.2000	22,75	7,55	48,17	3	2,72	13,59	24,65	8,93	35,06	n. b.	3	13,14
17.04.2000	24,18	7	35,33	3,1	4,92	9,95	23,62	6,49	53,74	3,2	5,72	11,93
25.04.2000	21,65	6,41	36,08	4,8	5,2	11,5	21,9	7,48	38,63	3,8	5,72	11,78
02.05.2000	16,85	3,12	35,96	n. b.	4,05	19,17	19,91	12,06	24,6	3,9	6,63	12,5
08.05.2000	18,56	7,99	77,73	4,8	4,42	13,6	17,05	8,42	61,53	4,9	4,93	14,39
15.05.2000	19,65	7,39	54,01	4,1	5,73	12,02	19,43	5,63	57,16	3,1	7,07	11,42
22.05.2000	26,26	8,79	51,8	4,5	5,3	11,05	22,24	n. b.	48,68	4,2	4,11	11,27
29.05.2000	22,51	7,7	49,18	4,8	6,9	15,05	18,09	6,99	60,59	4,2	6,85	14,02
06.06.2000	19,01	9,98	39,67	5,8	5,03	16,45	16,69	6,22	27,82	3,6	5,98	12,09
13.06.2000	12,87	9,75	39,24	6,8	5,37	17,85	13,39	7,34	36,43	5,1	7,42	16,53
19.06.2000	11,49	10,82	61,81	6,2	5,96	18,65	12,85	9,27	54,78	4,5	6,18	15,59
26.06.2000	21,24	10	42,74	8,9	5,73	15,69	14,56	n. b.	31,38	5,3	5,44	22,91
03.07.2000	14,71	9,69	11,76	8,5	6,42	20,61	12,07	7,81	18,45	6,7	6,93	18,16
10.07.2000	21,69	9,64	46,02	5,6	6,5	18,23	19,44	6,28	48,78	4,1	8,64	16,06
17.07.2000	23,18	12,42	55,64	6,5	4,19	17,42	20,56	5,23	58,03	4,3	8,06	15,74
24.07.2000	19,08	5,28	40,98	4,2	7,85	14,82	19,31	7,86	60,05	3,8	6,2	14,24
31.07.2000	23,16	13,84	36,8	5,8	5,27	17,45	21,48	8,39	54,44	4	6,22	14,78
07.08.2000	23,12	11,34	n. b.	4,9	3,52	15,1	22,83	7,53	18,37	3,9	6,58	14,62
14.08.2000	21,44	8,81	24,15	4,5	5,56	15,38	21,55	5,99	52,05	3,7	7,37	14,56
21.08.2000	20,36	11,47	38,86	6,6	6,57	19,95	22,2	8,66	42,39	4	6,73	12,94
28.08.2000	21,45	18,14	35,25	10,5	5,87	23,41	22,55	17,84	62,64	5,1	6,64	17,13
04.09.2000	22,17	9,44	82,56	5,5	5,51	14,88	23,16	10,13	76,52	6,9	6,25	20,56
11.09.2000	20,59	11,52	39,13	7,7	7,1	23,45	22,24	9,68	72,59	2,9	5,84	15,38
18.09.2000	25,89	12,33	40,89	7	6,11	22,7	25,18	8,9	35,77	3,3	6,2	15,48
25.09.2000	24,8	7,63	50,21	4,7	5,87	17,15	24,36	5,57	56,19	5,2	5,88	15,38
02.10.2000	24,82	7,32	24,56	5,9	8,06	19,78	21,26	6,21	30,74	4,2	7,6	15,77
09.10.2000	28,75	14,46	60,2	n. b.	4,45	13,05	26,45	12,84	58,97	5,5	5,02	14,71
16.10.2000	27,59	11,81	55,67	4,8	3,9	14,37	23,2	6,18	20	3,1	6,21	14,27
23.10.2000	27,3	8,76	n. b.	4,7	5,38	15,29	26,28	10,33	39,99	4,8	6,65	16,53
30.10.2000	27,72	n. b.	65,1	n. b.	7,38	20,56	27,58	15,13	15,96	7	5,19	17,66
06.11.2000	27,85	8,78	65,15	3,9	5,53	14,33	25,45	9,86	61,7	4,1	4,5	15,5
13.11.2000	26,74	10,52	67,1	3,6	5,08	15,34	24,95	13,38	68,93	3,7	3,85	17,11
20.11.2000	30,74	11,86	58,53	4,3	3,71	16,63	25,8	12,53	80,54	4,4	3,76	17,78
27.11.2000	29,79	9,59	58,75	5	5,85	14,77	24,45	18,02	63,64	6,4	2,49	14,85
04.12.2000	26,37	9,27	22,75	7,8	7,03	20,71	24,96	7,95	56,32	8,6	7,14	23,76
11.12.2000	31,6	8,6	30,9	7,9	8,8	24,8	23,55	7,24	47,57	4,5	5,43	15,58
18.12.2000	30,74	11,01	27,07	n. b.	4,96	14,51	25,23	12,4	60,87	6,3	6,44	19,44
28.12.2000	32,25	8,78	50,67	4,2	3,48	12,28	26,52	7,27	43,87	4,3	5,31	12,93

Grau unterlegte Werte wurden als WEOM<sub>U</sub> mit DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> (Tabelle 21) verglichen.

Tabelle 14: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: konventionelle Düngung, Niederertragsflächen.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	24,59	7,08	n. b.	5,1	7	12,12	22,39	6,02	18,02	3,4	6,81	10,46
19.05.1999	16,51	9,79	27,66	5,9	5,93	14,19	21,4	7	n. b.	4,5	6,67	11,65
26.05.1999	20,85	12,19	19,21	9,8	4,55	16,68	20,49	10,41	33,76	4,6	4,84	11,92
31.05.1999	18,76	10,77	36,75	8,4	8,06	19,46	19,63	10,41	11,1	5,5	4,85	14,94
08.06.1999	23,52	12,93	n. b.	9,4	4,37	17,95	23,31	7,61	13,37	4,5	6	13,33
14.06.1999	17,93	12,24	n. b.	8,4	4,77	17,15	21,4	10,72	n. b.	5,3	4,54	12,85
21.06.1999	21,01	8,97	37,65	6,6	7,01	15,8	20,49	8,35	21,01	4	6,2	11,87
28.06.1999	21,02	11,1	9,62	7,5	6,27	17,22	20,07	6,55	34,5	3,8	6,96	11,96
05.07.1999	13,52	17,88	27,33	8,5	5,37	21,66	16,59	15,38	27,8	5,8	4,1	16,27
12.07.1999	22,26	10,08	17,23	6,5	6,23	16,44	22,03	6,91	33,51	4,7	4,21	13,03
19.07.1999	16,58	8,13	30,5	7,4	7,59	21,15	17,78	5,09	n. b.	5,1	7,01	15,6
26.07.1999	17,24	8,73	33,03	7,2	6,8	17,3	17,65	6,54	43,91	4,8	4,49	13,53
02.08.1999	14,15	16,3	38,91	10,5	5,86	23,92	15,95	12,03	39,69	9,2	4,56	16,95
09.08.1999	14,87	13,25	28,13	11	6,49	24,04	14,22	11,14	48,03	8,1	4,04	16,18
16.08.1999	18,3	16,99	39,02	9,3	4,98	22,83	15,32	9,56	32,36	5,1	3,99	14,14
23.08.1999	13,51	10,78	22,94	7,7	5,39	21,32	14,45	7,98	7,8	4,2	3,8	13,55
30.08.1999	11,76	15,68	21,96	8,3	3,56	23,18	13,77	7,83	28,12	5,1	2,76	15,58
06.09.1999	10,55	13,02	17,48	8,1	4,49	21,8	12,48	7,95	3,5	4,8	5,06	15,38
13.09.1999	10,05	21,05	34,75	10,5	4,72	28,66	11,88	13,37	31,21	6,5	4,41	18,18
17.09.1999	9,92	14,14	30,17	7,8	4,88	23,27	12,31	8,98	31,82	5,4	3,94	15,86
27.09.1999	17,93	17,69	40,57	10,9	5,43	28,3	13,19	9,83	22,67	4,4	4,71	15,93
04.10.1999	21,56	14,99	34,33	n. b.	4,05	19,79	18,75	9,3	37,91	n. b.	5,69	14,91
11.10.1999	20,5	10,43	45,28	6,9	7,85	22,55	19,5	9,68	33,47	5,2	5,57	16,24
18.10.1999	16,73	13,55	46,27	7,7	5,45	21,67	17,64	15,95	39,81	5,4	4,86	14,86
26.10.1999	19,59	10,6	27	8,6	8,47	25,01	16,84	12,69	50,88	8	6,63	22,57
02.11.1999	22,64	11,48	44,85	7,1	7,45	17,55	21,25	12,95	37,79	6,6	6,43	16,47
08.11.1999	26,98	7,52	29,66	6,6	6,85	14,91	22,25	11,08	39,76	6,8	6,25	16,46
15.11.1999	27,21	14,74	19,17	5,7	4,78	15,35	22,78	12,36	46,1	6	6,52	16,59
22.11.1999	30,38	7,41	55,25	4,5	5,5	14,25	23,36	9,16	59,26	6,4	5,95	18,87
29.11.1999	27,1	7,73	35,31	5,8	5,78	14,29	24,66	7,7	46,58	5,8	5,54	15,65
06.12.1999	28,5	4,92	23,76	3,4	7,4	11,62	23,75	5,77	46,48	4,4	8,22	14,14
13.12.1999	23,65	6,04	59,16	3,7	7,01	11,56	24,42	8,8	57,77	5,2	7,09	15,69
20.12.1999	29,74	7,08	53,73	2,8	5,87	8,19	26,35	7,94	58,6	4,2	5,88	11,7
03.01.2000	26,99	13,1	51,94	3,7	5,69	11,24	26,47	9,88	46,67	4,8	5,01	14,07
10.01.2000	27,12	10,33	56,19	4,6	4,04	12,61	25,86	6,71	50,62	4,7	6,04	13,7
17.01.2000	27,33	19,55	60,61	6	3,02	11,89	22,26	5,27	51,17	3,8	7,39	11,25
24.01.2000	32,39	6,43	48,18	2,6	5,15	7,76	27,79	7,14	31,05	4	7,18	12,15
31.01.2000	29	8,19	n. b.	4	4,89	11,93	27,98	7,84	n. b.	4,6	7,06	13,75
07.02.2000	26,44	3,94	47,38	3,1	5,2	8,21	26,51	5,13	24,34	2,6	5,17	7,78
14.02.2000	29	7,19	22,79	3,7	6,58	11,03	25,88	n. b.	26,8	n. b.	3,31	13,49

Grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 22) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 14.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$
21.02.2000	34,54	7,52	83,38	3,1	4,93	7,79	26,61	4,33	53,96	4,1	5,12	10,77
28.02.2000	27,65	n. b.	35,21	3	5,05	8,64	25,96	4,88	67,59	4,6	6,08	12,68
06.03.2000	28,27	7,4	62,45	3,8	3,49	11,28	26,27	16,88	68,66	5,6	1,68	13,19
13.03.2000	25,22	6,95	68,93	3,9	4,14	8,17	23,88	6,88	66,48	4,1	5,59	12,07
20.03.2000	28,92	5,52	28,7	2,4	2,72	7,69	27,62	9,01	38,61	3,5	4,47	9,86
27.03.2000	26,15	7,13	47,03	3,5	5,33	10,14	26,86	8,55	43,94	4,5	5,1	11,92
03.04.2000	27,68	4,66	35,61	3,5	6,57	10,57	26,1	11,6	28,24	3,2	3,6	10,4
10.04.2000	22,69	7,08	39,65	4	4,73	10,29	25,31	7,32	61,25	4,3	5,1	10,03
17.04.2000	24,04	5,34	53,33	3,5	7,48	11,95	22,81	5,37	49,32	3,3	6,93	12,44
25.04.2000	21,89	8,51	33,1	5,6	4,33	13,38	22,38	7	12,55	3,8	5,63	11,69
02.05.2000	19,02	n. b.	n. b.	7,3	4,14	17,36	19,25	9,71	25,86	4,7	6,23	13,66
08.05.2000	18	8,73	68,97	5,6	4,09	14,37	16,69	5,61	78,93	4,1	5,41	12,64
15.05.2000	19,35	12,72	41,87	6,8	5,71	17,31	19,17	9,14	48,01	4,6	5,71	13,52
22.05.2000	28,91	10,84	50,35	4,9	4,71	12,67	20,05	6,52	42,37	3,9	5,36	12,11
29.05.2000	21,9	11,97	56,35	5,7	4,3	14,13	17,93	7,74	34,84	4,8	6,67	13,56
06.06.2000	19,01	4,79	22,1	4,3	7,7	12,95	18,42	7,96	51,66	4,5	6,51	13,05
13.06.2000	14,31	7,89	46,09	7,4	8,51	22,66	14,69	5,84	28,48	4,3	7,22	14,64
19.06.2000	11,82	12,74	42,66	5,5	5,78	18,73	13,9	9,99	41,11	5,2	5,57	15,66
26.06.2000	21,17	14,24	49,4	5,3	2,21	16,15	13,03	10,27	24,67	6,2	5,97	17,12
03.07.2000	13,73	9,54	13,32	10	7,69	24,86	11,44	9,87	34,54	9,2	6,64	21,02
10.07.2000	21,63	9,8	19,84	6,4	6,93	17,17	19,23	8,59	48,54	4,7	6,81	14,58
17.07.2000	21,82	14,64	54,16	7,4	4,1	19,08	20,62	7,38	n. b.	3,9	9,11	23,72
24.07.2000	19,09	4,96	42,5	5,3	8,41	18,28	19,38	10,27	53,1	5,6	5,51	18,13
31.07.2000	22,55	13,51	41,72	6,6	5,25	16,96	21,04	8,83	60,02	5	5,79	15,48
07.08.2000	25,51	9,41	n. b.	4,9	6,33	15,95	21,99	10,11	53,04	4,2	6,46	16,05
14.08.2000	21,65	11,52	58,7	6,3	6,59	20,08	21,44	6,16	40,67	4,8	8,77	18,26
21.08.2000	20,78	8,28	51,89	6,3	5,67	17,64	21,14	12,2	56,48	5,3	4,97	16,83
28.08.2000	21,1	14,89	41,96	8	5,57	22,16	22,02	n. b.	58,46	4,3	3,56	15,09
04.09.2000	21,29	6,53	86,79	3,8	5,44	10,84	20,53	7,16	90,92	3,9	7,17	14,71
11.09.2000	19,14	12,88	59,26	5,2	6,63	21,04	20,76	9,61	46,49	3,4	5,96	17,55
18.09.2000	24,72	8,44	55,61	4,2	7,14	17,49	21,42	7,09	44,39	2,1	6,82	16,47
25.09.2000	23,97	7,33	59,57	3,2	5,82	14,91	23,02	6,8	53,56	3	5,41	15,14
02.10.2000	25,67	8,32	26,2	5,8	6,01	18,71	21,14	6,65	n. b.	4,6	6,42	16,2
09.10.2000	30,87	16,06	51,87	4,1	5,11	13,87	24,59	10,94	60,62	2,8	6,27	13,6
16.10.2000	25,62	9,15	31,58	3,1	4,58	11,98	24,41	7,63	23,91	3,9	6,9	16,66
23.10.2000	28,57	9,51	n. b.	n. b.	2,56	21,39	23,41	n. b.	56,97	5,1	5,26	17,01
30.10.2000	27,45	14,99	12,95	5,7	5,46	18,34	23,89	13,17	42,23	n. b.	3,78	21,3
06.11.2000	27,61	9,97	50,3	4,1	4,12	13,25	23,42	8,95	56,97	4,1	5,48	15,87
13.11.2000	25,33	12,2	43,31	4,3	3,27	16,94	22,93	7,87	67,89	2,7	6,03	15,54
20.11.2000	25,88	11,1	54,55	4,4	4,45	16,08	16,6	6,87	75,58	2,8	4,97	14,99
27.11.2000	26,67	9,53	65,48	4,6	4,92	13,97	23,53	14,24	69,17	4,4	4,41	14,72
04.12.2000	28,07	8,74	51,38	6,4	4,35	15,79	23	5,88	40,98	5,5	8,94	21,52
11.12.2000	28,36	8,87	47,5	4,6	4,69	15,59	23,78	6,7	14,95	4	6,3	15,24
18.12.2000	32,34	10,87	57,53	4,7	4,67	13,45	25,5	8,92	56,87	4,7	6,18	16,45
28.12.2000	29,09	8,5	29,54	4,2	4,37	14,13	23,81	7,48	33,37	6,3	3,98	12,54

Grau unterlegte Werte wurden als WEOM<sub>U</sub> mit DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> (Tabelle 22) verglichen.

Tabelle 15: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Ökologischen Anbau: Hohertragsfläche.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	21,7	11,45	17,35	7,9	5,83	15,38	18,39	10,84	19,51	6,3	8,81	15,34
19.05.1999	16,34	14,5	32,85	8	4,49	16,4	15,65	7,82	27,67	5,9	8,19	14,69
26.05.1999	20,6	10,96	27,41	7,4	7,33	16,57	18,56	9,47	n. b.	5,9	7,17	15,46
31.05.1999	16,32	19,6	25,57	11,5	5,62	25,63	15,24	8,62	25,01	7,1	6,81	19,03
08.06.1999	18,31	12,78	n. b.	6,3	8,34	15,5	17,43	9,32	24,55	5,5	8,16	16,34
14.06.1999	17,55	13,49	n. b.	12,7	6,86	24,01	15,48	13,59	n. b.	8,7	6,64	20,32
21.06.1999	19,35	13,45	26,48	8,2	6,84	20,08	15,69	10,89	n. b.	6,2	5,59	17,63
28.06.1999	17,08	12,03	8,22	9	6,04	21,2	14,54	9,67	9,66	6,7	6,28	17,29
05.07.1999	12,13	33,44	40,21	11,4	4,86	25,66	12,29	16,81	37,19	8	5,31	23,23
12.07.1999	22,28	8,17	19,46	5,7	5,72	14,67	19,31	7,41	2,82	6,5	7,29	16,69
19.07.1999	16,86	12,01	27,13	10,7	6,09	23,88	16,53	7,94	13,88	7,3	7,6	23,41
26.07.1999	17,32	20,6	47,57	10,2	6,24	22,91	18,08	8,81	37,5	7,1	7,38	20,8
02.08.1999	11,08	15,39	47,97	10,3	5,7	23,95	12,41	8,91	13,46	7	4,98	21,83
09.08.1999	13,1	18,59	28,03	11	5,21	25,02	12,02	11,02	31,22	7,6	6,48	22,09
16.08.1999	16,67	12,68	27,61	9,6	4,2	22,11	13,38	10,28	13,85	7,1	8,57	21,7
23.08.1999	12,67	12,33	16,96	9,6	5,82	23,18	12,78	9	3,71	6,7	8,14	21,19
30.08.1999	12,01	15,94	30,5	12,7	6,44	30,91	11,65	9,97	29,18	8,4	6,16	24,68
06.09.1999	9,9	15,17	31,44	11,3	6,64	26,56	10,59	11,77	14,8	8,1	5,55	24,16
13.09.1999	9,45	22,97	39,25	11,5	6,04	29,86	10,04	14,34	28,91	8,5	3,93	25,83
17.09.1999	9,75	40,72	58,67	14,8	10,65	34,45	10,06	16,27	20,96	10,7	7,01	26,47
27.09.1999	17,15	19,23	25,89	10,7	7,66	27,67	12,52	9,92	28,54	6	5,22	21,88
04.10.1999	21,07	29,1	56,88	10	9,34	24,74	17,09	11,64	35,72	8,4	6,06	22,46
11.10.1999	17,9	11,88	41,76	8,1	5,17	22,95	13,64	10,89	17,86	7,7	6,34	25,5
18.10.1999	13,94	16,11	43,7	10,8	5,13	26,69	18,09	19,46	11,94	12,1	8,41	26,62
26.10.1999	17,44	11,17	30,44	11	4,85	30,87	19,05	19,97	52,79	12,3	5,49	28,69
02.11.1999	21,03	15,75	37,81	10,4	6,37	22,81	21,78	13,22	31,76	10,2	5,98	24,49
08.11.1999	22,39	6,76	22,26	6,8	6,37	17,78	21,56	19,09	56,2	9,6	6,97	24,49
15.11.1999	26,1	23,66	47,51	10,2	5,75	23,6	21,85	20,21	24,04	10,9	4,39	27,53
22.11.1999	25,99	8,24	62,5	5,3	3,06	16,82	22,21	12,45	56,68	10,5	5,17	30,8
29.11.1999	21,69	9,94	56,52	5,5	7,24	14,82	21,11	12,84	43,2	9,7	7,27	27,87
06.12.1999	24,67	6,35	39,59	3	3,57	10,61	23,93	9,1	44,32	6	4,78	16,75
13.12.1999	24,8	9,35	41,56	5,6	5,95	16,2	22,32	14,02	46,5	8,1	1,68	20,41
20.12.1999	27,66	7,68	64,09	3,5	5,35	10,69	22,12	11,79	51,6	6,8	6,46	15,99
03.01.2000	23,29	13,61	55,1	8,3	6,66	13,72	23,06	12,46	31,38	7,6	6,98	19,49
10.01.2000	22,59	4,87	35,73	3,1	5,55	11,57	22,2	5,62	34,06	4,8	3,1	15,23
17.01.2000	23,5	14,99	60,23	4,9	5,44	11,97	25	13,15	45,88	6,6	6,94	15,25
24.01.2000	28,6	5,81	32,33	3,1	4,86	10,18	24,92	11,21	31,65	6,9	7,89	17,77
31.01.2000	20,79	6,1	n. b.	3,4	3,05	10,38	22,35	6,87	n. b.	5	8,45	14,45
07.02.2000	23,12	3,77	36,11	3,3	3,15	9,66	21,18	12,59	41,52	6,2	7,03	15,55
14.02.2000	23,34	6,47	46,74	3,1	6,06	10,22	20,44	9,39	37,12	5	5,33	14,28

Grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 23) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 15.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$
21.02.2000	27,44	2,96	56,91	3,2	5,32	10,07	20,41	8,72	57,71	6,5	3,97	16,54
28.02.2000	22,91	3,4	32,14	3,1	2,89	9,71	23,83	4,16	38,68	5,4	7,13	13,78
06.03.2000	24,31	3,98	59,52	3,5	4,06	11,21	24,54	21,73	64,33	6,6	7,88	17,43
13.03.2000	21,27	9,52	68,42	5,7	6,23	12,65	20,59	7,67	61,43	5,6	8,33	15,41
20.03.2000	23,31	4,55	42,49	3,1	7,86	10,19	22,84	6,35	29,06	4,6	7,74	13,05
27.03.2000	24,15	5,7	22,22	3,8	7,25	11,54	21,23	7,67	35,68	5,6	6,04	16,39
03.04.2000	20,96	6,24	36,27	3,4	5,53	10,71	23,36	8,48	25,7	n. b.	5,93	20,23
10.04.2000	18,89	6,28	51,59	7,8	6,03	9,05	20,34	4,97	40,95	4,6	8,22	13,75
17.04.2000	19,84	8,09	50,11	4,1	3,56	14,08	18,63	7,15	69,37	5,2	9,38	17,01
25.04.2000	18,52	7,6	n. b.	8,1	8,1	25,91	21,66	6,87	33,36	7,4	4,6	22,64
02.05.2000	17,37	n. b.	24,17	n. b.	8,33	31,1	22,92	14,48	n. b.	8,8	9,54	20,73
08.05.2000	16	10,95	58,18	8,5	6,76	20,59	15,78	10,11	33,16	8,4	5,82	19,9
15.05.2000	17,41	10,3	57,14	6,5	5,1	18,11	17,14	10,07	90,78	6,1	8,73	16,92
22.05.2000	20,77	9,19	34,12	7,3	7,2	18,98	19	9,05	45,97	6,6	8,03	17,8
29.05.2000	19,52	9,56	51,8	7,1	4,54	22,01	17,27	8,85	46,52	6,7	8,52	20,33
06.06.2000	17,54	9,52	14,53	7,9	8,04	23,66	16,51	7,25	47,34	6,6	10,65	18,36
13.06.2000	11,11	7,23	50,17	5,8	5,02	15,79	12,31	10,93	14,05	9,7	n. b.	26,33
19.06.2000	9,52	12,88	51,05	9,5	8,85	25,21	10,82	14,05	20,74	10,5	6,59	27,51
26.06.2000	20,21	11,99	55,12	4,5	4,49	22,69	16,43	9,09	75,4	7,2	8,72	16,37
03.07.2000	13,26	18,37	36,25	12,5	6,48	32,16	11,89	13,89	40,36	12,8	7,08	33,45
10.07.2000	18,84	6,23	60,56	4,4	8	16,51	17,34	8,17	53,26	6,3	11,23	22,82
17.07.2000	21,42	8,44	51,45	5	7,5	20,41	22,38	5,64	58,32	4,7	8,09	16,32
24.07.2000	17,58	5,57	45,28	5,6	8,72	19,21	14,52	7,24	51,68	8	8,15	25,4
31.07.2000	21,01	25,56	51	8,6	9,87	23,34	18,18	16,18	37,66	7,6	9,48	22,95
07.08.2000	23,54	9,19	45,84	5,9	6,77	18,42	20,88	7,96	n. b.	8,9	8,74	23,26
14.08.2000	19,87	10,35	56,85	7,4	7,26	23,51	20,18	9,84	54,5	8,4	10,07	27,65
21.08.2000	17	15,2	52,52	9,9	8,58	27,21	21,23	20,49	48,71	11,1	5,85	30,84
28.08.2000	18,68	12,83	55,47	10,5	5,35	29,6	19	16,1	62,82	8	7,92	25,3
04.09.2000	19,01	13,2	78,27	9,7	6,88	n. b.	21,58	8,43	88,76	7	8,35	n. b.
11.09.2000	19,81	7,73	39,95	6,4	6,44	25,5	20,18	19,19	53,99	11,9	7,52	36,42
18.09.2000	20,69	9,08	28,86	13,5	7,78	26,64	21,8	14,49	41,58	8,6	8,68	34,03
25.09.2000	19,64	5,13	57,64	4,6	9,08	16,83	20,57	9,85	10,84	n. b.	4,22	21,24
02.10.2000	21,59	6,61	13,46	6,2	6,71	21,11	21,02	7,67	37,88	8,6	5,65	29,16
09.10.2000	23,85	12,24	61,37	n. b.	7,25	12,94	23,71	13,43	58,12	5,4	4,96	20,93
16.10.2000	23,24	9,81	22,12	6,3	5,25	19,32	22,96	10,23	50,3	9,5	7,59	25,74
23.10.2000	23,47	8,13	23,18	5,1	6,23	18,02	23,05	11,08	n. b.	6,7	6,35	23,64
30.10.2000	22,49	16,73	44,57	5,6	7,33	17,66	22,2	14,17	27,91	8,8	5,99	24,49
06.11.2000	20,74	6,62	22,61	4,4	5,96	17,81	22,88	7,21	61,2	6	6,68	22,9
13.11.2000	22,57	7,51	45,59	8,1	8,3	17,75	21,7	12,99	62	12,1	7,33	25,03
20.11.2000	22,67	7,09	60,17	4,2	3,72	19,78	23,85	11,87	59,18	6,6	7,12	25,51
27.11.2000	22,9	7,12	79,9	3,6	5,5	11,01	21,04	14,89	78,02	6,1	7,57	20,31
04.12.2000	24,63	6,48	55,46	6,3	8,88	15,83	22,82	10,16	39,63	8,6	6,9	22,56
11.12.2000	24,76	11,67	45,85	8,6	4,6	24,94	24,4	13,63	51,4	13	4,34	34,69
18.12.2000	23,89	10,05	56,85	4,7	7,79	15,07	25,04	21,12	70,36	9,7	4,07	25,99
28.12.2000	25,89	7,76	65,54	4,8	6,77	18,98	23,87	6,44	37,11	5,5	5,37	14,14

Grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 23) verglichen.

Tabelle 16: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Ökologischen Anbau: Niederertragsfläche.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
12.05.1999	23,73	10,18	6,81	7,3	7,48	16,52	20,81	9,02	21,54	6,9	8,54	17,48
19.05.1999	17,38	12,95	31,1	8	5,68	19,22	18,45	9,24	9,98	n. b.	4,99	21
26.05.1999	22,26	12,77	40,16	8,1	6,64	19,35	21,37	11,06	21,25	6,9	7,83	19,16
31.05.1999	16,79	10,71	15,18	8,8	8,27	22,5	17,09	7,79	22,42	7,3	10,24	22,14
08.06.1999	19,89	11,38	n. b.	7	6,13	20,76	20,79	12,69	31,06	7,5	2,29	22,03
14.06.1999	15,77	13,54	n. b.	8,9	6,12	21,38	16,42	8,13	50,28	6,7	9,37	20,06
21.06.1999	20,98	9,79	42,18	7,5	7,81	16,11	17,68	9,36	30,73	6,4	9,25	20,94
28.06.1999	18,7	15,68	11,14	20,4	4,83	26,3	15,88	12,03	35,3	14,3	6,11	21,11
05.07.1999	12,78	14,18	28,63	10	8,83	26,46	13,52	21,35	20,97	9,6	5,59	25,53
12.07.1999	29,47	13,72	27,44	8	5,55	16,85	23,3	12,01	35,95	8,5	7,38	20,94
19.07.1999	17,23	8,67	9,09	7,8	9,33	23,89	18,24	7,07	9,19	7,6	10,61	25,17
26.07.1999	18,66	11,08	41,44	8,7	7,14	22,02	19,74	7,71	38,09	6,9	9,74	20,96
02.08.1999	13,28	18,39	49,03	11,4	7,84	30,18	14,43	13,69	55,34	7,9	7,65	23,28
09.08.1999	14,87	12,1	19,53	10	7,51	26,65	13,56	12,07	26,21	8,6	8,32	23,71
16.08.1999	18,91	12,24	32,68	8,3	6,83	22,83	15,56	10,86	23,7	7,1	7,79	18,85
23.08.1999	14,79	12,91	26,02	11,4	5,73	24,82	14,45	8,86	15,58	7,3	9,92	25,05
30.08.1999	13,58	14,87	31,51	10,8	5,57	30,37	13,34	10,64	28,59	8,1	5,78	26,44
06.09.1999	11,46	14,11	19,98	10,4	6,76	27,8	12,32	9,73	18,56	7,5	9,52	27,27
13.09.1999	11,03	19,26	18,51	12,4	6,89	34,33	12,7	14,4	24,35	8,7	7,64	25,61
17.09.1999	11,24	18,88	31,52	10,8	5,73	30,22	12,26	14,29	44,33	8	6,48	24,23
27.09.1999	16,93	17,2	25,68	10,2	6,05	28,42	13,47	16,36	36,38	8,6	5,65	26,15
04.10.1999	21,35	15,29	26,17	9,2	5,25	24,84	18,31	14,54	35,64	8,8	4,34	23,28
11.10.1999	22	9,83	34,48	7,3	10,55	24,15	18,68	12,3	48,19	6,9	7,3	23,72
18.10.1999	15,13	18,05	45,9	9,5	6,27	27,98	17,64	18,28	11,94	10,6	5,01	27,59
26.10.1999	18,7	14,29	34,11	11,6	9,28	33,6	18,62	17,1	49,03	12,5	7,21	27,07
02.11.1999	21,71	12,6	43,51	8,7	9,18	23,3	21,67	13,01	47,47	8,6	9,33	23,13
08.11.1999	23,83	8,32	30,48	7,9	8,62	22,74	23,31	9,97	26,4	8,8	8,4	23
15.11.1999	26,25	15,23	26,5	7	7,5	21,97	23,04	18,37	33,88	10,1	6,94	27,66
22.11.1999	30,16	7,71	74,85	5,6	7,1	15,88	25,15	9,47	72,08	8,7	9,2	26,16
29.11.1999	25,23	5,53	44,94	5,8	7,24	16,33	23,84	11,77	51,16	8,2	6,06	23,18
06.12.1999	25,43	9,55	48,56	4,5	5,2	14,32	23,25	10,16	52,27	6,2	6,98	17,64
13.12.1999	24,22	9,32	49,45	5,2	6,08	15,92	24,22	11,71	52,55	7,8	7,22	22,73
20.12.1999	23,97	9,13	62,75	4	5,34	10,89	23,37	10,1	54,83	6,3	7,61	15,98
03.01.2000	26,53	19,43	62,14	4,8	5,28	12,98	24,25	11,59	37,58	5,9	7,07	17,65
10.01.2000	25,62	9,23	49,74	7,5	7,14	20,78	24,66	6,91	53,28	5,2	6,11	14,92
17.01.2000	25	13,78	41,1	9	4,2	13,86	24,9	11,5	48,01	6,6	6,02	16,44
24.01.2000	36,1	8,36	35,77	3,4	6,09	11,13	23,52	11,21	25,94	5,2	7,03	14,84
31.01.2000	28,37	5,26	n. b.	3,5	7,73	12,63	26,28	9,25	n. b.	6,5	7,5	18,58
07.02.2000	24,89	6,55	38,17	4,1	5,37	11,58	27,05	7,25	47,59	5,8	9,15	16,56
14.02.2000	26,12	7,88	8,05	3,3	6,05	10,08	23,52	10,38	41	6,2	7,76	17,9

Grau unterlegte Werte wurden als  $WEOM_U$  mit DOM-II und  $WEOM_Z$  (Tabelle 24) verglichen.

Fortsetzung von Tabelle 16.

Datum	0 – 10 cm						10 – 20 cm					
	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{\text{mk}}$
21.02.2000	29,94	3,84	53,31	3,5	5,44	10,28	25,86	n. b.	73,56	6,3	6,85	15,61
28.02.2000	25,23	n. b.	30,02	3,6	4,68	10,48	25,63	7,02	65,3	5	8,16	15,68
06.03.2000	25,23	3,25	60,6	2,6	4,63	9,72	25,29	5,66	58,61	4,8	8,37	16,13
13.03.2000	23,3	6,41	65,99	3,9	6,45	12,27	22,81	7,2	52,49	5,8	9,25	16,61
20.03.2000	26,17	7,52	27,61	4,2	5,28	11,88	25,66	10,06	27,7	6,4	4,82	16,38
27.03.2000	26,48	6,51	58,53	4	6,74	12,72	26,73	8,62	58,6	5,6	7,42	17,19
03.04.2000	27,39	6,15	35,8	4,2	5,6	13,13	18,8	9,59	40,19	5,8	4,07	13,12
10.04.2000	21,36	5,54	57,03	3,9	4,8	12,19	24,11	14,49	23,44	11	3,69	17,6
17.04.2000	21,56	9,43	27,54	5,1	5,45	15,48	24,37	7,85	83,2	5,4	8,11	18,06
25.04.2000	21,97	9,64	34	6,7	6,84	19,49	24,02	8,71	47,11	8,3	8,89	19,26
02.05.2000	17,53	n. b.	18,23	6,4	7,28	18,93	22,66	6,95	41,56	5,9	6,91	17,34
08.05.2000	17,5	9,59	55,89	8,3	7,07	24,39	20,77	10,5	46,73	7,8	5,89	18,78
15.05.2000	19,95	10,73	63,61	6,6	7,25	18,61	21,26	12,06	62,34	7,8	6,91	19,39
22.05.2000	24,95	11,15	33,79	7,3	4,54	20,1	21,56	15,06	45,67	9,3	3,32	21,43
29.05.2000	22,03	8,68	18,61	6,5	7,37	19,39	21,92	9,31	52,3	6,9	8,05	21,58
06.06.2000	19,71	7,46	n. b.	5,4	7,81	17,94	20,09	9,64	44,92	6,9	6,64	21,28
13.06.2000	15,65	7,65	35,36	6,5	8,19	20,58	16,51	10,83	43,83	8,4	7,97	24,6
19.06.2000	11,11	12,7	49,88	8,3	6,97	25,06	14,76	11,31	54,33	8,2	6,74	26,07
26.06.2000	21,74	14,14	67,44	8,1	5,31	22,38	15,41	12,8	64,87	10,6	6,88	23,75
03.07.2000	16,38	7,82	14,27	8,3	8,11	23,41	12,84	10,98	35,16	11,4	8	28,39
10.07.2000	19,09	7,33	23,88	5,3	8,79	19,64	18,03	12,96	63,2	7,9	7,25	25,84
17.07.2000	22,47	8,04	5,14	5	7,74	17,99	22,54	5,89	52,99	6,6	10,16	20,61
24.07.2000	17,45	11,72	49,28	5,9	3,03	18,56	18,95	9,12	41,92	7,3	9,28	26,65
31.07.2000	22,12	11,14	54,08	8,4	7,24	22,7	18,11	7,32	66,92	5,8	10,01	22,01
07.08.2000	26,9	8,64	48,95	6,5	9,38	21,87	20,87	9,11	65,55	7,6	10,35	25,34
14.08.2000	21,82	7,01	29,19	6,6	9,65	23,85	21,82	6,09	46,41	5,9	11,42	24,45
21.08.2000	19,31	14,79	54,39	12,1	8,03	35,04	20,31	15,85	53,4	10,8	7,34	26,33
28.08.2000	18,13	18,74	61,02	14,3	7,58	40,83	22,43	18,88	51,22	7,4	9,69	24,46
04.09.2000	18,43	10,14	87,75	6,6	5,81	21,28	21,91	8,55	71,95	7,1	11,34	24,35
11.09.2000	19,7	10,12	47,83	6,6	9,45	27,4	22,39	8,96	45,9	7,1	11,13	30,6
18.09.2000	25,71	9,47	50,98	5,3	8,33	22,01	23,79	10,1	29,8	6,3	10,26	27,03
25.09.2000	21,67	6,3	58,26	4,8	7,36	20,29	25,51	9,54	35,2	9,5	7,69	26,7
02.10.2000	24,27	6,51	8,93	6,5	9,22	23,18	25,28	8,2	47,15	8,6	10,78	30,48
09.10.2000	25,6	13,24	65,54	4,9	6,11	18,12	27,82	15,57	48,16	6,8	9,56	29,41
16.10.2000	24,5	24,19	36,5	5,5	5,99	20,29	25,79	9,31	36,8	6,5	9	24,7
23.10.2000	25,92	11,35	51,17	7	4,94	19,85	29,48	17,63	24,26	8,4	9,1	30,14
30.10.2000	22,89	14,01	35,97	5,5	7,48	19,52	22,9	11,56	31,78	9,3	9,49	29,89
06.11.2000	25,64	7,76	47,38	4,6	8,09	18,3	24,01	7,45	66,54	5,9	10,54	23,32
13.11.2000	23,16	7,7	45,37	3,9	7,31	18,91	21,15	10,53	70,68	5,9	7,89	25,79
20.11.2000	26,49	8,72	54,13	4,2	6,85	20,03	24,8	12,44	81,31	12,8	5,05	27,64
27.11.2000	26,85	8,84	69,81	5,1	7,17	16,99	24,66	8,46	50,7	6,2	8,35	20,28
04.12.2000	26,55	4,84	60,49	4,2	6,81	16,5	26,05	10,09	40,67	6,5	7,28	24,09
11.12.2000	27,27	13,24	50,55	10,9	7,71	29,84	24,12	9,75	45,11	11,2	11,03	38,82
18.12.2000	27,39	9,89	59,08	5,6	6,72	18,98	27,56	11,32	51,94	6,4	8,29	21,39
28.12.2000	34,18	9,72	34,71	4,8	6,84	17,07	27,46	9,6	33,98	6,1	8,36	20,57

Grau unterlegte Werte wurden als  $\text{WEOM}_U$  mit DOM-II und  $\text{WEOM}_Z$  (Tabelle 24) verglichen.

Tabelle 17: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM im Integrierten Anbau: konventionelle Düngung, Hohertragsflächen, Pflanzreihe.

Datum	0 – 10 cm								10 – 20 cm							
	GRW,%	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	pH, Pflr.	pH, Zwr.	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	pH, Pflr.	pH, Zwr.
12.05.1999	26,16	28,98	3,56	13,7	3,72	34,81	6,17	6,54	20,54	13,03	23,14	7,1	4,96	15,97	6,07	6,32
19.05.1999	24,26	17,95	17,51	16,8	5,5	38,28	5,88	6,41	22,69	10,11	7,74	8,8	7,59	19,3	n. b.	n. b.
26.05.1999	27,46	14,86	17,83	9,9	8,88	67,54	n. b.	n. b.	23,99	12,43	30,88	7,7	6,35	16,79	n. b.	n. b.
31.05.1999	22,2	19,74	11,75	16,5	4,6	22,18	n. b.	6,38	21,38	13,18	20,14	8	5,99	19,82	n. b.	6,39
08.06.1999	26,63	13,64	n. b.	11,5	7,79	46,79	6,06	n. b.	21,33	8,08	18,6	5,7	6,68	14,76	n. b.	n. b.
14.06.1999	21,26	8,28	n. b.	11,1	6,77	20,09	n. b.	n. b.	23,23	14,5	n. b.	7,5	7,33	20,39	6,36	n. b.
21.06.1999	24,7	15,85	18,5	12,2	7,45	53,94	5,45	6,25	22,65	12,45	52,48	8,2	7,12	22,1	6,06	n. b.
28.06.1999	22,55	15,68	n. b.	12,9	8,25	66,46	6,01	6,36	20,23	7,63	21,87	7,3	7,57	20,46	6,3	6,22
05.07.1999	16,56	19,33	26,1	11,8	8,09	72,62	6,02	n. b.	17,97	14,13	39,2	7,7	6,9	23,53	6,02	5,79
12.07.1999	33,44	18,07	28,75	11,9	5,36	40,76	6,12	6,29	32,69	24	36,16	10,1	4,34	22,73	6,49	6,29
19.07.1999	21,02	15,97	27,59	15,1	6,3	41,74	5,55	6,15	19,54	10,74	35,18	9,8	4,07	24,44	6,73	6,32
26.07.1999	21,39	14,67	25,59	12,1	7,59	59,31	5,9	6,26	20,64	9,03	49,97	7,6	5,37	18,64	6,22	6,18
02.08.1999	15,74	16,41	37,51	14,3	6,7	60,26	5,83	6,22	16,57	8,99	42,52	7,2	6,24	21,73	6,01	6,13
09.08.1999	18,87	19,22	28,72	15,1	3,4	20,65	6,56	6,19	17,35	11,74	39,82	8,8	4,89	21,31	6,21	6,41
16.08.1999	25,04	16,57	15,03	14,6	7,35	47,21	6,23	6,43	19,72	9,12	16,49	8,9	7,73	25,25	6,24	6,27
23.08.1999	17,1	25,64	24,31	17,9	2,45	22,35	6,13	6,96	16,38	11,62	12,84	8,2	3,12	21,46	6,2	6,11
30.08.1999	16,25	11,21	12,94	11,3	4,55	26	6,38	6,52	16,9	9,8	11,77	8,9	4,22	25,2	6,28	6,67
06.09.1999	15,05	21,01	17,67	18,3	5,38	55,91	5,86	6,26	14,69	10,43	6,2	10,3	3,06	25,98	6,4	5,98
13.09.1999	14,24	18,59	11,08	15,2	4,97	51,68	5,72	6,21	16,04	11,15	22,56	9,5	3,97	24,86	5,9	5,99
17.09.1999	14,57	22,46	18,41	15,2	3,86	35,67	6,2	6,24	15,5	12,37	29,23	9,3	4,13	24,58	6,25	6,27
27.09.1999	24,2	24,3	32,11	14,5	3,95	45,23	6,04	6,02	20,99	16,26	39,26	11,6	3,37	27,43	5,78	6,21
04.10.1999	25,46	14,02	28,88	8,8	5,56	34,08	6,09	6,12	23,16	11,87	34,84	9,1	4,02	19,54	6,19	6,02
11.10.1999	24,15	10,82	27,9	8,7	7,78	37,2	5,94	6,55	22,72	10,14	35,84	7,7	7,78	24,65	5,92	6,35
18.10.1999	23,24	29,18	39,6	16,3	3,47	45,39	6,45	6,25	21,01	12,35	32,61	7,9	5,41	22,44	6,3	6,16

pH, Pflr.: Extrakt-pH dieser Fläche; pH, Zwr: Extrakt-pH der entsprechenden Zwischenreihe, s. a. Tabelle 12.

Tabelle 18:  $C_{org}$ -Gehalt in 0 - 10 cm und 10 - 20 cm Tiefe und Porenvolumen in 0 – 10 cm Tiefe.

	IH, e.-o.	IH, konv.	IN, e.-o.	IN, konv.	ÖH	ÖN
	$C_{org}, \%$					
0 – 10 cm	1,65	1,89	1,35	1,57	1,46	1,59
10 – 20 cm	1,47	1,59	1,13	1,35	1,4	1,48
	Porenvolumen, $\text{mm}^3 \text{g}^{-1}$					
0 – 10 cm, $\text{PD} \geq 10 \mu\text{m}$	16,65	13,44	13,26	7,95	34,4	19,91
0 – 10 cm, $2 \mu\text{m} \leq \text{PD} \leq 10 \mu\text{m}$	62,34	59,11	25,63	22,32	54,96	35,4
0 – 10 cm, $\text{PD} \leq 2 \mu\text{m}$	116,45	126,14	133,5	144	92,92	93,82

I: Integrierter Anbau; Ö: Ökologischer Anbau; H: Hohertrag; N: Niederertrag; konv: konventionelle Düngung; e.-o.: ertragsoptimierte Düngung; PD: Porendurchmesser.

### 9.4. Anhang D: Ergebnisse zur zeitlichen Dynamik von DOM der Mittel- und Feinporen

Tabelle 19: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Hohertragsflächen.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	$F_{mk}$
27.09.1999	1,8	3,92	46	5,06	80,74	10,75	19,36	38,12	11,8	5,93	30,68
04.10.1999	1,95	4,42	43,4	4,92	78,45	10,47	21,25	41,39	17,8	5	32,46
11.10.1999	1,65	1,97	37,2	5,23	80	10,88	19,29	34,52	11	6,32	26,48
18.10.1999	1,2	2,18	44,4	5,61	88,87	9,76	26,7	51,13	13,7	5,14	32,79
26.10.1999	1,55	2,01	42,8	5,39	89,07	10,78	18,69	39,67	11,9	6,55	31,68
02.11.1999	2,1	2,02	42,8	7	83,89	9,68	18,07	39,16	10,9	5,7	29,15
08.11.1999	2,5	3,11	38,4	7,85	90,67	10,99	23,35	48,16	11,2	4,52	28,83
15.11.1999	2,45	2,51	41,2	8,18	93,89	10,93	47,43	77,87	12	3,05	21,19
22.11.1999	2,55	2,99	34,8	8,51	77,15	11,86	12,12	36,02	6,2	7,59	18,13
29.11.1999	2,3	2,27	42,6	8,76	100,47	11,17	18,59	62,61	20,5	3,69	28,3
06.12.1999	2,45	3,04	34,8	6,87	74,08	11,48	19,68	52,1	7,6	4,79	19,11
10.01.2000	2,3	2,1	29,8	5,51	66,74	12,97	23,57	61,9	8,5	2,75	17,68
17.01.2000	2,7	3,26	26,8	5,4	62,91	11,24	24,49	53,35	7,9	3,73	16,97
24.01.2000	2,7	6,02	44,6	5,09	85,88	9,87	17,92	49,74	8,5	2,41	18,92
31.01.2000	2,35	2,85	34	7,25	77,06	12,57	28,73	48,89	8,5	3,58	18,6
07.02.2000	2,25	2,38	27,6	8,21	66,28	12,57	21,88	51,07	8,8	3,57	17,33
14.02.2000	2,25	3,61	29,6	5,68	65,04	13,41	19,1	n. b.	6,3	3,36	15,34
28.02.2000	2,25	n. b.	28,2	6,47	60,31	12,64	n. b.	n. b.	5,6	3,64	13,54
13.03.2000	2,25	4,08	30,8	6,23	63,07	11,35	9,7	29,86	5,3	4,49	14,67
20.03.2000	2,45	4,29	25,8	6,09	53,78	12	14,86	46,74	5,9	3,86	13,83
27.03.2000	2,9	4,38	18,6	4,32	37,2	11,17	12,71	58,24	5,9	4,3	17,5
03.04.2000	2,85	4,84	22	4,92	43,85	10,59	12,2	61,22	6,2	3,09	17,12
10.04.2000	2,55	2,99	18,8	5,66	40,95	11,9	14,51	0,66	5	3,56	13,63
25.04.2000	2,25	2,24	25,2	4,49	52,45	10,94	12,89	17,09	5,1	3,5	12,47
02.05.2000	1,65	1,88	47,6	4,77	95,44	11	12,67	51,72	8,5	6,02	24,73
08.05.2000	1,35	5,42	38,76	6,27	106,31	10,66	13,06	29,31	6,3	5,04	21,53
15.05.2000	1,6	2,54	49,84	7,2	114,69	10,55	18,27	27,12	9,9	5,88	24,49
22.05.2000	2,35	3,55	33,14	9,87	101,79	10,47	13,67	42,38	7	9,87	53,45
29.05.2000	1,87	1,71	26,53	4,26	54,35	n. b.	n. b.	35,89	7,6	4,26	31,77
06.06.2000	1,8	1,87	52,36	5,15	52,53	9,55	18,48	59,85	8,7	5,15	30,73
10.07.2000	2,25	2,56	31,94	6,52	74,44	9,52	11,84	39,57	7,2	6,29	21,79
17.07.2000	2	3,29	34,45	6,36	76,17	10,7	8,61	18,18	7	6,36	43,43
24.07.2000	1,55	1,42	n. b.	n. b.	n. b.	8,7	11,06	59,69	9,8	5,61	22,57
31.07.2000	2,06	2,3	34,59	8,21	64,89	11,81	14,3	45,29	7,6	6,67	24,54
07.08.2000	2,2	2,92	73,35	8,52	111,94	8,76	12,36	43,37	6,4	5,47	20,79
14.08.2000	1,65	1,19	n. b.	n. b.	n. b.	9,9	12,01	40,64	14,1	5,35	25,3
18.09.2000	1,4	1,61	26,39	6,21	76,1	9,84	14,01	44,84	n. b.	6,14	47,78
25.09.2000	2,06	3,39	26,21	6,19	100,09	12,78	10,27	57,49	8,2	6,61	24,58
02.10.2000	2,15	4,02	90,14	5,65	111,43	11,96	8,15	13,81	6,9	5,28	21,9
09.10.2000	2,4	2,14	50,37	9,89	86,69	13,37	22,92	72,28	8,3	2,99	20,67

Fortsetzung von Tabelle 19.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
16.10.2000	1,35	1,15	43,31	8,11	69,55	12,94	9,13	30,77	5,4	4,89	17,89
23.10.2000	2,05	3,11	70,74	5,9	82,05	13,87	17,3	54,04	8,2	5,32	23,93
30.10.2000	2,25	2,87	97,16	8,5	96,5	11,48	8,31	47,84	6,5	4,56	13,36
06.11.2000	2,45	2,05	41,51	10,26	80,23	12,36	12,62	12,08	6,3	4,34	18,59
13.11.2000	2,1	2,26	47,05	9,7	85,56	11,8	21,05	52,23	6,1	4,71	21,37
20.11.2000	2,25	2,18	83,12	8,37	84,18	12,37	10,99	40,64	5,7	5,44	19,84
27.11.2000	2,45	1,69	72,32	9,65	71,74	5,95	10,84	51,29	9,4	5,02	22,65
04.12.2000	2,3	5,96	157,03	7,12	71,67	12,14	8,19	42,68	11,2	11,2	31,53
11.12.2000	2,4	1,59	44,77	9,1	67,2	10,56	7,9	34,33	5,7	5,22	17,86
28.12.2000	2,4	3,12	117,19	n. b.	n. b.	11,9	10,69	64,25	7,4	1,73	18,09

Tabelle 20: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und F<sub>mk</sub> von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Hohertragsflächen.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
27.09.1999	1,8	4,08	46,6	5,82	87,48	11,34	20,62	33,55	12,4	6,24	31,64
04.10.1999	1,95	5,37	47	6,2	97,62	10,11	38,26	65,05	23,4	3,51	32,86
11.10.1999	1,75	2,7	38,6	5,7	85,45	11,86	21,55	44,11	10,9	6,11	26,02
18.10.1999	1,35	2,82	39,9	5,59	83,38	10,58	26,71	60,39	12,6	5,13	29,31
26.10.1999	1,55	2,74	47,6	6,01	101,07	11,34	18,92	46,26	12,5	6,95	33,33
02.11.1999	2,1	2,75	47,6	7,71	92,72	11,05	19,28	39,48	10,8	5,48	27,9
08.11.1999	2,45	3,1	37,4	8,22	84,37	10,56	36,15	57,41	13	4,09	26,96
15.11.1999	2,6	3,08	44	7,82	96,77	11,36	18,68	61,83	9,4	5,85	23,71
22.11.1999	2,65	3,43	48,4	9,75	98,72	11,59	14,37	38,58	8	6,22	19,96
29.11.1999	2,35	1,62	36	8,25	87,45	11,93	19,32	59,76	10,4	4,01	23,12
06.12.1999	2,45	2,88	43	8,77	88,99	13,64	23,35	58,11	24,4	3,19	23,58
10.01.2000	2,85	3,18	32,4	4,23	69,95	12,92	21,54	67,33	8,2	3,06	16,59
17.01.2000	2,8	7,16	34,4	4,62	82,25	11,8	23,42	50,44	8,9	3,65	19,03
24.01.2000	2,65	2,85	27,6	6,41	61,68	11,49	16,87	41,93	6	2,62	15,76
31.01.2000	2,45	3,14	38,6	6,39	80,91	12,27	31,85	53,67	7,8	3,09	15,97
07.02.2000	2,5	2,76	29,4	7,91	64,27	11,05	31,27	59,29	9,9	2,76	16,69
14.02.2000	2,55	4,1	31,8	7	69,04	13,14	19,45	n. b.	7,8	3,31	16,9
28.02.2000	2,3	n. b.	30,6	6,13	57,39	12,99	n. b.	n. b.	5,8	3,22	13,18
13.03.2000	2,45	7,02	41,8	6,96	77,6	12,22	10,6	44,4	5,9	2,69	15,25
20.03.2000	2,65	5,14	19,8	5,67	40,39	11,59	19,63	n. b.	6,3	2,98	13,39
27.03.2000	3,05	5,3	19	4,47	35,57	10,71	16,56	58,85	6,6	4,53	17,28
03.04.2000	2,9	5,36	16,4	4,74	32,78	11,46	13,8	63,19	5,7	4,16	15,18
10.04.2000	2,8	5,12	16	5,3	36,18	12,79	17,69	4,53	5,7	3,76	14,41

Fortsetzung von Tabelle 20.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
25.04.2000	2,15	3,08	38	4,95	76,78	12,97	9,95	28,13	6,1	4,59	16,22
02.05.2000	1,7	3,85	43,4	4,61	84,19	11,62	14,21	27,7	8,5	5,77	21,98
08.05.2000	1,4	3,51	51,9	6,62	96,55	10,95	22,99	58,5	10,6	4,24	23,45
15.05.2000	0,75	0,92	51	8,86	106,43	11,62	27,42	60,08	9,5	3,16	19,08
22.05.2000	2,05	3,59	54,3	9	101,81	11,35	18,26	53,17	8,7	9	50,8
29.05.2000	1,91	1,78	32,1	7,28	59,53	9,79	11,96	37,35	8	7,28	34,11
06.06.2000	1,7	2,38	28,35	3,5	54,91	9,47	9,69	45,58	6,9	3,5	31,68
10.07.2000	2,15	2,61	31,2	7,09	72,85	9,24	10,97	43,13	7,2	6,38	21,51
17.07.2000	1,95	n. b.	38,85	5,99	80,05	13,45	9,39	n. b.	6,7	5,99	43,81
24.07.2000	1,75	2,29	n. b.	n. b.	n. b.	9,45	12,15	51,64	7,5	5,27	22,62
31.07.2000	1,95	3,29	36,8	8,61	73,56	13,17	14,32	49,96	9,8	6,41	25,58
07.08.2000	2,3	1,58	25,4	8,7	52,63	11,48	9,28	45,08	6,8	6,44	21,59
14.08.2000	0,85	n. b.	27,75	7,63	60,1	12	12,6	55,86	11,5	5,69	23,48
18.09.2000	2,25	2,59	47,4	9,08	98,02	10,22	16,66	59,52	9,4	4,9	25,66
25.09.2000	2,55	4,3	51,6	8,03	106,08	12,07	20,62	66,23	21,1	3,37	23,63
02.10.2000	2,2	3,15	56,6	8,56	109,28	13,26	9,76	1,31	7,6	5,12	22,67
09.10.2000	2,2	3,48	61,2	4,45	100,55	14,44	18,03	71,29	12	3,84	27,04
16.10.2000	2,15	2	41,4	7,45	82,22	12,14	10,56	38,05	5,4	4,33	16,98
23.10.2000	2,2	2,76	47,85	3,93	90,05	15,98	13,51	48,64	7,2	4,86	22,14
30.10.2000	1,9	2,18	38,25	8,45	97,33	10,27	9,05	34,93	6,5	8,17	23,19
06.11.2000	2	2,64	56,4	10,83	105,36	13,48	10,07	n. b.	6,6	4,41	19,81
13.11.2000	2,4	2,84	49,5	10,69	88,48	12,36	13,52	31,2	7	4,3	23,5
20.11.2000	2,15	2,39	52,2	9,9	92,84	12,29	11,29	46,91	6,3	4,32	19,4
27.11.2000	2,5	2,65	46,7	n. b.	n. b.	12,15	10,46	56,21	6,3	4,91	19,94
04.12.2000	2,3	1,86	43	11,15	81,31	11,89	10,84	44,58	12	8,89	31,53
11.12.2000	2,4	1,63	22	8,37	49,25	10,5	16,93	69,97	7,8	2,8	18,74
28.12.2000	2,35	1,88	33,2	6,44	78,18	11,29	10,21	42,25	6	4,09	19,27

Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und F<sub>mk</sub> von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Integrierten Anbau: Ertragsoptimierte Düngung, Niederertragsflächen.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
27.09.1999	0,85	3,18	46,2	2,66	78,73	13,21	21,26	29,35	10,6	4,88	26,11
04.10.1999	1,25	3,6	29	2,78	55,08	13,53	29,05	30,89	9,4	4,22	22,37
11.10.1999	0,9	1,04	33,2	5,41	74,48	12,87	29,87	49,35	9,9	4,6	24,1
18.10.1999	0,71	0,79	22,8	1,29	44,99	10,27	20,6	43,44	10	4,91	26,38
26.10.1999	0,85	0,99	29	3,74	51,17	13,88	20,35	46,44	7,2	5,43	22,52
02.11.1999	0,95	1,02	29	2,48	61,41	17,47	21,74	69,73	7,2	3,6	17,66

Fortsetzung von Tabelle 21.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mik</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mik</sub>
08.11.1999	1,2	2,15	31	5,4	69,76	15,15	32,73	66,34	9,2	3,15	18,09
15.11.1999	1,05	0,8	26,4	6,29	64,14	16	39,99	63,81	7,7	2,84	15,86
22.11.1999	1,25	1,01	25,2	1,65	57,71	16,23	18,06	69,66	5,5	3,09	14,5
29.11.1999	1,2	0,6	13,2	3,3	28,85	16,85	8,97	n. b.	4,3	4,02	12,92
06.12.1999	1	0,68	18,4	4,26	40,41	16,75	23,51	51,48	5,6	3,24	12,59
10.01.2000	1,1	0,63	19,2	n. b.	n. b.	18,04	13,83	49,95	4,6	2,67	11,57
17.01.2000	1,15	1,22	23	2,7	37,59	17,02	15,14	36,75	4,8	3,48	11,42
24.01.2000	1,45	1,9	16	2,91	32,4	16	17,02	58,84	5,3	2,81	11,04
31.01.2000	1,3	2,66	17,6	4,07	36,66	16,67	26	46,26	6,2	2,77	12,49
07.02.2000	1	1,48	17,8	1,82	32,14	17,95	27,02	62,66	5,9	2,75	11,71
14.02.2000	1,2	n. b.	25,4	1,42	42,04	17,19	n. b.	n. b.	3,5	5,43	11,02
28.02.2000	1,05	n. b.	15,6	2,71	26,33	17,17	n. b.	n. b.	5,3	2,44	9,76
13.03.2000	1,2	2,41	20,2	1,3	33,45	16,75	12,73	37,38	4	1,58	10,87
20.03.2000	1,45	4,02	11	2,85	21,02	17,55	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
27.03.2000	1,6	4,74	16,8	1,13	23,83	16,84	10,25	58,26	3,5	3,24	11,04
03.04.2000	1,5	4,26	14,2	1,75	24,38	15,38	9,11	66,38	3,6	4,52	10,87
10.04.2000	1,2	4,95	18,6	n. b.	n. b.	15,98	11,85	85,01	4,5	3,42	10,92
25.04.2000	1,2	1,7	17,4	2,4	29,71	15,35	10,72	42,64	6,7	5,16	17,63
02.05.2000	0,95	2,93	35,2	3,42	61,72	12,92	15,95	52,31	8,7	4,74	24,21
08.05.2000	1	3,2	33,3	2,81	60,57	13,5	15,16	40,7	5,5	3,36	15,34
15.05.2000	1,5	2,17	25,2	4,54	56,41	13,24	19,58	53,94	19,3	2,35	16,01
22.05.2000	1,1	1,53	34,05	4,15	54,32	14,43	10,07	43,76	5,3	4,15	29,98
29.05.2000	0,95	1,72	31,05	1,78	43,63	13,43	10,34	54,52	6	1,78	24,68
06.06.2000	0,9	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	11,59	14,83	62,32	7,3	1,67	25,28
10.07.2000	1,3	1,4	25,2	4,51	62,8	12,15	15,19	53,61	6,7	4,51	18,04
17.07.2000	1,3	1,69	26,7	4,13	50,2	13,07	9,43	21,51	5,7	4,13	29,35
24.07.2000	0,9	1,05	31,6	4,49	57,67	11	9,94	60,07	4,9	5,55	15,41
31.07.2000	1,69	3,16	24,75	5,31	49,85	8,81	13,51	61,1	7,1	4,51	20,73
07.08.2000	1,15	4,52	23,85	2,5	49,61	n. b.	n. b.	36,38	5	6,15	14,8
14.08.2000	1	1,39	22,4	n. b.	48,05	13,66	13,73	55,84	4,9	4,76	15,73
18.09.2000	1,65	2,55	34,35	4,85	66,64	13,37	10,15	44,2	7,3	5,62	21,67
25.09.2000	1,45	3,31	45,45	2,97	60,53	12,14	8,41	51,62	5,8	5,67	17,46
02.10.2000	1,2	1,59	36,3	4,39	69,16	16,08	8,23	6,63	5,8	5,2	18,38
09.10.2000	1,35	1,48	25,8	4,69	49,92	16,57	11,46	70,63	5,8	4,3	18,94
16.10.2000	1,45	1,23	31,5	5,3	54,5	16,49	9,12	51,79	4,9	4,12	14,37
23.10.2000	1,15	1,15	28,8	n. b.	85,01	16,08	22,16	36,16	8	2,89	20,27
30.10.2000	1,2	1,76	37,95	4,24	60,69	17,58	16,35	54,64	7,2	3,2	5,83
06.11.2000	1,21	1,13	29,7	2,38	55,41	16,06	7,48	58,9	4,6	3,99	13,9
13.11.2000	1,05	0,84	30,8	5,87	61,68	16,93	15,05	53,74	6,6	2,71	15,97
20.11.2000	1,2	1,27	33,75	4,42	63,56	15,34	7,57	49,92	3,7	4,44	12,52
27.11.2000	1,45	1,28	37,8	7,59	72,19	18,34	9,03	52,12	5,6	5,94	16,87
04.12.2000	1,45	0,96	24,6	5,91	50,61	14,66	9,82	50,99	8,7	7,2	24,88
11.12.2000	1,4	0,91	26,55	3,64	55,34	15,17	10,84	62,02	5,9	3,49	16,06
28.12.2000	1,65	1,04	22,2	3,69	42,88	16,39	11,87	24,75	4,8	3,18	13,65

Tabelle 22: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Integrierten Anbau: Konventionelle Düngung, Niederertragsflächen.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	$F_{mk}$
27.09.1999	0,75	1,84	41,4	3,93	69,95	12,74	24,53	47,79	11	5,06	26,55
04.10.1999	1,1	2,32	36	4,18	65,06	13,3	23,26	49,28	9,5	4,87	22,28
11.10.1999	1,15	3,36	32	4,31	62,87	13,73	25,52	50,3	10,5	5,04	25,76
18.10.1999	0,55	0,93	39,6	1,69	72,35	11,31	30,47	57,03	11,4	4,21	25,48
26.10.1999	0,95	1,83	31,2	4,49	67,63	13,33	16,22	44,38	8,2	5,53	21,97
02.11.1999	1,1	1,83	31,2	4,6	59,57	15,27	17,57	44,49	7,5	4,09	17,55
08.11.1999	1,3	1,49	26	6,11	56,91	15,66	23,65	50,79	8,4	4,01	19,17
15.11.1999	1,2	1,6	26,6	4,53	58,92	16,75	18,34	57,49	7,1	4,3	15,66
22.11.1999	1,45	1,88	32,6	7,05	68,59	16,67	13,23	40,73	7,2	5,25	15,2
29.11.1999	1,15	0,99	28,8	5,47	65,56	18,09	37,78	76,27	17,8	2,27	19,85
06.12.1999	1,15	1,59	24,2	4,95	52,27	18,28	36,21	66,8	8,3	2,35	14,53
10.01.2000	1,05	1,2	23	2,75	42,27	17,55	29,22	68,92	6,8	1,56	11,96
17.01.2000	1,25	3,64	23,8	2,32	44,09	18,72	21,97	52,37	6,3	2,57	10,85
24.01.2000	1,7	1,56	16,6	2,89	35,77	19,63	12,35	53,24	5,4	2,98	11,89
31.01.2000	1,2	1,53	22,6	3,78	43	17,8	31,44	56,11	6,4	3,41	13,68
07.02.2000	1	1,11	18	4,04	34,81	17,86	20,07	62,34	5,7	2,44	9,42
14.02.2000	1,2	3,41	23,2	2,75	37,22	18,48	20,16	n. b.	6	3,4	13,66
28.02.2000	1,05	n. b.	15,4	3,95	30,58	18,85	n. b.	n. b.	5	2,61	9,79
13.03.2000	1,3	6,75	20,8	2,95	37,16	17,49	8,58	49,79	4,6	4,24	10,95
20.03.2000	1,35	4,92	12	2,55	23,79	18,48	11,65	47,57	4,2	3,51	9,71
27.03.2000	1,8	2,08	16,2	1,77	20,84	17,2	9,82	55,96	3,8	1,9	11,37
03.04.2000	1,25	0,8	11,2	2,85	22,2	16,84	28,13	75,8	5,5	2,56	11,16
10.04.2000	1,15	0,93	15,4	1,53	17,11	14	10,01	77,83	3,6	5,08	9,43
25.04.2000	1,2	2,66	23,4	2,2	42,22	15,69	16,11	41,62	6,7	3,96	16,58
02.05.2000	0,95	n. b.	50,2	2,01	65,96	13,24	11,9	50,37	7,5	4,86	19,48
08.05.2000	1,05	5,55	35,1	2,98	54,25	13,21	15,13	43,34	5,6	4,13	16,84
15.05.2000	0,65	1,24	47,1	4,24	78,86	12,68	24,26	44,24	10,9	4,27	22,24
22.05.2000	0,9	1,73	42,6	3,45	52,4	16,5	10,13	39,55	5,3	3,45	27,32
29.05.2000	0,91	0,84	21,3	3,96	32,7	n. b.	n. b.	55,37	5,8	3,96	19,7
06.06.2000	0,6	0,63	22,8	3,06	34,08	15,67	7,05	56,65	4,8	3,06	10,78
10.07.2000	1,15	1,14	23,1	5,56	52,02	12,56	11,41	48,83	6,3	5,71	18,36
17.07.2000	1,15	1,76	31,2	5,34	58,51	13,47	9,03	16,28	6,3	5,34	34,08
24.07.2000	0,8	1,03	n. b.	n. b.	n. b.	11,82	9,97	58,55	5,8	6,33	19,01
31.07.2000	1,05	2,7	29,6	3,49	52,27	10	11,4	47,08	5,9	6,75	19,16
07.08.2000	1,05	0,94	20,55	5,56	47,03	14,5	10,88	48,26	4	5,47	17,06
14.08.2000	1,9	1,91	31,8	4,95	60,64	14,21	16,26	48,92	7,1	4,41	19,85
18.09.2000	1,3	1,82	31,65	2,89	56,82	13,78	10	52,68	6,5	4,82	19,71
25.09.2000	1,2	3,48	39	3,03	57,77	14,57	8,55	61,99	5	5,26	15,41
02.10.2000	1,1	1,68	39,15	4,15	79,17	15,9	11,08	32,55	5,6	4,38	16,11
09.10.2000	1,3	1,2	25,05	5,41	58,85	17,02	21,46	78,46	12,8	2,68	20,06
16.10.2000	1,35	1,21	21,3	7,3	54,3	15,51	9,25	41,96	4,9	3,92	13,87
23.10.2000	1,05	0,89	24,33	n. b.	55,35	16,43	9,56	46,35	4,5	5,28	14,78
30.10.2000	1	1,01	25,17	5,88	49,84	18,28	8,76	45,74	5	4,49	14,12

Fortsetzung von Tabelle 22.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
06.11.2000	1,25	1,44	31,2	2,9	56,87	16,76	9	70,21	5	4,02	15,83
13.11.2000	1,15	1,57	38,85	6,07	74,69	16,67	10,31	30,42	5,3	4,55	18,75
20.11.2000	1,05	0,97	38,8	6,36	76,93	15	6,25	38,56	3,5	2,98	14,69
27.11.2000	1,1	0,76	28	3,08	57	16,58	10,91	60,39	4,7	2,73	14,94
04.12.2000	1,3	1,04	36	8,02	75,44	15,35	17,79	59,21	12,4	5,28	25,42
11.12.2000	1,35	1,03	31,8	5,63	66,43	15,93	9,8	57,73	5,4	2,98	15,67
28.12.2000	0,95	0,55	27,4	5,18	54,79	15,46	7,19	57,84	5,4	4,37	16,61

Tabelle 23: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und F<sub>mk</sub> von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Ökologischen Anbau: Hohertragsfläche

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
27.09.1999	1,55	7,36	75,8	4,42	131,92	10,1	17,09	33,39	11	5,94	28,62
04.10.1999	1,9	6,16	59	6,7	109,11	8,33	24,95	41,06	11	4,13	25,25
11.10.1999	1,6	2,83	58,8	8,88	111,7	8,96	20,47	43,79	9,2	4,92	22,74
18.10.1999	0,95	1,77	42,9	5,42	98,45	8,26	21,97	45,36	11,5	4,96	30,33
26.10.1999	1,55	2,55	46,2	7,4	98,09	8,33	34,2	59,92	10,9	4,66	26,89
02.11.1999	1,95	2,63	46,2	4,67	108,19	10,69	19,29	68,17	10,9	4,44	29
08.11.1999	2,15	4,25	39	9,21	92,56	8,02	26,53	65,13	9,8	3,72	23,43
15.11.1999	2,55	3,09	34	8,64	70,07	8,06	36,77	63,25	9,5	2,99	19,79
22.11.1999	1,35	1,25	31,2	1,65	75,51	8,38	28,51	63,5	7,9	3,59	19,21
29.11.1999	2,35	1	14	1,34	30,79	9,28	11,12	9,18	5,6	5,3	16,7
06.12.1999	2,55	1,88	25,6	7,89	59,67	8,9	10,23	34,5	5,8	5,1	15,94
10.01.2000	2,1	4,94	22,4	n. b.	n. b.	9,04	14,47	48,47	5,4	3,45	14,46
17.01.2000	2,1	3,67	22,4	3,03	41,29	8,38	16,5	51,19	5,3	3,5	13,47
24.01.2000	2,55	2,17	21,8	4,58	45,44	8,77	21,32	64,36	10,8	2,65	15,31
31.01.2000	2,3	5,17	20,4	4,06	39,54	9,3	22,64	34,21	6,5	3,08	14,2
07.02.2000	2,25	4,74	17,8	4,36	35,18	8,74	41,72	62,63	7,9	2,19	13,14
14.02.2000	2,3	n. b.	21,6	5,08	42,92	8,99	n. b.	n. b.	4,4	4,4	13,91
28.02.2000	2,15	n. b.	16,6	4,78	34,94	8,38	n. b.	n. b.	4,8	2,71	11,62
13.03.2000	2,25	4,93	23,8	2,92	52,52	8,67	8,75	34,75	4,2	2,92	14,68
20.03.2000	2,4	n. b.	22,8	6,69	44,88	9,14	25,93	n. b.	5,8	3,2	13,09
27.03.2000	2,45	3,24	31,8	3,69	65,3	10	11,28	59,05	3,8	3,46	13,69
03.04.2000	2,15	2,01	21,4	5,3	43,24	9,18	14	69,29	4,3	3,16	12,78
10.04.2000	1,95	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	9,09	13,84	77,38	7	2,43	16,76
25.04.2000	1,95	5,28	32,4	4,74	69,31	8,76	11,23	27,08	6,8	4,1	19,56
02.05.2000	1,55	3,7	58,8	6,8	122,8	n. b.	n. b.	27,98	12,4	6,66	36,72
08.05.2000	1,5	9,89	46,8	5,95	100,91	8,91	14,28	30,06	8,4	4,76	25,44
15.05.2000	1,3	1,63	46,2	4,62	57,18	8,21	24,03	58,09	7,8	3,89	18,31

Fortsetzung von Tabelle 23.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
22.05.2000	1,9	3,08	46,65	8,39	57,46	7,58	9,56	26,75	6,5	8,39	47,06
29.05.2000	1,44	2,03	51,75	9,87	66,08	7,77	11	45,15	7	9,87	51,16
06.06.2000	0,9	1,81	59,1	5,99	74,09	14,42	8,86	53,59	7,1	5,99	53,44
10.07.2000	1,75	3,24	45,75	6,36	78,87	6,78	10,85	60,3	5,3	4,57	16,72
17.07.2000	2,05	12,03	33,6	4,87	49,94	7,33	9,21	37,3	4,9	4,87	37,12
24.07.2000	1,5	2,41	43,95	7,71	63,79	6,97	9,91	64,4	7,2	5,82	20,9
31.07.2000	1,85	5,74	50,7	2,99	60,32	13,93	15,58	43,98	7,5	6,4	33,57
07.08.2000	2,15	2,33	40,05	5,84	58,78	8,21	9,84	37,19	6,8	6,39	21,41
14.08.2000	1,5	2	42,9	8,47	69,78	8,16	12,27	31,02	7,9	6,14	24,61
18.09.2000	2,2	3,03	39,3	7,38	81,09	7,54	12,14	54,2	n. b.	5,87	22,71
25.09.2000	2	2,74	41,4	7,34	82,25	7,88	7,3	54,71	6,3	n. b.	n. b.
02.10.2000	2,1	2	37,9	11,95	82,14	7,89	9,98	37,53	6,1	4,31	19,94
09.10.2000	1,15	0,91	20,3	6,34	44,68	8,42	12,23	57,28	5,4	4,35	19,73
16.10.2000	1,85	1,2	32,7	5,32	68,31	8,96	8,51	39,88	7,1	4,99	17,86
23.10.2000	2,1	1,68	31,05	6,49	71,04	10,53	10,55	62,41	5,8	7,25	21,34
30.10.2000	1,95	1,91	35,85	9,37	75,28	9,52	11,42	34,81	8,3	6,71	25,21
06.11.2000	2,1	2,24	45,3	11,5	92,94	8,72	8,93	74,9	5,8	5,14	19,43
13.11.2000	2	1,78	44,7	11,65	88,73	11,92	9,66	19,55	5,2	4,8	19,96
20.11.2000	2,2	2,39	52	8,8	63,68	8,07	6,16	39,3	4,7	6,86	19,29
27.11.2000	2,25	1,89	36,4	9,67	83,54	8,72	9,49	30,39	5,1	5,45	18,55
04.12.2000	2,1	2,56	35,8	6,35	65,65	9,09	10,61	52,47	10,4	9,37	29,94
11.12.2000	2,2	1,58	37,6	9,54	74,99	12,83	7,62	35,15	5,3	5,59	17,26
28.12.2000	2,05	1,01	23,4	7,64	47,98	6,59	5,93	51,42	4,9	4,3	14,42

Tabelle 24: Zeitlicher Verlauf von GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und F<sub>mk</sub> von DOM-II und WEOM<sub>Z</sub> im Ökologischen Anbau: Niederertragsfläche.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
27.09.1999	0,85	4,49	56,4	3,67	109,36	12,75	16,33	27,61	9,9	6,33	27,63
04.10.1999	1,25	6,91	53,4	3,75	101,2	11,71	21,68	32,14	10,5	4,72	27,46
11.10.1999	1,1	1,93	52,2	4,6	110,94	12,81	21,68	46,01	9,5	5,24	23,84
18.10.1999	0,6	1,66	50,7	n. b.	n. b.	10,75	59,09	59,37	20,8	n. b.	n. b.
26.10.1999	0,95	1,49	47,6	5,64	103,59	12,25	19,69	44,67	9,4	6,44	27,83
02.11.1999	1,2	1,53	47,6	5,15	102,38	13,11	15,55	65,38	9,4	5,93	27,46
08.11.1999	1,3	4,34	32,4	7,36	82,41	14,95	21	64,87	8,6	5,03	24,19
15.11.1999	1,25	1,35	27,6	7,43	67,08	15,12	23,55	59,38	6,2	4,53	17,47
22.11.1999	1,65	1,19	29,8	3,54	70,98	14,89	30,75	72,01	9,2	3,22	20,14
29.11.1999	1,25	0,65	16,2	3,36	37,56	16,32	11,16	12,93	7,1	5,44	17,84

Fortsetzung von Tabelle 24.

Datum	DOM-II					WEOM <sub>Z</sub>					
	Zentrifugat, % TRS	DOC, µg g <sup>-1</sup>	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mik</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mik</sub>
06.12.1999	1,25	1,38	23,2	6,03	56,91	16,93	12,73	45,79	5,4	5,53	16,77
10.01.2000	1,3	1,13	29,2	n. b.	n. b.	16,93	11,09	52,56	5,9	4,16	15,55
17.01.2000	1,55	1,66	18,8	3,18	38,12	14,81	15,43	53,44	6,1	3,83	14,08
24.01.2000	1,48	1,49	21,4	3,33	48,47	15,03	13,3	52,97	6,2	3,9	15,42
31.01.2000	1,35	3,24	17,4	3,83	37,21	16,23	31,98	45,31	7,9	3,13	15,38
07.02.2000	1,35	3,19	17	4,06	34,62	14,51	18,41	61,83	4,9	4,08	12,09
14.02.2000	1,35	n. b.	20,2	4,11	40,16	16,84	n. b.	n. b.	4,7	4,84	14,07
28.02.2000	1,35	n. b.	16,2	2,99	31,59	18,92	n. b.	n. b.	4,9	3,71	11,93
13.03.2000	1,45	4,04	20,8	2,17	43,92	14,87	7,84	34,44	4,7	2,71	13,94
20.03.2000	1,7	3,61	20,6	4,63	46,61	16,29	20,86	47	7	4,17	16,7
27.03.2000	1,5	1,89	24,8	3,74	58,49	18,44	5,3	61,44	4,4	4,77	14,65
03.04.2000	1,2	1,73	28,4	3,5	53,6	15,03	14,44	58,43	5,3	5,39	15,36
10.04.2000	1,2	0,89	16,2	4,35	36,99	14,72	13,47	32,06	4,2	4,29	13,47
25.04.2000	1,4	3,46	25	3,78	58,33	14,14	10,02	29,5	6,4	5,95	19,16
02.05.2000	1,05	2,46	36,8	5,57	79,96	11,65	13,32	35,05	8	6,49	25,54
08.05.2000	1,05	4,53	44,4	5	98,02	11,48	31,25	58,85	11,1	4,06	30,97
15.05.2000	0,9	1,02	39	7	79,53	13,81	23,64	48,92	10	4,58	22,71
22.05.2000	1,15	2,31	75,45	6,32	123,47	14,36	12,72	49,96	8,6	6,32	53,46
29.05.2000	1	1,62	40,65	3,81	80,56	12,5	13,87	46,77	9	3,81	44,04
06.06.2000	0,7	0,96	39,9	5,49	84,84	10,75	6,26	56,99	5,5	5,49	25,52
10.07.2000	1,05	1,71	37,35	6,63	95,95	12,71	11,99	66,05	6,3	5,13	19,34
17.07.2000	1,15	2,33	36,75	5,64	75,17	13,33	5,89	n. b.	5	5,64	41,64
24.07.2000	1,15	1,81	42,3	3,08	79,33	11	9,59	53,99	6,3	5,68	21,3
31.07.2000	1,05	3,26	44,2	5,99	91,07	12,3	12,21	38,09	8,9	7,6	25,94
07.08.2000	1,45	2,78	37,35	5,28	70,5	17,65	11,36	38,02	6,8	6,63	21,16
14.08.2000	1	1,05	30,4	6,92	68,77	13,33	11,96	13,94	6,5	6,75	23,09
18.09.2000	1,35	1,89	34,5	6,12	89,27	14,43	14,95	48,66	n. b.	4,01	23,22
25.09.2000	1,25	2,26	42,3	5,45	82,01	13,37	8,34	48,97	6,7	7,04	22,73
02.10.2000	1,4	1,46	31,05	7,93	72,38	16,05	10,32	22,42	6,5	5,86	22,29
09.10.2000	1,45	1,54	34,2	7	80,72	15,71	19,73	68,9	9,2	3,71	25,37
16.10.2000	1,15	0,75	30,15	9,17	75,58	17,78	8,94	52,71	24	3,61	24,43
23.10.2000	0,95	1,68	31,88	3,35	58,82	22,22	9,14	44,44	5,3	7,67	17,26
30.10.2000	1,25	1,39	25,79	3,29	61,31	16,33	11,26	56,99	4,8	4,06	5,57
06.11.2000	1,2	1,22	28,2	7,09	71,35	16,24	7,53	30,93	5,7	5,29	19,21
13.11.2000	1,2	1,55	36,6	7,6	79,56	14,72	8,29	37,16	4,9	5,53	20,8
20.11.2000	1,1	1,41	44,2	6,05	99,34	14,87	8,41	57,54	5,8	5,09	18,72
27.11.2000	1,4	1,12	35,7	5,76	67,31	14,51	6,45	34	5	6,58	19,03
04.12.2000	1,3	1,51	32,1	6,21	66,54	17,13	10,55	53,98	10,8	9,18	31,02
11.12.2000	1,15	0,83	63,19	7,55	121,43	16,15	9,93	62,25	6,1	5,01	19,13
28.12.2000	1,25	0,61	21,15	7,15	51,56	13,23	9,57	56,74	6,8	3,57	17,63

9.5. Anhang E: Ergebnisse zur räumlichen Variabilität von WEOMTabelle 25: GRW, WEOC-Gehalt, B, SAK, HIX und  $F_{mk}$  von WEOM zur räumlichen Variabilität.

Teilfläche	Rechtswert	Hochwert	24.11.1999						06.04.2004					
			GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$	GRW, %	WEOC, $\mu\text{g g}^{-1}$	B, % WEOC	SAK, $\text{m}^{-1}$	HIX	$F_{mk}$
AF	33,05	19,15	17,37	6,74	22,96	6,7	7,56	17,73	22,61	5,96	n. b.	6,2	5,12	11,48
AF	52,96	17,23	19,23	6,83	31,01	7,3	8,26	18,01	20,97	7,15	55,39	5,2	6,38	11,58
AF	72,86	15,32	21,37	6,87	38,03	8,2	9,87	22,55	24,59	5,74	23,7	4,9	7,81	13,58
AF	35,08	39,01	23,68	6,04	40,02	4,9	8,38	15,9	24,29	4,02	n. b.	2,7	6,96	9,5
AF	55,01	37,38	23,08	9,67	38,8	6,9	8	18,69	21,88	6,14	68,73	4,3	8,11	13,24
AF	74,94	35,76	20,59	9,34	34,31	5,6	6,8	15,6	25,05	7,05	26,68	3,5	6,21	10,82
AF	94,88	34,13	19,47	5,76	37,98	6,8	8,59	18,15	21,24	5,15	54,41	3,9	5,68	10,5
AF	39,25	58,53	26,64	4,95	38,92	4,6	7,66	14,24	26,18	3,64	48,31	2,9	4,76	8,85
AF	59,18	56,92	25,1	6,1	32,95	6,3	7,75	17,4	25,24	6,78	34,28	3,2	6,07	9,97
AF	79,12	55,3	21,4	7,74	28,29	6,1	8,02	17,66	24,04	3,71	42,3	2,9	5,45	8,59
AF	99,05	53,68	20	4,94	35,56	6,1	10,69	17,39	22,25	3,43	54,53	3,2	5,85	10,32
AF	43,79	77,98	26,09	6,31	45,11	4,8	8,04	15,11	28,32	3,96	59,69	2,9	5,38	9,55
AF	63,72	76,37	22,01	6,71	36,65	6,6	8,95	18,06	23,26	4,89	68,87	4	5,61	12,93
AF	83,66	74,75	23,4	12,08	49,09	7,6	4,95	16,55	24,48	8,87	54,49	4,2	4,49	11,67
AF	103,59	73,13	23,15	5,45	15,93	6	9,57	16,96	23,53	4,54	72,78	2,7	5,67	8,47
AF	48,53	97,44	24,07	7,09	32,92	5,3	6,29	14,96	21,83	6,13	36,09	2,6	5,03	8,39
AF	68,47	95,82	24,35	8,37	21,98	7,8	7,92	20,05	24,6	7,44	28,03	4,4	5,97	14,85
AF	88,4	94,21	22,01	6,32	31,53	6,5	7,24	17,83	25,18	6,05	n. b.	4,4	6,08	11,88
AF	108,34	92,59	23,42	8,17	33,24	7,5	8,54	19,61	26,09	6,71	73,87	4,2	7,26	12,75
AF	53,36	116,75	23,08	7,32	37,72	7,2	7,41	19,13	24,82	5,92	n. b.	4,3	5,89	13,28
AF	73,29	115,14	23,36	10,01	20,68	6,6	6,33	16,53	22,54	6,11	47,53	4,3	6,67	12,67
AF	93,23	113,52	23,88	7,06	18,46	8,1	8,02	19,58	24,94	4,78	57,51	3,7	7,02	11,15
AF	113,16	111,9	25,73	7,68	22,42	8,5	8,09	19,07	25,19	4,43	69,65	3,4	7,73	10,28
AF	57,02	136,47	20,63	5,2	19,97	5,9	8,38	15,74	22,71	3,23	n. b.	2,9	6,95	9,15
AF	76,95	134,87	22,64	5,91	50,43	7,2	8,94	17,33	23,11	5,37	25,01	3,6	5,4	9,97
AF	96,89	133,26	22,79	4,19	54,31	5,6	7,71	14,48	27,11	6,09	67,63	3,6	4,54	10,23
AF	116,82	131,66	28,27	8,32	59,44	6,2	7,51	24,19	26,98	7,86	60,41	4,1	4,34	11,15
AF	59,6	156,17	18,15	6,47	28,72	6,9	7,55	18,46	21,54	5,58	48,24	3,7	7,21	10,06
AF	79,54	154,54	23,59	7,27	49,4	7,3	7,51	17,96	22,31	4,86	23,6	3,6	6,9	10,16
AF	99,47	152,91	21,03	4,83	57,38	6,1	8,98	15,9	23,65	5,89	47,6	3	4,34	8,96
AF	119,4	151,28	23,05	6,43	44,75	6,8	8,07	16,1	27,15	8,35	31,36	3,4	4,27	9,9
AF	61,11	176,09	20,85	11,42	31,4	8,3	5,05	17,52	20,94	4,7	36,92	3,5	6,09	10,35
AF	81,04	174,42	22,22	11,36	43,52	8,6	7,79	18,61	22	5,5	52,09	4,8	5,63	12,45
AF	100,97	172,76	20,58	5,84	38,64	7	8,4	16,49	23,2	4,47	66,59	3,9	7,09	11,25
AF	120,9	171,09	22,5	6,25	34,71	6,2	6,68	15,05	24,84	5,06	65,68	3,7	5,2	9,58
GF	62,01	196,05	23,22	9,22	25,65	10,2	10,45	27	26,25	5,95	66,7	5,8	7,93	14,9
AF	81,94	194,35	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	21,56	3,39	55,64	4,3	7,62	10,85
AF	101,87	192,65	22,13	7,6	19,41	8	7,25	19,44	26,61	4,64	52,21	4,6	7,28	11,57

Ursprung der Rechts- und Hochwerte: 4458500 und 5373400 (Gauß-Krüger-Koordinaten). AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: Vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche.

Fortsetzung von Tabelle 25.

Teilfläche	Rechtswert	Hochwert	24.11.1999						06.04.2000					
			GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>	GRW, %	WEOC, µg g <sup>-1</sup>	B, % WEOC	SAK, m <sup>-1</sup>	HIX	F <sub>mk</sub>
AF	121,8	190,95	21,3	5,66	26,44	7	7,65	17,28	22,98	3,85	62,56	4,6	7,99	11,43
GF	60,82	215,86	17,65	12,9	45,5	13,9	8,94	34,71	22,45	6,33	35,09	6,1	8,31	15,84
GF	80,75	214,21	20,49	13,97	51,29	12,8	9,81	35,16	21,31	6,25	33,05	6,8	9,02	16,98
GF	100,69	212,57	20,68	12,43	54,23	9	5,18	22,94	27,46	6,8	63,3	4,4	5,22	10,56
AF	120,62	210,93	23,01	8,31	53,78	8,6	6,85	22,75	22,8	4,18	n. b.	4,2	4,69	9,83
GF	57,22	236,53	26,46	22,88	63,14	13,9	5,02	30,73	24,69	6,45	26,5	5,5	7,15	14,43
GF	77,15	234,88	22,62	15,49	56,86	11,5	7,48	30,19	23,24	7,36	51,44	6,3	8,08	17,02
GF	97,09	233,23	28,26	13,34	51,76	11,8	8,66	30,73	27,51	5,44	55,25	5,3	8,57	15,16
GF	117,02	231,58	23,81	13,71	56,51	11,7	5,84	26,36	24,63	7,05	54	4,9	6,07	12,75
GF	53,53	257,01	21,05	11,69	58,49	12,8	10,71	31,46	22,48	7,23	36,66	6,6	5,3	13,39
GF	73,46	255,36	23,11	7,42	54,6	10,6	13,48	29,44	24,8	6,24	60,42	6	9,79	16,16
GF	93,39	253,71	26,6	6,85	n. b.	8,1	9,55	20,03	26,29	4,51	64,14	4,5	5,79	11,87
GF	113,33	252,06	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	28,18	7,93	62,07	5,7	4,85	13,55
GF	49,69	277,46	24,02	8,16	n. b.	9,6	10,69	24,83	25,68	6,13	42,11	5	8,09	11,45
GF	69,62	275,85	22,49	11,48	n. b.	12,9	12,71	33,99	24,35	10,52	50,23	5,4	6,78	13,3
GF	89,55	274,23	25,29	9,26	n. b.	11,2	11,23	29,39	28,39	6,07	29,6	6,8	7,15	16,82
GF	109,49	272,61	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	26,84	7,58	45,67	5,9	6,69	15,13

Ursprung der Rechts- und Hochwerte: 4458500 und 5373400 (Gauß-Krüger-Koordinaten). AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: Vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche.

Tabelle 26: Hydrolysierbare Monosaccharide des WEOM bei der Rasterbeprobung vom 06.04.2000, (ng g<sup>-1</sup>).

Teilfläche	Rechtswert	Hochwert	Hydrolysierbare Monosaccharide des WEOM												Summe	
			Glucose	Galactose	Fucose	Rhamnose	Galactosamin	Arabinose	Glucosamin	Xylose	Mannose	Fructose	Ribose	Galacturonsäure		Glucuronsäure
AF	33,05	19,15	1560,45	122,08	14,51	42,21	13,44	99,94	36,47	162,36	69,48	138,96	8,92	19,76	23,92	2312,48
AF	52,96	17,23	1157,64	90,94	52,66	53,09	14,13	47,41	29,68	173,6	70,58	55,89	0	8,68	7,15	1761,44
AF	72,86	15,32	942,55	60,67	57,53	38,2	17,66	28,1	20,11	176,97	37,48	169,18	0	10,1	6,91	1565,46
AF	35,08	39,01	1350,97	332,83	54,2	54,65	8,8	91,23	33,25	179,05	92,42	63,91	0	5,3	9,54	2276,15
AF	55,01	37,38	1181,05	46,42	37,06	21,8	6,19	165,81	18,09	285,93	76,09	278,99	58,59	3,09	6,7	2185,83
AF	74,94	35,76	1158,5	65,43	48,33	28,91	9,86	28,25	21,69	175,96	28,75	281,57	16,79	5,34	5,34	1874,73
AF	94,88	34,13	707,91	65,57	48,49	35,07	11,34	67,68	20,32	152,91	28,03	7,13	55,97	3,58	6,14	1210,14
AF	39,25	58,53	1358,98	38,64	16,46	27,44	6,99	22,8	18,97	147,61	38,14	10,04	105,88	5,41	6,49	1803,83
AF	59,18	56,92	708,36	33,28	16,75	20,37	5,43	16,06	23,71	83	46,69	3,48	29,07	3,21	6,42	995,85
AF	79,12	55,3	679	35,79	11,61	8,93	0,98	13,21	13,16	201,58	35,3	31,87	98,9	2,64	6,87	1139,84
AF	99,05	53,68	642,06	202,33	46,86	44,67	15,29	78,45	26,29	142,1	33,64	0	52,92	3,63	5,18	1293,4
AF	43,79	77,98	1309,07	87,78	32,28	33,21	7,15	100,01	23,49	83,4	36,96	145,28	128,86	2,21	41,49	2031,19
AF	63,72	76,37	1190,72	94,29	17,27	44,73	9,67	76,34	26,1	120,12	98,17	86,51	14,22	2,62	41,9	1822,66

Ursprung der Rechts- und Hochwerte: 4458500 und 5373400 (Gauß-Krüger-Koordinaten). AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: Vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche.

Fortsetzung von Tabelle 26.

Teilfläche	Rechtswert	Hochwert	Glucose	Galactose	Fucose	Rhamnose	Galactosamin	Arabinose	Glucosamin	Xylose	Mannose	Fructose	Ribose	Galacturonsäure	Glucuronsäure	Summe
AF	83,66	74,75	1724,69	73,89	18,4	43,99	20,58	46,28	41,64	142,24	56,65	13,79	208,24	3,72	45,12	2439,25
AF	103,59	73,13	1321,09	94,09	8,44	69,74	7,76	165,91	19,88	166,28	38,51	5,36	121,99	4,2	45,7	2068,96
AF	48,53	97,44	1072,8	27,26	6,97	14,38	6,66	17,31	17,6	131,47	31,09	8,61	125,58	4,64	26,29	1490,67
AF	68,47	95,82	1445,3	70,05	41,35	77,31	14,23	152,3	26,98	281,44	94,71	64,13	269,67	2,13	50,5	2590,08
AF	88,4	94,21	376,79	66,52	10,4	28,05	7,9	25,99	20,74	63,45	43,69	0	44,72	3,74	61,52	753,51
AF	108,34	92,59	535,9	43,11	5,02	20,56	10,47	25,09	24,43	105,38	44,12	6,52	59,06	4,32	54,02	938
AF	53,36	116,75	1214,84	80,59	54,96	39,2	8,85	105,84	12,79	225	52,91	229,42	54,44	7,46	12,79	2099,09
AF	73,29	115,14	1165,36	69,91	6,59	34,71	21,1	94,3	27,33	168,92	53,52	132,11	46,78	8,31	12,99	1841,92
AF	93,23	113,52	965,42	113,87	54,13	148,87	0	102,93	0	278,28	0	14,85	160,11	49,08	21,34	1908,9
AF	113,16	111,9	609,66	45,68	42,52	23,52	5,93	45,87	11,36	124,24	40,71	73,97	0	8,03	24,08	1055,56
AF	57,02	136,47	656,47	23,67	8,8	7,92	5,28	27,9	11,05	114,19	23,67	114,97	0	10,93	10,93	1015,78
AF	76,95	134,87	908,36	24,26	7,96	11,5	11,1	16,44	18,34	31,01	31,54	4,85	50,44	4,71	10,46	1130,96
AF	96,89	133,26	528,66	51,19	30,94	20,78	8,57	113,18	19,16	84,69	18,75	0	88,98	9,83	17,48	992,23
AF	116,82	131,66	544,1	17,21	7,38	6,92	3,52	16,76	11,58	108,34	32,39	4,56	77,94	4,36	18,54	853,61
AF	59,6	156,17	943,92	51,49	24,76	17,38	14,22	29,37	14,22	187,21	28,6	5,72	75,98	23,63	12,33	1428,83
AF	79,54	154,54	593,94	55,79	43,82	14,9	4,3	49,25	15,31	80,35	35,59	70,21	22,96	6,74	13,99	1007,15
AF	99,47	152,91	702,89	42,47	16,46	13,34	4,37	48,86	13,59	69,16	65,41	22,94	98,85	5,26	15,78	1119,37
AF	119,4	151,28	675,37	43,61	7,85	13,4	2,02	24,21	21,18	148,75	6,59	6,59	99,94	4,37	22,4	1076,28
AF	61,11	176,09	1581,87	53,98	11,65	63,42	20,72	83,12	39,55	194,68	34,09	5,21	94,79	24,49	24,49	2232,05
AF	81,04	174,42	758,65	375,25	24,89	52,4	26,69	103,69	65,77	100,74	40,26	65,18	22,51	31,5	24,27	1691,82
AF	100,97	172,76	1091,39	400,22	49,57	78,34	32,85	124,54	106,27	423,35	61,2	34	27,67	38,21	20,94	2488,54
AF	120,9	171,09	612,79	72,7	6,31	12,17	10,82	27,42	17,71	261,62	40,56	12,36	23,23	22,38	132,71	1252,79
GF	62,01	196,05	1767,72	306,34	13,27	169,77	30,97	159,31	56,94	151,96	97,93	0	50,65	31,39	24,89	2861,14
AF	81,94	194,35	1254,06	129,7	16,51	17,81	10,43	111,25	27,03	202,67	14,3	42,91	111,98	9,76	15,42	1963,83
AF	101,87	192,65	539,94	165,86	33,99	60,64	20,06	108,69	40,11	51,63	27,73	0	0	27,16	20,64	1096,45
AF	121,8	190,95	823,65	33,91	21,19	26,93	17,35	24,62	28,43	70,13	12,6	0	20,14	20,36	21,41	1120,72
GF	60,82	215,86	765,82	162,8	39,5	39,94	31,14	134,25	62,75	136,11	79,47	89,11	63,05	20,76	22,84	1647,52
GF	80,75	214,21	262,46	49,45	34,66	38,13	36,41	44,67	62,42	76,15	12,36	2,85	3,66	13,83	14,35	651,41
GF	100,69	212,57	518,91	196,88	14,37	73,24	35,42	120,26	75,39	74,03	71,73	5,09	0	26,86	23,57	1235,76
AF	120,62	210,93	604,46	376,7	17,62	67,41	31,74	135,53	91,38	73,72	48,36	0	0	20,84	21,37	1489,13
GF	57,22	236,53	322,92	127,89	24,3	33,29	23,57	69,96	45,18	85,54	23,21	7,41	74,52	20,22	18,62	876,62
GF	77,15	234,88	191,45	27,7	16,38	15,05	14,01	12,72	34,8	37,42	6,8	0	0	15,19	20,42	391,94
GF	97,09	233,23	342,54	160,33	23,19	58,9	27,33	132,46	53,66	31,74	49,37	0	0	17,55	20,29	917,38
GF	117,02	231,58	422,86	226,48	21,58	63,84	20,61	151,21	45,15	35,33	69,57	0	0	11,7	15,42	1083,76
GF	53,53	257,01	651,4	377,26	85,17	295,02	111,65	278,61	226,65	473	114,19	14,94	162,86	57,11	41,02	2888,88
GF	73,46	255,36	785,02	158,68	34,23	21,62	16,72	61,66	42,77	105,06	68,71	77,12	68,51	37,29	14,38	1491,79
GF	93,39	253,71	941,56	322,56	90,65	64,09	34,98	151,65	84,45	116,45	94,46	63,81	102,52	62,26	41,15	2170,59
GF	113,33	252,06	1900,38	1090,91	138,27	143,41	84,12	245,13	239,12	182,76	586,47	51,78	23,68	72,37	38,12	4796,52
GF	49,69	277,46	1425,44	660,81	58,21	141,89	64,53	215,98	169,76	143,73	140,75	21,96	106,45	65,08	38,72	3253,32
GF	69,62	275,85	1101,86	579,95	47,51	95,02	93,44	201,5	233,84	193,92	198,24	30,5	85,6	63,61	46,12	2971,1
GF	89,55	274,23	1579,32	603,67	66,48	144,66	61,31	255,55	177,3	137,27	147,96	12,33	178,41	121,25	38,2	3523,71
GF	109,49	272,61	1211,41	776,27	48,35	109,6	58,81	191,07	160,84	143,59	139,49	20,22	69,66	33,77	40,3	3003,37

Ursprung der Rechts- und Hochwerte: 4458500 und 5373400 (Gauß-Krüger-Koordinaten). AF: Vor 1992 als Acker genutzte Teilfläche; GF: Vor 1992 als Grünland genutzte Teilfläche.

## Danksagung

Herrn Professor Dr. Munch danke ich für die Vergabe, die Betreuung und die kritische Begleitung dieser Doktorarbeit.

Frau Professor Dr. Kögel-Knabner danke ich für die Übernahme des Koreferates, Herrn Professor Dr. Goettlein danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Dr. m Zsolnay, Dr. Reiner Ruser, Dr. Bernd Steinweg und Dr. Arndt Embacher danke ich für die fundierte fachliche Kritik und die vielen Gelegenheiten zur Diskussion. Dr. Reiner Ruser danke ich daneben für die Bestimmung der Monosaccharide im WEOM.

Dr. Ulrike Sehy und Dr. Axel Berkenkamp danke ich für die gute Zusammenarbeit im Labor und im Feld.

Kerstin Görke, Monika Schmidt, Angelika Schulz, Sebastian Bauer und Florian Weisenberger danke ich für die ausgezeichnete Arbeit im Labor und auf dem Feld in Scheyern.

Besonderer Dank gilt auch Dr. Karin Pritsch, Dr. Louisa Wessels, Brigitte Saueressig, Dr. Regina Adler-Khler, Dr. Andreas Günthner, Dr. Miguel Jimenez und Dr. Thomas Kamp.

Professor Dr. Juan Cornejo, Dr. Luca Cox und Dr. Rafael Celis vom Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologa de Sevilla danke ich für die Betreuung bei den Aufenthalten in Sevilla, Spanien, und für die Bestimmung der Porengroenspektren mittels Hg-Intrusion.

Herrn Professor Dr. Rehfuess danke ich, daß er mich auf die zu besetzende Doktorantenstelle am Institut für Bodenökologie der GSF aufmerksam gemacht hat.

## Lebenslauf

Persönliche Daten: Karl Zeller  
Hilblestraße 40, 80636 München  
geboren am 26.02.1968 in Geleen, NL  
ledig

### Schulbildung

1975 – 1979: Grundschule Murnau  
1979 – 1988: Staffelsee-Gymnasium Murnau

### Zivildienst

1988 – 1990: Unfallklinik Murnau (UKM)

### Studium

1990 – 1991: Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
1991 – 1997: Geologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München

### Promotion

1998 – 2001: Doktorant am Institut für Bodenökologie der GSF  
seit 2001: Verfassung der Dissertationsschrift  
Weiterbildung: Betriebswirtschaft, Marketing u. a.