



UFZ-Bericht

Nr. 9/2001

Stickstoffhaushalt einer Sand- Braunerde unter verschiedenen Bracheformen

Dirk Landgraf

Technische Universität Dresden,
Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Biozönoseforschung

Abschlußbericht des vom UFZ unter dem Förderkennzeichen UFZ-07/96 bewilligten Projektes:

„Stickstoffhaushalt einer Sand-Braunerde unter verschiedenen Bracheformen“

Diese Arbeit wurde gleichzeitig als

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden

vorgelegt von

Dirk Landgraf

geboren am 23. September 1967

in Leipzig

Gutachter: Prof. Dr. F. Makeschin

Prof. Dr. G. Dudel

Prof. Dr. P. Leinweber

Tag der öffentlichen Verteidigung am: 21.12.2000

Dresden im September 2000

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	
Verzeichnis der Tabellen	I
Verzeichnis der Abbildungen	III
Verzeichnis der Gleichungen	IX
Verzeichnis der Abkürzungen	XI
1. Einführung und Problemstellung	1
2. Material und Methoden	5
2.1 Standortbeschreibung	5
2.1.1 Klima	5
2.1.2 Geologie	6
2.1.3 Böden	7
2.2 Versuchsbeschreibung	13
2.2.1 Versuchsflächendesign	13
2.3 Probenahme und –aufbereitung	15
2.3.1 Probenahme	15
2.3.1.1 Entnahme von Bodenproben	15
2.3.1.2 Entnahme von Pflanzenproben	18
2.3.1.2.1 Entnahme von oberirdischen Pflanzenteilen	18
2.3.1.2.2 Entnahme von unterirdischen Pflanzenteilen (Wurzeln)	18
2.3.2 Probenaufbereitung	19
2.3.2.1 Bodenaufbereitung für die mikrobiologischen Analysen	19
2.3.2.2 Bodenaufbereitung für die N-Fractionen aus feldfeuchten Proben	19
2.3.2.3 Bodenaufbereitung für die bodenchemischen Analysen aus getrockneten Proben	19
2.3.2.4 Aufbereitung der Pflanzenproben	19
2.3.2.4.1 Aufbereitung der oberirdischen Pflanzenproben	19
2.3.2.4.2 Aufbereitung der unterirdischen Pflanzenproben (Wurzeln)	20

2.3.3.1	Methoden der Bodenanalytik	21
2.3.3.1.1	Bestimmung ausgewählter bodenchemischer Parameter	21
2.3.3.1.1.1	Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})	21
2.3.3.1.1.2	pH-Wert	21
2.3.3.1.1.3	Lactatlöslicher P, lactatlösliches K und pflanzenverfügbares Mg	21
2.3.3.1.1.4	Methoden zur Bestimmung C-haltiger Bodenfraktionen	22
2.3.3.1.1.4.1	Gesamtkohlenstoff (C_t)	22
2.3.3.1.1.4.2	Anorganischer Kohlenstoff (Carbonat)	22
2.3.3.1.1.4.3	Organischer Kohlenstoff (C_{org})	22
2.3.3.1.1.4.4	Organischer Kohlenstoff aus KCl-Extrakten ($C_{\text{org(KCl)}}$)	22
2.3.3.1.1.4.5	Heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff ($C_{\text{org(HWL)}}$)	23
2.3.3.1.1.5	Methoden zur Bestimmung N-haltiger Bodenfraktionen	23
2.3.3.1.1.5.1	Gesamtstickstoff (N_t)	23
2.3.3.1.1.5.2	Gesamtstickstoff aus KCl-Extrakten ($N_{t(\text{KCl})}$)	23
2.3.3.1.1.5.3	Organischer Stickstoff aus KCl-Extrakten ($N_{\text{org(KCl)}}$)	24
2.3.3.1.1.5.4	Mineralischer Stickstoff (N_{min})	24
2.3.3.1.1.5.4.1	Ammonium-N ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	24
2.3.3.1.1.5.4.2	Nitrat-N ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	25
2.3.3.1.1.5.5	Heißwasserlöslicher Stickstoff ($N_{t(\text{HWL})}$)	25
2.3.3.1.1.6	Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen	25
2.3.3.1.1.6.1	Mikrobielle Biomasse mittels Chloroform- Fumigation-Extraktion	25
2.3.3.1.1.6.2	Basalatmung	26
2.3.3.1.1.6.3	Metabolischer Quotient ($q\text{CO}_2$)	27
2.3.3.1.2	Bestimmung ausgewählter bodenphysikalischer Parameter	28
2.3.3.1.2.1	Lagerungsdichte	28
2.3.3.1.2.2	Körnungsanalyse	28
2.3.3.1.2.3	Wassergehalt und Trockensubstanz	28

2.3.3.2	Methoden der Pflanzenanalytik	29
2.3.3.2.1	Bestimmung des C und N Gehaltes der Pflanzenteile	29
2.3.3.2.2	Wassergehalt und Trockensubstanz der Pflanzen	29
2.3.4	Statistische Auswertung der Meßergebnisse	30
2.3.5	Fehlerdiskussion	32
2.3.5.1	Einfluß der Probenahme	32
2.3.5.2	Analytische Fehler	32
3	Ergebnisse und Diskussion	34
3.1	Bodenchemische Untersuchungsgrößen	34
3.1.1	Bodenacidität (pH-Wert _(H₂O))	34
3.1.1.1	Bodenacidität (pH-Wert _(H₂O)) – Betrachtungen im Zusammenhang der verschiedenen Brachevarianten	34
3.1.1.2	Bodenacidität (pH-Wert _(H₂O)) – Betrachtungen im Zusammenhang der zwei Bodentypen	36
3.1.2	Makronährstoffe	37
3.1.2.1	Pflanzenverfügbarer Phosphor (P _(DL)) im Boden	37
3.1.2.2	Pflanzenverfügbares Kalium (K _(DL)) im Boden	38
3.1.2.3	Pflanzenverfügbares Magnesium im Boden	40
3.1.3	Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK _{eff})	41
3.2	Ergebnisse ausgewählter Untersuchungsgrößen des C- und N-Kreislaufes in Abhängigkeit von verschiedenen Brachevarianten	45
3.2.1	Organischer Kohlenstoff (C _{org}) im Boden	45
3.2.2	Organischer Kohlenstoff des KCl-Extraktes (C _{org(KCl)}) im Boden	47
3.2.3	Heißwasserlöslicher Kohlenstoff (C _{org(HWL)}) im Boden	50
3.2.4	Gesamtstickstoff (N _t) im Boden	54
3.2.5	Organischer Stickstoff (N _{org}) im Boden	56
3.2.6	Gesamtstickstoff des KCl-Extraktes (N _{t(KCl)}) im Boden	59
3.2.7	Organischer Stickstoff des KCl-Extraktes (N _{org(KCl)}) im Boden	62
3.2.8	Ammoniumstickstoff (NH ₄ ⁺ -N) im Boden	68
3.2.9	Nitratstickstoff (NO ₃ ⁻ -N) im Boden	72
3.2.10	Heißwasserlöslicher Stickstoff (N _{t(HWL)}) im Boden	76

3.3	Ergebnisse ausgewählter Untersuchungsgrößen des C- und N-Kreislaufes in Abhängigkeit vom Bodentyp	82
3.3.1	Organischer Kohlenstoff (C _{org}) im Boden	82
3.3.2	Organischer Kohlenstoff des KCl-Extraktes im Boden	84
3.3.3	Heißwasserlöslicher Kohlenstoff (C _{org(HWL)}) im Boden	85
3.3.4	Gesamtstickstoff (N _t) im Boden	87
3.3.5	Organischer Stickstoff (N _{org}) im Boden	89
3.3.6	Gesamtstickstoff des KCl-Extraktes (N _{t(KCl)}) im Boden	90
3.3.7	Organischer Stickstoff des KCl-Extraktes (N _{org(KCl)}) im Boden	91
3.3.8	Ammoniumstickstoff (NH ₄ ⁺ -N) im Boden	92
3.3.9	Nitratstickstoff (NO ₃ ⁻ -N) im Boden	94
3.3.10	Heißwasserlöslicher Stickstoff (N _{t(HWL)}) im Boden	95
3.4	Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen in Abhängigkeit von verschiedenen Brachevarianten	97
3.4.1	Mikrobiell gebundener Kohlenstoff (C _{mic}) im Boden	97
3.4.2	Mikrobiell gebundener Stickstoff (N _{mic}) im Boden	103
3.4.3	Mikrobielle Basalatmung	107
3.4.4	Metabolischer Quotient (qCO ₂)	109
3.5	Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen in Abhängigkeit vom Bodentyp	111
3.5.1	Mikrobiell gebundener Kohlenstoff (C _{mic}) im Boden	111
3.5.2	Mikrobiell gebundener Stickstoff (N _{mic}) im Boden	113
3.5.3	Mikrobielle Basalatmung	114
3.5.4	Metabolischer Quotient (qCO ₂)	115
3.6	Pflanzenuntersuchungen	117
3.6.1	Oberirdische Phytomasse	117
3.6.2	Unterirdische Phytomasse	123
4	Zusammenfassende Diskussion und Schlußfolgerungen	128
5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	149

Literaturverzeichnis	157
Anhang	173
Anlagen	

Danksagung

Herrn Prof. Dr. habil. F. Makeschin möchte ich für die Überlassung des Themas sowie für die Förderung meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Bodenkunde und Standortlehre in Tharandt danken.

Herrn Prof. Dr. habil. G. Dudel danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Für die Durchsicht des Manuskriptes sowie die vielen hilfreichen Anregungen, welche wesentlich zum Profil der Arbeit beigetragen haben, danke ich Frau Dr. S. Klose sowie Herrn Dr. habil. H. Tanneberg.

Ohne die tatkräftige Unterstützung aller technischen Mitarbeiterinnen des Institutes wären die mannigfachen Analysen nicht zu bewältigen gewesen. Daher möchte ich mich an dieser Stelle sehr herzlich für die gewährte Hilfe bedanken. Besonders hervorheben möchte ich in diesem Zusammenhang die Arbeit von Frau S. Henschke.

Für die mühevollen Arbeit der Wurzelanalysen möchte ich mich bei den Mitarbeiterinnen der Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, Frau A. Neupert, Frau A. Schuster und Frau Dr. A. Trefflich bedanken.

Dem Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig-Halle danke ich für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens sowie den Mitarbeitern Herrn Dr. S. Klotz, Herrn Dr. A. Krumbiegel, Frau Dr. J. Stadler für die effektive interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt möchte ich der Agrargenossenschaft „Unteres Elbtal“, Kreinitz meinen Dank für die jederzeit gewährte Unterstützung in allen praktischen Belangen aussprechen. Besonders hervorheben möchte ich dabei die Arbeit von Herrn G. Förster, Herr L. Lange, D. und H. Lindner.

Verzeichnis der Tabellen	Seite
Tab. 1: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus drei verschiedenen Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1996 (n = 20)	41
Tab. 2: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus drei verschiedenen Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1997 (n = 20)	43
Tab. 3: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus 3 Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1998 (ungedüngte Variante)	44
Tab. 4: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus 3 Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1998 (ungedüngte Variante)	44
Tab. 5: $(\text{Corg}/\text{Nt})_{(\text{KCl})}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen	49
Tab. 6: $(\text{Corg}/\text{Nt})_{(\text{HWL})}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen	49
Tab. 7: $\text{Norg}_{(\text{KCl})}/\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen	80
Tab. 8: $\text{Norg}_{(\text{KCl})} + \text{Nmic}/\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen	80
Tab. 9: $\text{C}/\text{N}(\text{mic})$ – Verhältnis in den zwei Tiefenstufen (Median, n = 20)	102
Tab. 10: $\text{C}/\text{N}(\text{mic})$ – Verhältnis in den zwei Tiefenstufen der Humosen Braunerde (Median, n = 20)	112
Tab. 11: $\text{C}/\text{N}(\text{mic})$ – Verhältnis in den zwei Tiefenstufen der Braunerde (Median, n = 20)	112
Tab. 12: Vergleich der oberirdischen Pflanzentrockenmasse mittels Mann-Whitney-U-Test	118

Tab. 13: Vergleich des C-Vorrates der Brachevarianten der oberirdischen Pflanzentrockenmasse mittels Mann-Whitney-U-Test	122
Tab. 14: Vergleich des N-Vorrates der Brachevarianten der oberirdischen Pflanzentrockenmasse mittels Mann-Whitney-U-Test	122
Tab. 15: Wurzel-Trockenmasse der verschiedenen Brachevarianten in den gemessenen Tiefenstufen	123
Tab. 16: Verhältnis der Wurzeltrockenmasse an der Gesamtpflanzentrockenmasse der verschiedenen Brachevarianten	124
Tab. 17: C-Vorrat der Wurzeln der verschiedenen Brachevarianten in den gemessenen Tiefenstufen	125
Tab. 18: Verhältnis von C-Vorrat der Wurzeltrockenmasse am C-Vorrat der gesamten Pflanzentrockenmasse der verschiedenen Brachevarianten	126
Tab. 19: N-Vorrat der Wurzeln der verschiedenen Brachevarianten in den gemessenen Tiefenstufen	126
Tab. 20: Verhältnis des N-Vorrats der Wurzeltrockenmasse am N-Vorrat der gesamten Pflanzentrockenmasse der verschiedenen Brachevarianten	127

Verzeichnis der Abbildungen	Seite
Abb. 1: Niederschlagssummen (Σ NS) und Temperaturmittel von Jan. 96 bis Dez. 98 für die meteorologische Meßstation Stauchitz	5
Abb. 2: Leitprofil Nr. 1 (Humose Braunerde)	8
Abb. 3: Leitprofil Nr. 2 (Humose Braunerde)	8
Abb. 4: Leitprofil Nr. 3 (Braunerde)	9
Abb. 5: Leitprofil Nr. 4 (Braunerde)	9
Abb. 6: Bohrpunkte der Feinkartierung	10
Abb. 7: Bodentypen auf dem Ackerschlag „Gretz“	11
Abb. 8: Versuchsflächendesign des Ackerschlages „Gretz“	12
Abb. 9: Versuchsflächendesign	13
Abb. 10: Versuchsflächendesign mit Düngungsvariante	14
Abb. 11: Darstellung des Probenahmedesignmusters	15
Abb. 12: Teleskopmäkler auf der Testfläche	16
Abb. 13: Fließschema für die mikrobiologische Probenaufteilung	17
Abb. 14: Fließschema für die naßchemische Probenaufteilung	17
Abb. 15: Fließschema für die trockenchemische Probenaufteilung	17

Abb. 16: Wurzelbohrer der Firma Eijkelkamp	18
Abb. 17: Verlauf der Bodenacidität im Boden der verschiedenen Brachevarianten in 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	34
Abb. 18: Verlauf der Bodenacidität im Boden der zwei Bodensubtypen in 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	36
Abb. 19: $P_{(DL)}$ -Gehalte im Boden in den Jahren 1996 – 1998	37
Abb. 20: $K_{(DL)}$ -Gehalte im Boden in den Jahren 1996 – 1998	39
Abb. 21: Pflanzenverfügbare Mg-Gehalte im Boden in den Jahren 1996 – 1998	40
Abb. 22: Basensättigung im Boden in den Jahren 1996 – 1998	42
Abb. 23: Erdalkaliensättigung im Boden in den Jahren 1996 – 1998	42
Abb. 24: Corg Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	45
Abb. 25: $Corg_{(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	47
Abb. 26: $Corg_{(KCl)}/Corg$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	48
Abb. 27: $Corg_{(HWL)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	50
Abb. 28: $Corg_{(HWL)}/Corg$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)	52

- Abb. 29:** Nt Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 54
- Abb. 30:** Norg Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 56
- Abb. 31:** Norg/Nt-Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 57
- Abb. 32:** $Nt_{(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 60
- Abb. 33:** $Nt_{(KCl)}/Nt$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 61
- Abb. 34:** $Norg_{(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 65
- Abb. 35:** $Norg_{(KCl)}/Nt_{(KCl)}$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a),
10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 66
- Abb. 36:** $Norg_{(KCl)}/Nt_{(KCl)}$ -Verhältnis aller Brachevarianten in den
Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c)
und 60-100 cm (d) 67
- Abb. 37:** NH_4^+ -N Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 68
- Abb. 38:** NO_3^- -N Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),
30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 72
- Abb. 39:** NO_3^- -N/ $Nt_{(KCl)}$ -Verhältnis aller Brachevarianten in den
Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c)
und 60-100 cm (d) 73

- Abb. 40:** $N_{t(HWL)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 76
- Abb. 41:** $N_{t(HWL)}/N_t$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 78
- Abb. 42:** Prozentuale Anteile von $N_{org(KCl)}$ und $N_{t(HWL)}$ am N_t in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) 79
- Abb. 43:** C_{org} Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 82
- Abb. 44:** $C_{org(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 84
- Abb. 45:** $C_{org(HWL)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 85
- Abb. 46:** N_t Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 87
- Abb. 47:** N_{org} Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 89
- Abb. 48:** $N_{t(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen 90

Abb. 49: Norg _(KCl) Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	91
Abb. 50: NH ₄ ⁺ -N Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	92
Abb. 51: NO ₃ ⁻ -N Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	94
Abb. 52: Nt _(HWL) Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	95
Abb. 53: Cmic Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	97
Abb. 54: Cmic/Corg Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	99
Abb. 55: Cmic/Corg _(HWL) Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	100
Abb. 56: Nmic Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	103
Abb. 57: Nmic/Nt Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	104
Abb. 58: Nmic/Nt _(HWL) Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	105
Abb. 59: Basalatmung in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	107
Abb. 60: Metabolischer Quotient in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b),	109
Abb. 61: Cmic Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	111

Abb. 62: Nmic Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	113
Abb. 63: Basalatmung in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	114
Abb. 64: Metabolischer Quotient in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen	115
Abb. 65: Pflanzenfrischmasse der Brachevarianten	117
Abb. 66: Anteil der Trockensubstanz (a) und des Wassers (b) an der oberirdischen Phytomasse	119
Abb. 67: Trockenmasse- (a) und Wasservorrat (b) der oberirdischen Phytomasse	120
Abb. 68: C- und N- Vorrat der oberirdischen Phytomasse	121
Abb. 69: Darstellung der untersuchten N-Fraktionen im Boden im Juni 1996 in 0 bis 10 cm Tiefe	140
Abb. 70: Darstellung der untersuchten N-Fraktionen im Boden im April 1997 in 0 bis 10 cm Tiefe	140
Abb. 71: Darstellung der untersuchten N-Fraktionen im Boden im März 1998 in 0 bis 10 cm Tiefe	140

Verzeichnis der Gleichungen	Seite
Gleichung 1: Corg-Gehalt aus der Differenz von Ct und Carbonat-C	22
Gleichung 2: Reaktion von Stickstoffmonoxid und Ozon zu Stickstoffdioxid in angeregtem Zustand	24
Gleichung 3: Durch Abgabe von Strahlungsenergie des angeregten Stickstoffdioxid Bildung von Stickstoffdioxid in energiearmen Zustand	24
Gleichung 4: Berechnung von $N_{org(KCl)}$ aus der Differenz von $N_{t(KCl)}$ und N_{min}	24
Gleichung 5: Berechnung von N_{min} aus der Summe von Nitrat (NO_3^- -N) und Ammonium (NH_4^+ -N)	24
Gleichung 6: Berechnung des K_2SO_4 -extrahierbaren C nach Chloroform-Fumigation-Extraktion	25
Gleichung 7: Berechnung des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffes	26
Gleichung 8: Berechnung des mikrobiell gebundenen Stickstoffes	26
Gleichung 9: Berechnung des aus der Basalatmung nach Isermeyer entstandenen CO_2	26
Gleichung 10: Berechnung des metabolischen Quotienten (qCO_2)	27
Gleichung 11: Berechnung der Trockenrohddichte aus Stechzylindern mit 100 cm^3 Volumen	28
Gleichung 12: Berechnung der Trockenrohddichte aus Stechzylindern mit 250 cm^3 Volumen	28

Gleichung 13: Berechnung des Wassergehaltes (WG) in %	28
Gleichung 14: Berechnung der Trockensubstanz (TS) in %	28
Gleichung 15: Berechnung des Wassergehaltes der Pflanzenmasse in %	29
Gleichung 16: Berechnung der Trockensubstanz der Pflanzenmasse in %	29
Gleichung 17: Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson	30
Gleichung 18: Berechnung des Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman	31
Gleichung 19: Umformungsmöglichkeit von Gleichung 18 zur Darstellung des Zentralen Grenzwertsatzes von Cantelli und Kolmogoroff (1941)	31
Gleichung 20: Berechnung des U-Test nach Mann-Whitney	31
Gleichung 21: Kontrollmöglichkeit zur Berechnung des U-Test nach Mann-Whitney	32

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BBh	Humose Braunerde (KA4)
BBn	Typische Braunerde (KA4)
BS	Basensättigung
C	Kohlenstoff
CFE	Chloroform-Fumigation-Extraktion
Cmic	mikrobiell gebundener Kohlenstoff
Corg	organisch gebundener Kohlenstoff im Boden
Corg _(KCl)	KCl-extrahierbarer Corg im Boden
Corg _(HWL)	Heißwasserlöslicher Corg im Boden
Ct	Gesamtkohlenstoff im Boden
EUF	Elektro-Ultrafiltration
FEM	Fumigations-Extraktions-Methode
FB	Frühjahrsbrache
ES	Erdalkaliensättigung
g	Gramm
ha	Hektar
K	Kalium
KAK	Kationenaustauschkapazität
KAK _{eff}	effektive Kationenaustauschkapazität
K _(DL)	Kaliumgehalt (Doppellactatextraktion)
kg	Kilogramm
Mg	Magnesium
Mg _(DL)	Magnesiumgehalt (Doppellactatextraktion)
mg	Milligramm
ml	Milliliter
Nmic	mikrobiell gebundener Stickstoff
Nmin	mineralischer Stickstoff
Nt	Gesamtstickstoff im Boden
Nt _(KCl)	KCl-extrahierbarer Nt im Boden
Norg _(KCl)	KCl-extrahierbarer organischer Stickstoff im Boden
Nt _(HWL)	Heißwasserlöslicher Nt im Boden

P	Phosphor
P _(DL)	Phosphor (Doppellactatextraktion)
PE	Polyethylen
Ph	<i>Phacelia</i>
ppm	parts per million
qCO ₂	metabolischer Quotient
r	Korrelationskoeffizient
r ²	Bestimmtheitsmaß
Ro/HB	Herbstbrache nach Roggenanbau
Ro/HB(un)	Herbstbrache nach Roggenanbau, nicht gedüngt
Ro/HB(ge)	Herbstbrache nach Roggenanbau, im Mai 1998 gedüngt
µg	Mykrogramm

Einführung und Problemstellung

Hohe Zufuhr an organischen und mineralischen Düngern während der letzten Jahrzehnte führte zu einem starken Anstieg der Vorräte an Makronährstoffen in landwirtschaftlich genutzten Böden (Isermann, 1993). Besondere Umweltrelevanz besitzt dabei der Stickstoff, da dieser im Boden sehr intensiv umgesetzt wird und mobile N-Verbindungen das Solum verlassen und die Umwelt belasten können. So geht Stickstoff mit einer Überschubbilanz von durchschnittlich 150 kg/ha in ackerbaulich genutzten Böden ein und übertrifft damit die Salden anderer Bioelemente deutlich. Dies führte zu gezielten Überlegungen, diese extreme Stickstoffbilanz durch gezielte, umweltschonende Strategien der Stickstoffdüngung abzubauen (Sauerbeck, 1993) und dabei auch die vielfältigen Möglichkeiten acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen einzubeziehen (Köpke, 1993).

Unabhängig von der Art und Intensität zukünftiger Bodennutzung werden derzeit in der EU etwa 15 % der ackerbaulich genutzten Standorte für jeweils mindestens drei Jahre stillgelegt. Das Auflassen landwirtschaftlicher Nutzung kann dazu führen, daß insbesondere während der ersten Jahre auf eutrophierten Standorten die hohen Bodenstickstoffvorräte mobilisiert werden und der Auswaschung oder gasförmigen Verlusten unterliegen. Ein besonders hohes Risiko besteht dabei in Sandböden (Sommer et al., 1993).

Über die Mengen und das zeitliche Ausmaß derartiger Stickstoffverluste liegen bislang erst wenige Ergebnisse vor. Krauss (1994) untersuchte die Vorfruchtwirkung verschiedener Bracheformen auf die nachfolgende ackerbauliche Nutzung. Beudert (1994) führt die hohen NO_3^- -Frachten in Drainage- und Oberflächengewässern auf den Einfluß von Brachen zurück. Auch Bach (1987) geht in seinem umfangreichen Schrifttum auf die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft ein.

Untersuchungen zur Stickstoffdynamik ackerbaulich intensiv genutzter Flächen wurden bislang vorwiegend in lehmigen Böden durchgeführt. So kommt Isermann (1993) bei Untersuchungen der N-Verteilung in Böden bis 10 m Tiefe unter landwirtschaftlich genutzten Flächen zu der Erkenntnis, daß im Gegensatz zu forstwirtschaftlich genutzten Standorten erhöhte Mengen von kaliumsulfatlöslichen N im Boden (in der Abfolge $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{org. N}$) zu finden sind. Er schlußfolgert, daß alle Maßnahmen, welche den Ernteertrag maßgeblich erhö-

hen, und zugleich entzugsorientiert gedüngt wurden, durch Stickstoffabschöpfung entlastend auf die Nitratbelastung des Grundwassers wirken.

Renger und Wessolek (1992) gehen in ihrer Arbeit auf die Nitratgehalte im Boden im Verhältnis zu Düngerarten und -mengen, Düngungsterminen, N-Umsetzung und Niederschlagsverteilung ein und stellen dabei signifikante Korrelationen, vor allem im Gemüsebau fest. Ein interessantes Ergebnis ihrer Untersuchungen ist, daß durch Zwischenfruchtanbau die Nitratgehalte im Sickerwasser um mehr als 50 % gesenkt werden können. Weinzierl (1992) entwickelte ein Verfahren, mit welchem auf Karten die potentielle Nitratauswaschungsgefahr landwirtschaftlich genutzter Böden ermittelt, bewertet und dargestellt werden kann. Auch in dieser Arbeit kommt zum Ausdruck, das die potentielle Nitratauswaschungsgefahr nach den klimatisch-bodenkundlichen Gegebenheiten bewertet werden muß.

Anlauf et al. (1988) entwickelten ein einfaches Modell zur Berechnung der Nitratausträge aus Böden auf Lößstandorten im Umkreis von Hannover, das zur Abschätzung von Bewirtschaftungsänderungen auf die Nitratgehalte in Brunnen intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen dienen soll. Van der Ploeg und Huwe (1988) wiesen auf den Bodentypen Parabraunerde-Pseudogley und Gley-Braunerden unter landwirtschaftlicher Nutzung eindeutig eine positive Korrelation zwischen den Vorräten an mineralischen Stickstoff im Herbst und der Nitratauswaschung im Winter nach. Sie stellen fest, daß das Modell zur Berechnung der Nitratgehalte gemäß der Verordnungen des Ministeriums für Umwelt des Landes Baden-Württemberg von Sontheimer und Rohmann (1986) nur unter Beachtung der klimatischen Verhältnisse und der Bodeneigenschaften zu ausreichend genauen Ergebnissen führt.

Weyers und Schröder (1988) beschäftigten sich mit der standortgerechten landwirtschaftlichen Nutzung, um die Nitratauswaschungsgefahr so gering wie möglich zu halten. Beim Anbau von Leguminosen wird aufgrund der leichten Mineralisierbarkeit der Pflanzenreste im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen der N-Umsatz im Boden erhöht, welcher zu entsprechend höheren Nitratgehalten führt. Diesen Ergebnissen zufolge sollte die N-Düngung im Frühjahr nicht zu früh und der Frühjahrsumbruch erst kurz vor Ende der Sickerwasserperiode erfolgen. Die Nitratgehalte nehmen in allen Böden während der Sickerwasserperiode stark ab, und zwar um so stärker, je mehr Nitrat im Boden vorhanden und je leichter die Bodenart ist.

Schneider (1991) geht in ihrer Arbeit auf Denitrifikationsverluste auf Lößstandorten in einem landwirtschaftlich genutzten Wassereinzugsgebiet ein. Auch hier wird deutlich, daß die N-Dynamik im Boden wesentlich von den Standorteigenschaften sowie von der Bodennutzungsform abhängig ist. Raderschall (1994) führte im Rahmen eines BMFT-Projektes Untersuchungen zu Austrägen von Nähr- und Schadstoffen aus landwirtschaftlich genutzten Böden in das Wassereinzugsgebiet der Hunte durch. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, daß die Sorptionsfähigkeit der leichten Sandböden der Region Hunteburg bereits so weit erschöpft wurde, daß sich ein beginnender Kaliumdurchbruch in größere Tiefen andeutet. Begleitet von erhöhten Schwermetallwerten in den Vorflutern des Untersuchungsgebietes führte die nachlassende Sorptionsfähigkeit sogar zur Auswaschung auffällig hoher Mengen an Phosphaten.

Scheffer und Kuntze (1991) führten N-Düngungsversuche auf leichten Sandstandorten durch. Diese Autoren konnten feststellen, daß der Nitrataustrag aus Sandböden in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung mit Werten zwischen 40 und 100 kg N/ha * a deutlich höher als jener aus Lehmböden ist. Sie wiesen darauf hin, daß bedingt durch die höhere Grundwasserneubildung und das geringere Wasserspeichungsvermögen sandiger Substrate hohe Kalium- und Nitratfrachten in das Grundwasser gelangen können. Meißner et al. (1993) beschäftigten sich mit dem Einfluß der Flächenstilllegung und Extensivierung auf den Stickstoffaustrag in das Grundwasser.

Ergebnisse zur N-Dynamik hoch mit Stickstoff versorgter Ackerböden unter Brache liegen von Stahr und Jahn (1992) vor. Diesen Untersuchungen zufolge nimmt die Grundwassergefährdung durch Nitrateintrag nach über einem halben Jahr Brache deutlich ab. Die Nitrateinträge ins Grundwasser lassen sich deutlich verringern, wenn auf Grundbodenbearbeitung vor der Stilllegung verzichtet wird und noch im Jahr der Ackernutzung eine gezielte Begrünung erfolgt. Dabei sind Selbstbegrünungen wegen deren langsamer Bestandesentwicklung als ungünstig einzuschätzen. In keinem Fall konnte eine entscheidende Verschlechterung des bodenchemischen Zustandes nach fünfjähriger Brache festgestellt werden. Stahr und Jahn (1992) schlußfolgern aus ihren Untersuchungen, daß Brache als zeitlich begrenzte Alternative zum Ackerbau auf Standorten mit niedrigen Bodenzahlen aus ökologischer Sicht nur bedingt zu empfehlen ist.

Bislang wurden keine Untersuchungen durchgeführt, die sich unter den spezifischen Klimabedingungen des mitteldeutschen Agrarraums, mit der Stickstoffdynamik in Böden unter Bra-

chen beschäftigen. Ebenfalls noch zuwenig bekannt ist, wie sich die N-Bilanz in Böden in Jahren mit unter- bzw. überdurchschnittlichen Niederschlägen auf leichten Sandstandorten entwickelt.

Ziel dieser Arbeit war es, die Vorräte, Bindungsformen und Dynamik des organischen und anorganischen Bodenstickstoffes nach Auflassen der ackerbaulichen Nutzung auf einem leichten Sandstandort Nordostsachsens zu bestimmen und zu quantifizieren. Es wurden die Auswirkungen gezielter Maßnahmen zur Abschöpfung des mineralisierten Stickstoffes in Form verschiedenartiger Bracheverfahren (Selbstbegrünung, bzw. Aussaat von *Phacelia*) untersucht.

Neben den organischen und anorganischen Fraktionen des Stickstoffs der Fest- und Lösungsphase galt ein Hauptaugenmerk der mikrobiellen Biomasse als Stickstoffquelle und -senke in Böden. Deshalb wurden auch die mikrobiell gebundenen Mengen an Stickstoff quantifiziert. Die Untersuchungen der verschiedenen N-Fraktionen und der mikrobiellen Biomasse wurden in sechswöchigem Abstand in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm wiederholt.

Die im Solum vorhandenen Gesamt-Vorräte an N und dessen verschiedener Bindungsformen sowie der in der Phytomasse und in der mikrobiellen Biomasse gespeicherten N-Mengen soll es erlauben, die N-Dynamik im Boden fraktions- und tiefenstufenbezogen zu ermitteln. Ziel dieser Untersuchung ist letztendlich, durch einen abschließenden Vergleich der faktoriell vorgenommenen Eingriffe zur gezielten Steuerung der Brache Aussagen über die Dynamik des Bodenstickstoffes in leichten Böden unter den spezifischen Bedingungen des mitteldeutschen Agrarraums zu treffen und Empfehlungen hinsichtlich ökologisch günstiger Bracheverfahren zu erarbeiten.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

2.1.1 Klima

Der Standort Kreinitz befindet sich im kontinental beeinflussten Ostdeutschen Binnenlandklima, im Klimabezirk der Elbaue (Klimaatlas der DDR, 1953). Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt zwischen 8,4 °C (Oschatz) und 9,8 °C (Bitterfeld). Die Vegetationsperiode (Lufttemperatur > 5 °C) beginnt im langjährigen Mittel am 25. März und endet zwischen dem 31. Oktober und dem 05. November (Lufttemperatur < 5 °C), woraus sich eine mittlere Dauer der Vegetationsperiode von 210 bis 220 Tagen ergibt. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme in diesem Gebiet beträgt 550 bis 600 mm.

Aus technischen Gründen lieferte die meteorologische Meßstation auf der Versuchsfläche erst ab Ende Mai 1997 Meßdaten. Deshalb wurden für den Untersuchungszeitraum von 1996 bis 1997 Daten der Meßstation in Stauchitz (20 km südlich von Kreinitz) hinzugezogen, welche von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Integrierter Pflanzenschutz, betreut wird.

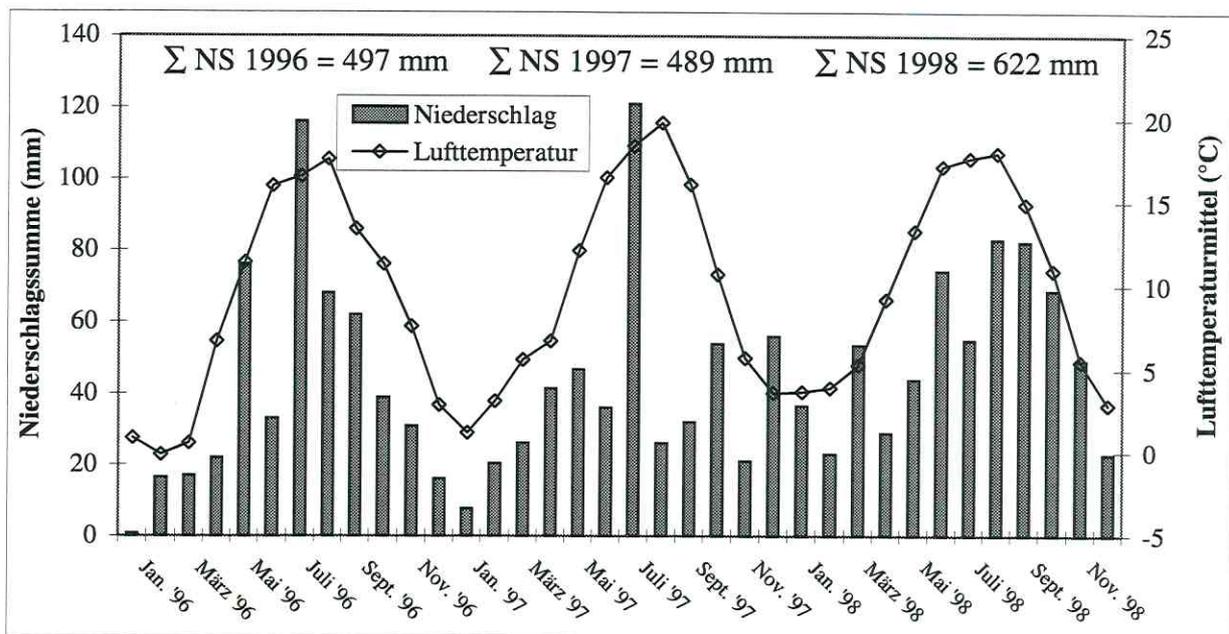


Abb. 1: Niederschlagssummen (Σ NS) und Temperaturmittel von Jan. 96 - Dez. 98 für die meteorologische Meßstation Stauchitz

In den drei Untersuchungsjahren wurden durchschnittliche Jahreslufttemperaturmittel von 8,7 bis 10,2 °C gemessen. Diese Werte liegen im Bereich des beschriebenen Mittels für den Elb-
aueklimabezirk. Hingegen liegen die Niederschläge der ersten beiden Untersuchungsjahre mit einer Jahressumme von weniger als 500 mm pro Jahr deutlich unter dem langjährigen Mittel.

2.1.2 Geologie

Der Standort Kreinitz liegt östlich der Elbe in einem Niederungsgebiet, welches sich deutlich durch ausgeprägte Steilhänge gegen die diluviale Hochfläche der Liebschützer und Strehlaer Berge abgrenzt. Diese sind Teile eines varistischen Gebirges, dessen Aufbau durch die starke Bedeckungen aus jüngerer Zeit nicht mehr eindeutig erkennbar ist. Die diluviale Hochfläche erreicht eine durchschnittliche Höhe von 110 bis 120 m über NN und liegt damit etwa 20 bis 30 m über dem Elbspiegel.

Das Niederungsgebiet wird hauptsächlich von einer Sand- und Kiesebene eingenommen, die dem jüngsten diluvialen Talboden der Elbe entspricht. Diese Niederterasse wird durch jüngere Sanddünen gegliedert. Eine in allen Flußtälern zu beobachtende Aufschotterung kennzeichnet den Eintritt der jeweiligen Eiszeit. Diese Aufschüttung erfolgte solange das Eis heranrückte. Vor dem Eisrand stauten sich die aus dem Süden kommenden Flüsse, darin mitgeführte und zum Fließstillstand gekommene Feinsedimente lagerten sich in Form von Bänder-ton ab. Im Anschluß an die Sedimentierung wurde die Grundmoräne durch das Innlandeis abgelagert. Mit dem Verschwinden des Eises kam es zur Absenkung der Erosionsbasis, was ein erneutes Einschneiden der Elbe zur Folge hatte.

Auch im Raum Riesa/Strehla kann man die für das sächsische Randdiluvium zum Ablauf der Eiszeit durch Grahmann (1926) beschriebene Regel erkennen. Diese Regel kann folgendermaßen beschrieben werden: Durch das Herannahen des Eises kam es zur Ablagerung von Flußschottern. Diese bewirkten einen Aufstau der Flüsse mit folgender Bildung von Bänder-ton. Die Eisbedeckung führte zur Bildung der Grundmoräne und der Rückzug des Eises zur Ablagerung von Geschiebesanden und -kiesen.

Bildungen der ersten (Elster-) norddeutschen Eiszeit sind in diesem Raum bisher noch nicht nachgewiesen worden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, daß auch dieses Gebiet unter dem Eis dieses Glazials lag. Man kann dies einerseits aus den weiter südlich vorzufindenden

geologischen Verhältnissen, und andererseits aus den abgelagerten Flußschottern nordischen Gepräges, insbesondere Feuerstein, schließen. Die zweite (Saale-) Eiszeit ist durch die gesamte Schichtfolge vertreten. Die dritte (Weichsel-) Eiszeit erreichte das beschriebene Gebiet nicht, ist aber durch Aufschotterungen in den Tälern zu erkennen. Zu den Bildungen der letzten Eiszeit gehören auch der Löß und der Sandlöß. Lößschleier sind aber nur in den Bachtälern, nicht jedoch auf der Niederterrasse zu finden. Grahmann (1926) schlußfolgerte daraus, daß die Lößschleier bald nach ihrer Bildung von den Niederterrassen ins Wasser geweht wurde, während das Verwehen des Lößes in den windgeschützten Tälern verhindert wurde.

Im Alluvium folgte nach der Aufschüttung der jungdiluvialen Terrasse eine Zeit intensiver Erosion und Akkumulation. In jene Zeitperiode wird auch die Bildung der Flugsande datiert. Diese sind flächenhaft verbreitet und weisen eine Mächtigkeit von ca. 2 m auf. Verschiedene Merkmale deuten darauf hin, daß es sich hierbei um Flugsande und damit um Dünen handelt. Die Dünen sind fast ausschließlich am Ostufer der Elbe ausgebildet und daher durch westliche und südwestliche Winde aufgehäuft. Ein weiteres Merkmal sind die von Sandhügeln eingeschlossenen Depressionen, welche nicht durch eine fluviatile Erosion erklärt werden können (Grahmann, 1926).

2.1.3 Böden

Entsprechend der naturräumlichen Gliederung von Mannsfeld und Richter (1995) befindet sich das Untersuchungsgebiet im Sächsisch-Niederlausitzer Heideland im Grenzbereich des Riesa-Torgauer Elbtales und der Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung. Die Böden dieser Region sind aus lockeren, teilweise kiesig-sandigen Ablagerungen des Diluviums und des Alluviums entstanden. Auf dem Ackerschlag „Gretz“ kann man entsprechend der Geologischen Karte von Sachsen (1926) zwei Bodenarten differenzieren. In der Mulde der Untersuchungsfläche konnte ein diluvialer Lehmiger Sandlöß auf Sand und Kies ausgeschieden werden. Entsprechend der Reichsbodenschätzung von 1937 wurde dieser Standort als IS4 bzw. sL5 klassifiziert (Feldschätzungsbuch, 1937). Diese Resultate konnten im Wesentlichen durch die Profilaufnahmen der Profile 1, 2 und 4 bestätigt werden (Abb. 2, 3 und 5). Die Profile wurden im Sommer 1996 nach der Kartieranleitung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (KA 4) charakterisiert. Als Bodentyp wurde für die Profile 1 und 2 eine Humose Braunerde ausgeschieden. Das Profil

3 wurde als Braunerde ausgewiesen, da der Ah-Bv-Horizont dieses Profils eine Mächtigkeit von weniger als 4 dm aufwies. Die durch die Profile 1 und 2 gekennzeichnete Geländemulde weist aufgrund eines guten Wasserhaltevermögens günstige ackerbauliche Verhältnisse auf. Jedoch wird infolge des leichten Luftzutrittes auch der Abbau von organischen Düngern beschleunigt, so daß der Landwirt früher mit Recht klagte, daß dieser Boden „Dünger frißt“ (Grahmann, 1926). Wichtige bodenphysikalische Kennwerte der Profilaufnahmen in dieser Ackermulde sind in den Tabellen A1 bis A15 zusammengefaßt. Auf dem östlichen Muldenhang des Ackerschlags (Profil 4) hingegen kann entsprechend der Geologischen Karte von Sachsen (1926) ein alluvialer Flugsand- und Dünenboden ausgeschieden werden. Nach der Reichsbodenschätzung (Feldschätzungsbuch, 1937) wurde dieser Standort als S5 und S6 klassifiziert. Bei der Profilsprache nach KA 4 konnte dieses Profil als Braunerde charakterisiert werden (Abb. 5). Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen für dieses Profilaufnahme sind in den Tabellen A3, A6, A10 und A13 zusammengefaßt. Die im Sommer 1996 durchgeführte Feinkartierung dieses ca. 10 ha großen Ackerschlags, im 30 x 30 m Raster bestätigte die im Rahmen der Reichsbodenschätzung vorgenommene Standortsklassifizierung weitestgehend. Bei



Abb. 2: Leitprofil Nr. 1 (Humose Braunerde)



Abb. 3: Leitprofil Nr. 2 (Humose Braunerde)

der Feinkartierung wurden insgesamt 150 Bohrproben mittels Pürckhauer-Bohrstock bis in 1 m Tiefe entnommen und nach KA4 bodenkundlich charakterisiert (Abb. 6, Tab. A1). Insgesamt wurden auf der Untersuchungsfläche 4 Bodentypen ausgeschieden. Flächenmäßig dominant ist die Braunerde auf den östlichen und westlichen Hügeln der Fläche. In der Senke, von Norden nach Süden erstreckend, konnte hingegen fast ausnahmslos die Humose Braunerde (BBh) ausgeschieden werden (Abb. 7). Die Ausbildung der teilweise sehr mächtigen Ah-Horizonte dieses Bodentyps von bis zu 76 cm Mächtigkeit (Tab. A1/9) ist auf die jahrzehntelange intensive landwirtschaftliche Nutzung dieser Fläche, welche auch häufige Gaben von organischen Düngern (Gülle) beinhaltete, zurückzuführen. Das Ausbringen von Gülle führte in der Senke dieses Ackerschlages zu einer Anreicherung des organischen Materials auf dem leichten Sandstandort. Dies kann durch die unterschiedlich mächtig ausgeprägten Lehm und Tonschleier im Untergrund (Tab. A1) und dem dadurch bedingten verzögerten Wasserabfluß, im Gegensatz zu dem sandigen Substrat im Untergrund der Dünenhügel im Westen und Osten des Ackerschlages, begründet werden. Bedingt durch die beschriebenen Unterschiede im Untergrund der Teilflächen ist auf den Parzellen der Senke des Ackerschlages mit einer

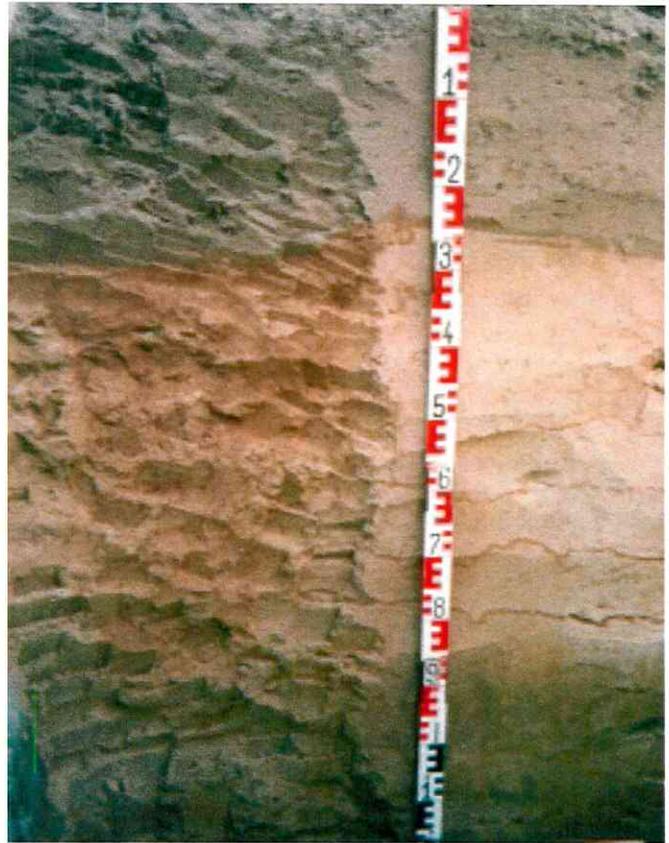


Abb. 4: Leitprofil Nr. 3 (Braunerde)



Abb. 5: Leitprofil Nr. 4 (Braunerde)

relativ geringen Durchlüftung zu rechnen. Dies kann zu ungünstigen Bedingungen für die Bodenmikroflora und damit zum verzögerten Abbau von organischen Substanzen geführt haben. Im Norden der Fläche führte der hohe Lehm- und Tongehalt im Unterboden zur Ausbildung eines Braunerde-Pseudogleys (BB-SS). Da dieser Bodentyp wie auch der im Westen der Fläche gefundene Regosol (RQn) flächenhaft von untergeordneter Bedeutung waren und sich außerhalb der Versuchspartellen für diese Untersuchungen befanden, wurden diese Bodentypen für die folgenden Untersuchungen nicht mehr beachtet. Der gesamte Ackerschlag wurde durch einen Fahrweg für die Bodenprobeentnahme in zwei etwa gleich große Teilflächen untergliedert (Abb. 8). Die westliche Teilfläche wurde von der Sektion Biozönoseforschung des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle GmbH und die östliche Teilfläche für die durch das Institut für Bodenkunde und Standortslehre der TU-Dresden durchgeführte Studie genutzt.

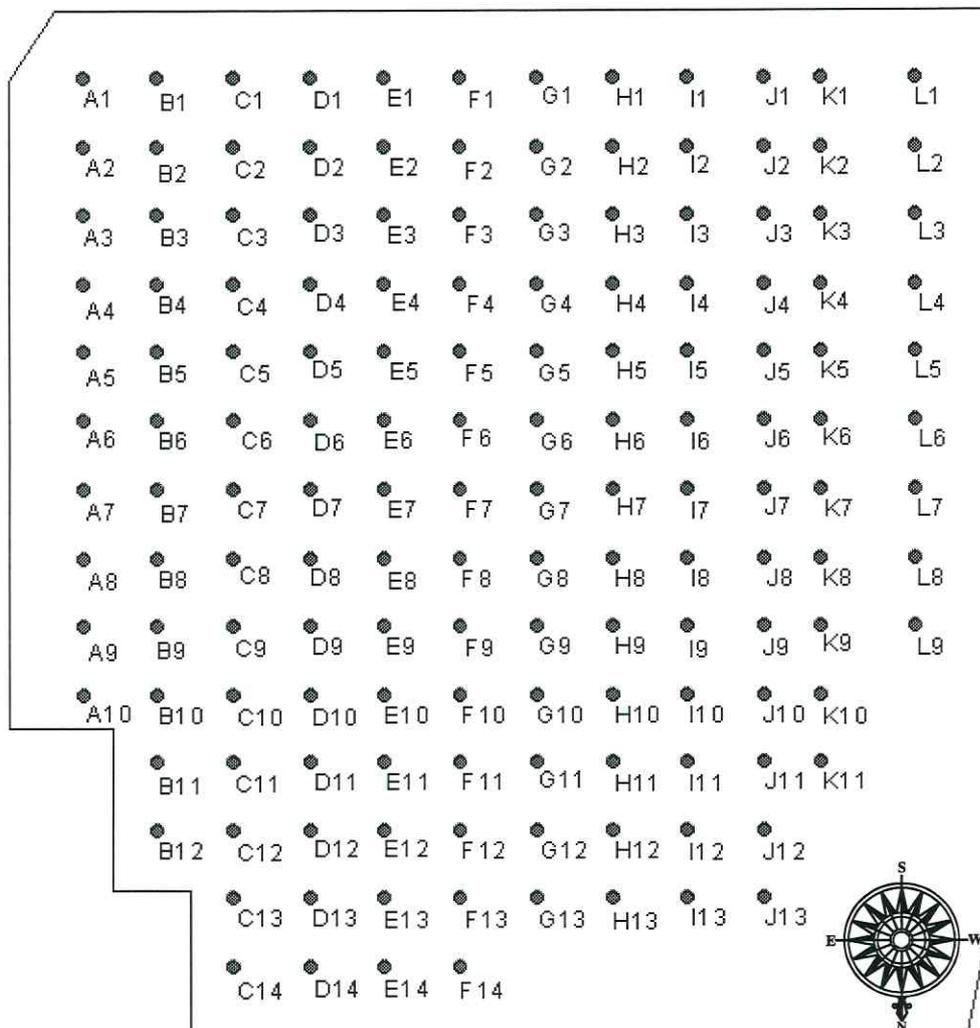
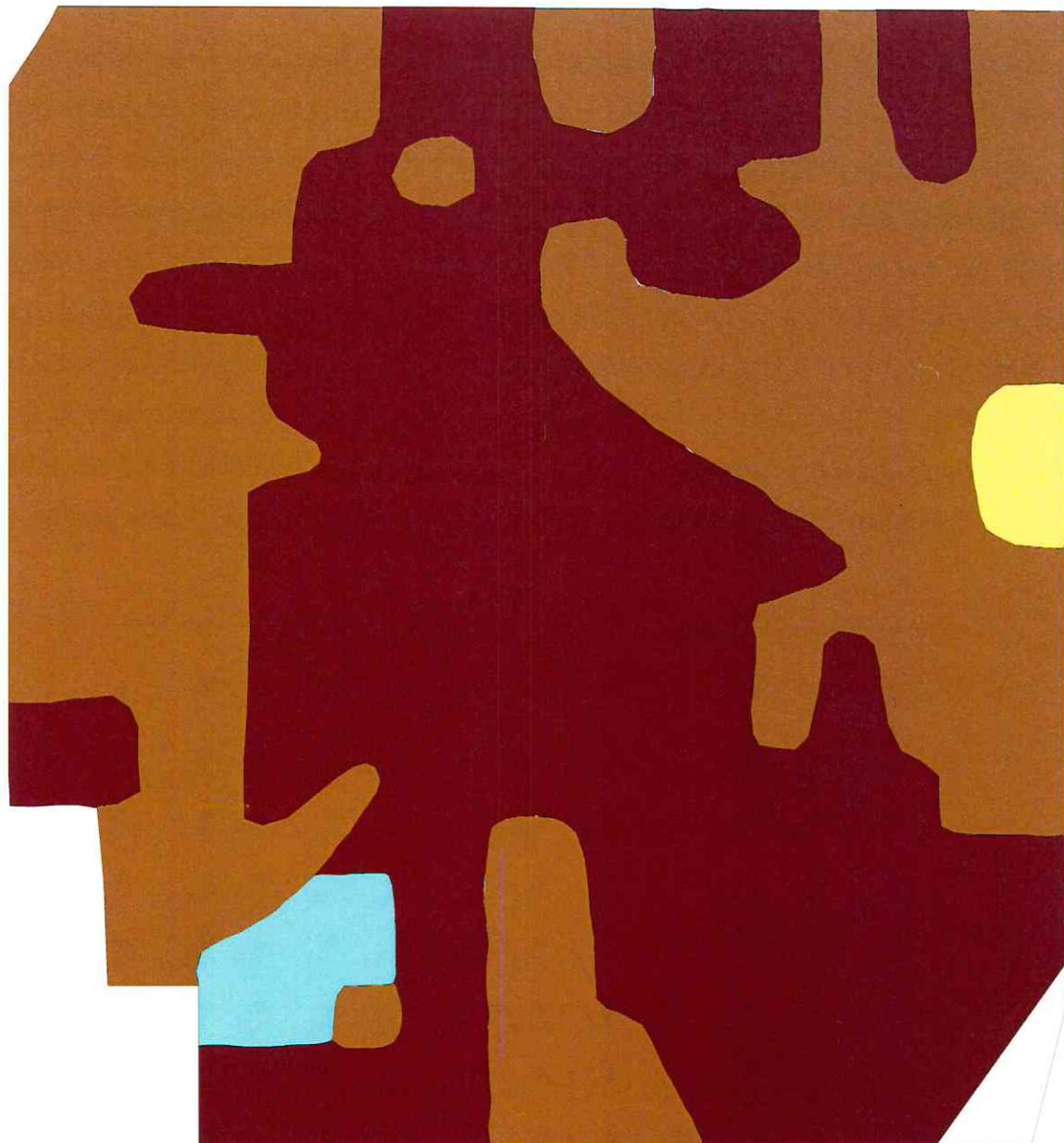


Abb. 6: Bohrpunkte der Feinkartierung



-  Braunerde (BBn)
-  Humose Braunerde (BBh)
-  Regosol (RQn)
-  Braunerde-Pseudogley (BB-SS)
-  nicht bestimmt

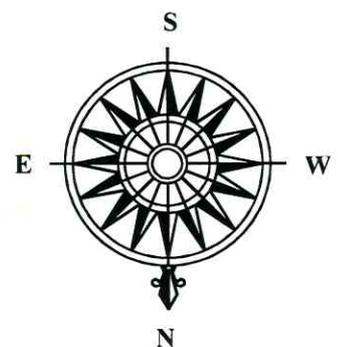


Abb. 7: Bodentypen auf dem Ackerschlag „Gretz“

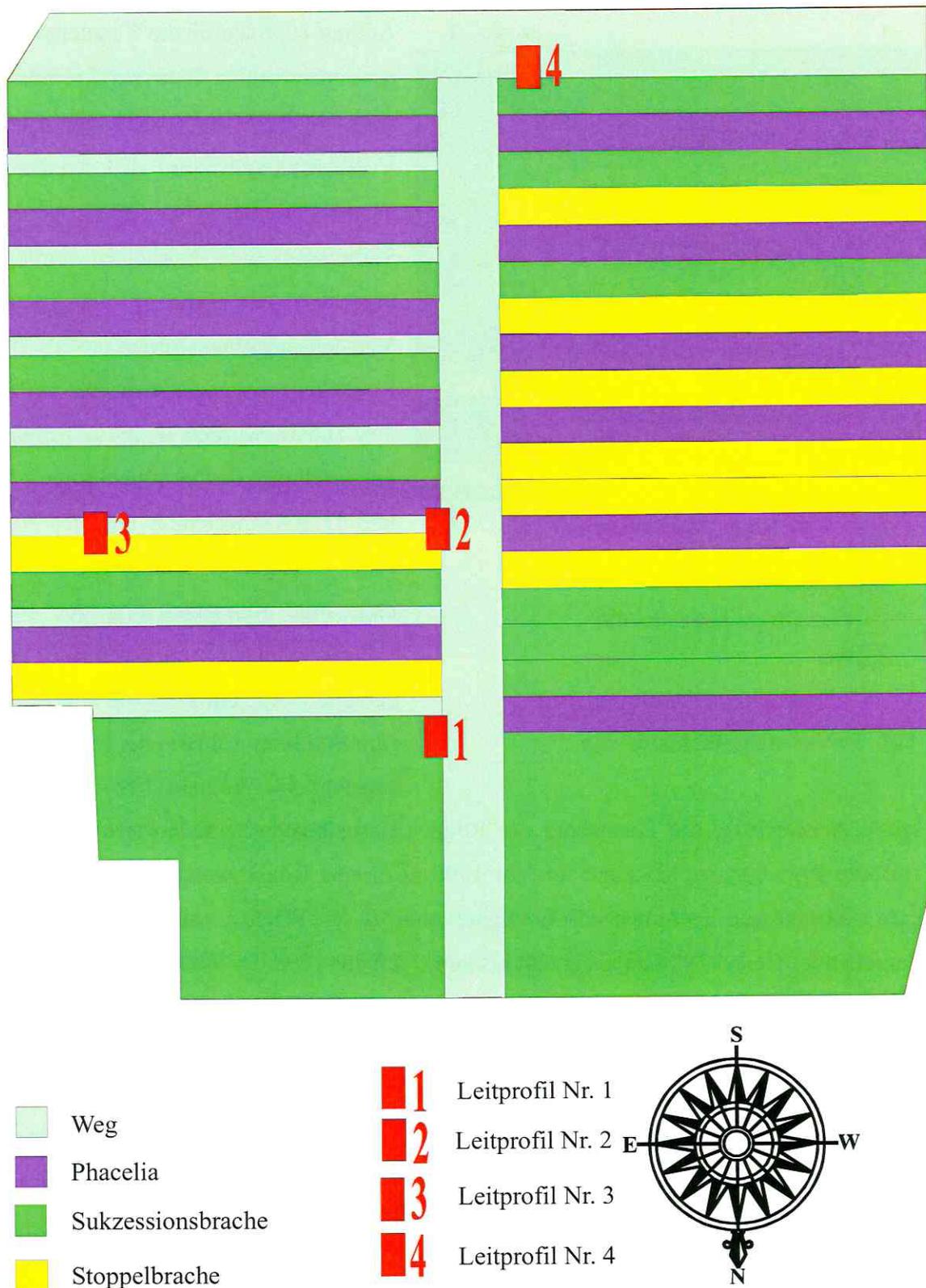


Abb. 8: Versuchsflächendesign des Ackerschlagdes „Gretz“

2.2 Versuchsbeschreibung

2.2.1 Versuchsflächendesign

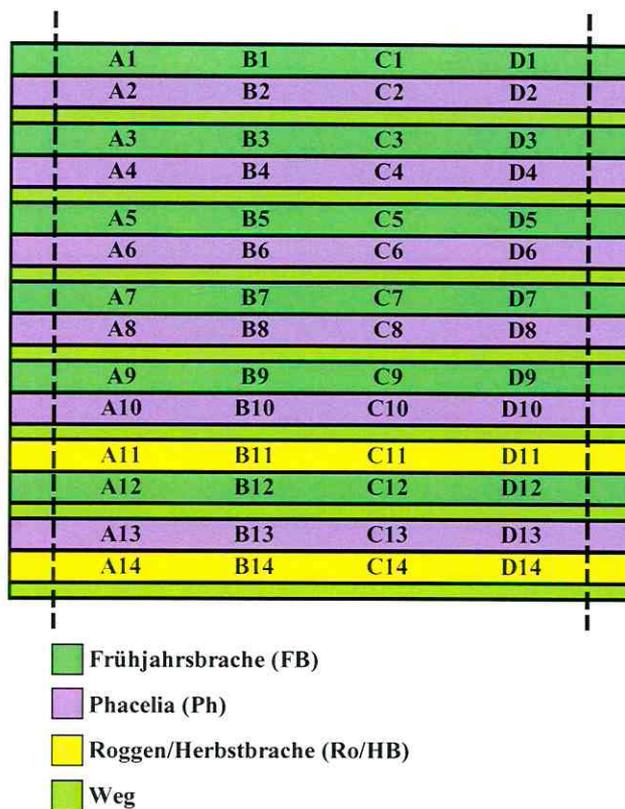


Abb. 9: Versuchsflächendesign

Anfang 1996 wurde die Versuchsfläche auf dem Ackerschlag Gretz bei Kreinitz (Sachsen) angelegt. Es wurden insgesamt 14 Versuchspartellen mit den Abmaßen 140 m x 12 m eingerichtet. Diese wurden von Südwesten nach Nordosten durchgehend nummeriert. Am Rand der Längsachse der Versuchspartellen wurden jeweils 20 m als Randzonen ausgeschieden. Die verbleibenden 100 m wurden in 25-m-Teilpartellen geviertelt, mit den Großbuchstaben A, B, C und D gekennzeichnet und der Nummerierung hinzugefügt. Damit ergab sich eine eindeutige Kennzeichnung der einzelnen Teilpartellen (Abb. 9). Nach jeder zweiten Partelle wurde ein Weg von 6 m Breite zum Befahren während der Probenahme angelegt. Im Frühjahr 1996 wurde der gesamte Ackerschlag, mit Ausnahme der Roggen/Herbstbrache-Partellen (Ro/HB), gepflügt. Auf den Ro/HB-Partellen stand im Jahr 1996 noch eine Roggenkultur. Nach der Ernte und dem vollständigen Entfernen des Erntegutes von diesen Flächen wurden auch die Ro/HB-Partellen im Herbst 1996 gepflügt und bis zum Frühjahr 1998 der Sukzession überlassen. Auf den als Frühjahrsbrache (FB) gekennzeichneten Partellen erfolgten in den 3 Untersuchungsjahren (1996 bis 1998) keine ackerbaulichen und phytomedizinischen Maßnahmen. Auf den mit Phacelia (Ph) gekennzeichneten Partellen wurde jeweils im Frühjahr nach erfolgter schonender Bodenbearbeitung *Phacelia tanacetifolium* gedrillt. Diese Pflanzenart ist in der botanischen Klassifikation nach Abb. A1 in die Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllaceae*) einzuordnen. Die Übersicht verdeutlicht, daß *Phacelia tanacetifolium* einen sehr hohen Wasserbedarf hat. *Phacelia tanacetifolium* ist anspruchslos, was den Standort betrifft, und sehr konkurrenzstark gegenüber anderen Pflanzen. Desweiteren ist sie für Ihre gute und tiefe Durchwurzelung des Bodens bekannt. Ihre ökologische Bedeutung wird mit gut eingestuft

Anfang 1996 wurde die Versuchsfläche auf dem Ackerschlag Gretz bei Kreinitz (Sachsen) angelegt. Es wurden insgesamt 14 Versuchspartellen mit den Abmaßen 140 m x 12 m eingerichtet. Diese wurden von Südwesten nach Nordosten durchgehend nummeriert. Am Rand der Längsachse der Versuchspartellen wurden jeweils 20 m als Randzonen ausgeschieden. Die verbleibenden 100 m wurden in 25-m-Teilpartellen geviertelt, mit den Großbuchstaben A, B, C und D gekennzeichnet und der Nummerierung hinzugefügt. Damit ergab sich eine eindeutige Kennzeichnung der einzelnen Teilpartellen (Abb. 9). Nach jeder zweiten Partelle wurde ein Weg von 6 m Breite zum Befahren während der Probenahme angelegt. Im Frühjahr 1996 wurde der gesamte Ackerschlag, mit Ausnahme der Roggen/Herbstbrache-Partellen (Ro/HB), gepflügt. Auf den Ro/HB-Partellen stand im Jahr 1996 noch eine Roggenkultur. Nach der Ernte und dem vollständigen Entfernen des Erntegutes von diesen Flächen wurden auch die Ro/HB-Partellen im Herbst 1996 gepflügt und bis zum Frühjahr 1998 der Sukzession überlassen. Auf den als Frühjahrsbrache (FB) gekennzeichneten Partellen erfolgten in den 3 Untersuchungsjahren (1996 bis 1998) keine ackerbaulichen und phytomedizinischen Maßnahmen. Auf den mit Phacelia (Ph) gekennzeichneten Partellen wurde jeweils im Frühjahr nach erfolgter schonender Bodenbearbeitung *Phacelia tanacetifolium* gedrillt. Diese Pflanzenart ist in der botanischen Klassifikation nach Abb. A1 in die Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllaceae*) einzuordnen. Die Übersicht verdeutlicht, daß *Phacelia tanacetifolium* einen sehr hohen Wasserbedarf hat. *Phacelia tanacetifolium* ist anspruchslos, was den Standort betrifft, und sehr konkurrenzstark gegenüber anderen Pflanzen. Desweiteren ist sie für Ihre gute und tiefe Durchwurzelung des Bodens bekannt. Ihre ökologische Bedeutung wird mit gut eingestuft

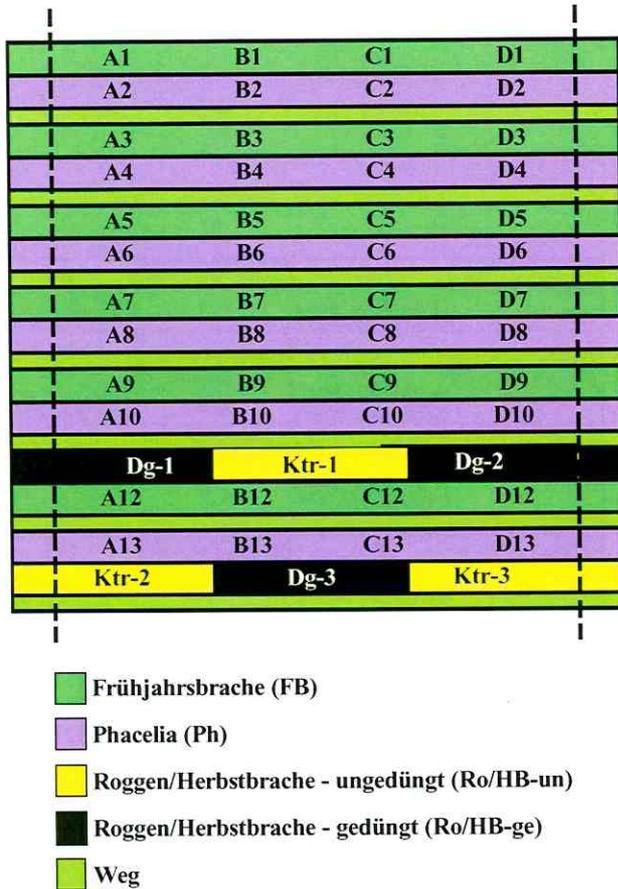


Abb. 10: Versuchsflächendesign mit Düngungsvariante

Sneyd (1995). Diese Eigenschaften prädestiniert die Phacelia für einen Versuch zur Abschöpfung des mineralischen Stickstoffes aus dem Boden und dessen Überführung in organische Pflanzensubstanz. Dieser, in der Phytomasse gebundene, N sollte durch langsame Mineralisierung den folgenden Pflanzen zur Verfügung gestellt werden, ohne der Gefahr der Auswaschung zu unterliegen. Im Anschluß an die Aussaat wurden keine weiteren ackerbau-lichen Maßnahmen durchgeführt.

Zusätzlich zum oben beschriebenen Versuch mit verschiedenen Brachevarianten wurde im Frühjahr 1998 auf den Ro/HB-Parzellen ein N-Düngungsversuch angelegt. Dazu wurden diese Parzellen gedrit-telt und mit jeweils einer (bzw. zwei) Düngungsvarianten und zwei (bzw. einer) Kontrollvarianten versehen (Abb. 10). Auf den Düngungsvarianten wurden am 23. April 1998 100 kg N/ha in Form von NH₄NO₃ appliziert.

2.3 Probenahme und -aufbereitung

2.3.1 Probenahme

2.3.1.1 Entnahme von Bodenproben

Die Probenahme erfolgte in den drei Untersuchungsjahren 1996 bis 1998 im sechswöchigen Abstand während der Vegetationsperiode. Daraus ergaben sich die folgenden Termine: 1996: Juni, Juli, August, Oktober und November; 1997: April, Juni, Juli, August, Oktober und November; 1998: März, April, Juni, Juli August und Oktober. Die Probenahme erfolgte in den vier Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm Tiefe. Ihre Kennzeichnung erfolgte mit den Kleinbuchstaben a, b, c und d. Aufgrund des hohen Probenanfalls wurden an einem Termin jeweils nur zwei Teilplots einer Versuchsparzelle untersucht. Dabei wurde nach folgender Verfahrensweise vorgegangen: 1. Probenahmetermin: Beprobung der Testflächen FB A1 und C1, Ph B2 und D2, FB A3 und C3 etc. (Abb. 11). Nach sechs Wochen, zum 2. Probenahmetermin, wurden die Plots FB B1 und D1, Ph A2 und B2, FB B3 und D3 etc. beprobt (Abb. 11). Mit Hilfe dieses Beprobungssystems war eine höchstmögliche Flächenrepräsentanz bei vertretbarem Aufwand gewährleistet.

A1	B1	C1	D1
A2	B2	C2	D2
A3	B3	C3	D3
A4	B4	C4	D4
A5	B5	C5	D5
A6	B6	C6	D6
A7	B7	C7	D7
A8	B8	C8	D8
A9	B9	C9	D9
A10	B10	C10	D10
A11	B11	C11	D11
A12	B12	C12	D12
A13	B13	C13	D13
A14	B14	C14	D14

Abb. 11: Darstellung des Probenahmedesignmusters



Abb. 12: Teleskopmäkler auf der Testfläche

Die Bodenprobenahme wurde mit Hilfe eines Teleskopmäklers der Firma Geotool durchgeführt. Dieser Mäkler wurde an der Norm-Dreipunktaufhängung eines Ackerschleppers befestigt und über dessen Hydraulikanlage betrieben (Abb. 12). Der Durchmesser des verwendeten Rammkernrohres betrug 5 cm.

Pro Teilparzelle wurden drei Bohrungen an zufällig ausgewählten Punkten bis in eine Tiefe von 1,20 m vorgenommen. Die untersten 20 cm jeder Bohrprobe wurde verworfen und die restliche Bodenmenge in die vier Tiefenstufen aufgeteilt. Die so hergestellten Mischproben wurden im Anschluß zur weiteren Aufbereitung in drei Teilproben geteilt und in PP-Beutel überführt. Die Teilproben Nr. 1 und 2 für die mikrobiologischen und naßchemischen Analysen wurden in Kühlbehältern und die 3. Teilprobe für die trockenchemischen Analysen ungekühlt zum Labor transportiert und der weiteren Aufbereitung unterworfen (Abb. 13 bis 15).

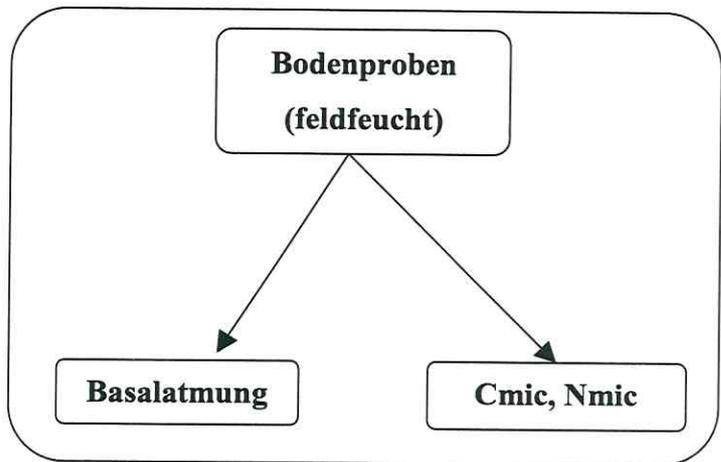


Abb. 13: Fließschema für die mikrobiologische Probenaufteilung

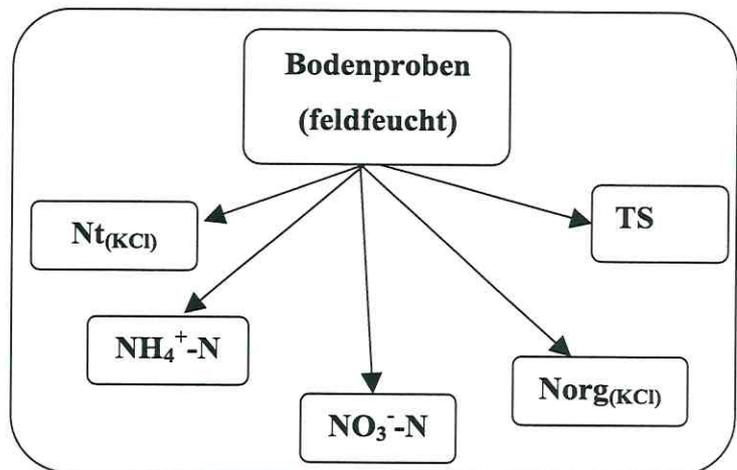


Abb. 14: Fließschema für die N-Fraktionierung aus feldfrischen Proben

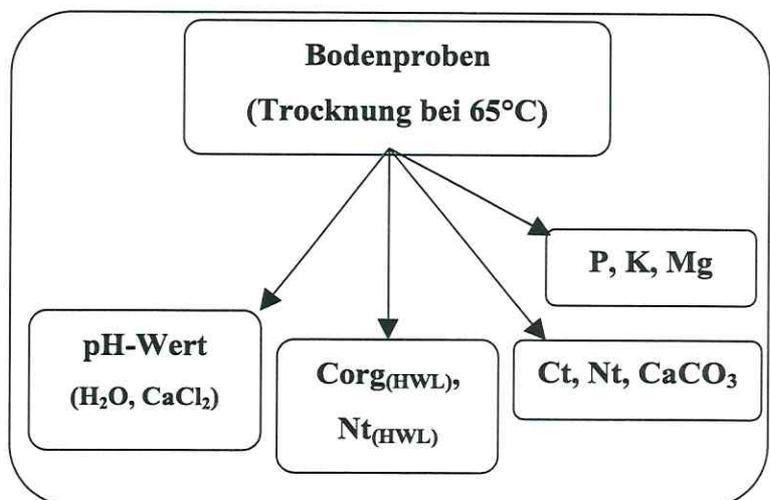


Abb. 15: Fließschema für die bodenchemische Probenaufteilung aus getrockneten Bodenproben

2.3.1.2 Entnahme von Pflanzenproben

2.3.1.2.1 Entnahme von oberirdischen Pflanzenteilen

Die Pflanzenproben wurden über die gesamte Vegetationsperiode im sechswöchigen Rhythmus korrespondierend zu den Bodenproben entnommen. Dabei wurde auf jeder Teilparzelle eine Fläche von 1,6 m² beprobt.

Nach der Auswahl einer repräsentativen Fläche jeder Teilparzelle wurden mit Hilfe eines Stechrahmens (40 x 40 cm) und einer Horizontalschere sämtliche oberirdischen Pflanzenteile direkt über dem Boden abgeschnitten und verlustfrei in eine Papiertüte überführt. Das flächenbezogen entnommene Pflanzenmaterial wurde unmittelbar auf dem Versuchsfeld zur Bestimmung des Frischgewichtes der Proben gewogen.

2.3.1.2.2 Entnahme von unterirdischen Pflanzenteilen (Wurzeln)

Die von der oberirdischen Phytomasse bereinigten Flächen wurden im Anschluß zur Entnahme von Wurzelproben genutzt. Diese wurden aus je drei Einstichen in einer Tiefe von 0 bis 60 cm mit Hilfe eines Wurzelbohrers der Firma Eijkelkamp (Abb. 16) entnommen, in PP-Beutel überführt und gekühlt zur weiteren Aufbereitung zum Labor transportiert.

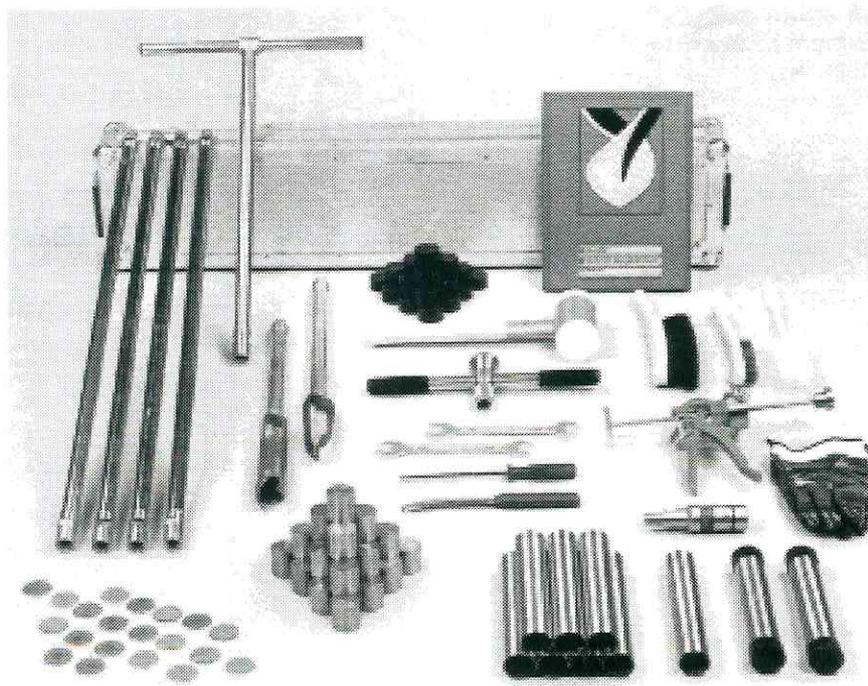


Abb. 16: Wurzelbohrer der Firma Eijkelkamp

2.3.2 Probenaufbereitung

2.3.2.1 Bodenaufbereitung für die mikrobiologischen Analysen

Die Bodenproben wurden nach dem Rücktransport in Tiefkühlschränken bis zur Analyse der mikrobiellen Parameter bei -17 °C gelagert. Die zur Analytik bestimmten Proben wurden für 24 h bei Kühlschranktemperatur ($+7\text{ °C}$) zum schonenden Auftauen gelagert. Anschließend wurden diese Proben für 24 h in einem Brutschrank (26 °C) zur Konditionierung überführt. Danach wurden die Proben auf 2 mm gesiebt und sofort analysiert.

2.3.2.2 Bodenaufbereitung für die N-Fraktionierung aus feldfeuchten Proben

Die Bodenproben für die naßchemischen Analysen wurden ebenfalls bei -17 °C gelagert. Am Tag vor der Bestimmung der chemischen Parameter wurden die Proben über Nacht bei Kühlschranktemperaturen gelagert, am darauffolgenden Morgen auf 2 mm gesiebt und anschließend analysiert.

2.3.2.3 Bodenaufbereitung für die bodenchemischen Analysen aus getrockneten Proben

Die Bodenproben für die chemischen Analysen wurden nach der Entnahme sofort auf 2 mm gesiebt. Ein Probenaliquot davon wurde zur Bestimmung der Trockensubstanz entnommen und entsprechend der Beschreibung unter Punkt 2.3.3.1.2.3 weiterbehandelt. Die verbleibende Probenmenge wurde in einem Umlufttrockenschrank bei 65 °C getrocknet und in dunklen Schraubgläser (250 ml) bis zur Analyse lichtgeschützt gelagert. Ein Teil des getrockneten Bodenmaterials wurde mit der Scheibenschwingmühle (Firma Retsch RS 1) feingemahlen ($60\text{ s}/1400\text{U}/\text{min}$) und in verschraubbare 15 ml PE-Röhrchen der Firma Sarstedt überführt.

2.3.2.4 Aufbereitung der Pflanzenproben

2.3.2.4.1 Aufbereitung der oberirdischen Pflanzenproben

Die Pflanzenproben wurden in einem Umlufttrockenschrank bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Danach wurde der gesamte Inhalt einer Probe gewogen. Ein Aliquot dieser Proben wurde mittels Pflanzenmühle der Firma Retsch auf eine Partikelgröße von 0,1 mm gemahlen. Dieses Pflanzenmaterial wurde anschließend in dunkle Schraubgläser (250 ml)

überführt. Vor der Analytik der pflanzenchemischen Kennwerte wurden diese Proben nochmals für 24 h in einem Trockenschrank bei 60 °C getrocknet.

2.3.2.4.2 Aufbereitung der Wurzelproben

Nach dem Rücktransport wurden die Proben in Tiefkühlschränken bei -17 °C gelagert. Nach einem 12 stündigen Auftauprozess wurden die Proben mit Aqua dest aufgeschlämmt und über ein Sieb (\varnothing 0,1 mm Maschenweite) gegeben. Durch vorsichtiges Aussieben wurden sämtliche Wurzeln vom Boden separiert und noch im Frischzustand gewogen. Anschließend wurden die Wurzeln im Trockenschrank bei 60 °C getrocknet und erneut ausgewogen. Die Ermittlung des Wurzelgewichtes erfolgte entsprechend Punkt 2.3.2.4.1.

2.3.3.1 Methoden der Bodenanalytik

2.3.3.1.1 Bestimmung ausgewählter bodenchemischer Parameter

2.3.3.1.1.1 Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})

Die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität erfolgte in Anlehnung an das Verfahren nach Meiweis et al. (1984). Die Kationen wurden bei annähernd bodeneigenem pH-Wert mit Überschuß von NH_4^+ -Ionen im Extraktionsverfahren ausgetauscht. Das Perkolat wurde anschließend in 100 ml PE-Weithalsflaschen überführt und bei -17 °C bis zur Analyse eingefroren. Nach dem Auftauen wurde das Element K am AAS gemessen, da hierbei Matrixprobleme am ICP-OES auftreten können. Alle anderen Kationen wurden an der ICP-OES gemessen.

2.3.3.1.1.2 pH-Wert

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte nach Schlichting (1995) in einer 0,01 M CaCl_2 -Suspension und in dest. H_2O (Boden-Lösungs-Verhältnis = 1:2,5) nach 24 h elektrometrisch mittels Glaselektrode (pH-Meter 320, Firma Mettler Toledo).

2.3.3.1.1.3 Lactatlöslicher P, lactatlösliches K und pflanzenverfügbares Mg

Zur Bestimmung des lactatlöslichen Phosphors und Kaliums wurde nach dem Methodenbuch der VDLUFA (Hoffmann, 1991) vorgegangen. Dazu wurden beide Nährstoffe mit einer durch Salzsäure auf pH 3,6 eingestellten Lösung von Calciumlactat aus trockenen (65 °C) Böden extrahiert und anschließend photometrisch bestimmt.

Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Magnesiums erfolgte nach der von Schachtschabel (1954) entwickelten Methode. Dazu wurde ein Teil des austauschbaren Magnesiums aus dem lufttrockenen Boden mit 0,0125 mol Calciumchloridlösung extrahiert und anschließend mittels AAS bei $\lambda = 285,2\text{ nm}$ bestimmt (Hoffmann, 1991).

2.3.3.1.1.4 Methoden zur Bestimmung C-haltiger Bodenfraktionen

2.3.3.1.1.4.1 Gesamtkohlenstoff (Ct)

Zur Bestimmung des Gesamtgehaltes an Kohlenstoff im Boden wurde gemahlener Feinboden (180 μm) im Sauerstoffstrom eines CNS-Analysators der Firma Heraeus vollständig verbrannt. Das nach der Reduktion der Verbrennungsgase entstandene CO_2 wurde anschließend gemessen. Durch Bezugnahme auf die Bodeneinwaage wurde der Ct-Gehalt berechnet und in % angegeben.

2.3.3.1.1.4.2 Anorganischer Kohlenstoff (Carbonat)

Der Carbonatgehalt der Proben wurde einmal jährlich tiefenstufenbezogen an ausgewählten Proben mit hohem pH-Wert nach Scheibler (Schlichting, 1995) mittels Calcimeter der Firma Eijkelkamp ermittelt.

2.3.3.1.1.4.3 Organischer Kohlenstoff (Corg)

Der Corg-Gehalt wurde aus der Differenz von Ct und Carbonat-C nach Gleichung 1 berechnet.

$$\text{Corg} = \text{Ct} - \text{Carbonat-C} \quad (1)$$

Der nach 2.3.3.1.1.4.2 ermittelte anorganische Kohlenstoff war sehr gering. Daher wurde der in 2.3.3.1.1.4.1 ermittelte Ct-Gehalt dem Corg-Gehalt gleichgesetzt.

2.3.3.1.1.4.4 Organischer Kohlenstoff aus KCl-Extrakten ($\text{Corg}_{(\text{KCl})}$)

Zur Bestimmung des Gehaltes an KCl-extrahierbaren Kohlenstoff wurden 10 g trockener, auf 2 mm gesiebter Boden mit 100 ml 0,05 M KCl-Lösung versetzt, 30 min horizontal geschüttelt und anschließend durch einen Faltenfilter (595 $\frac{1}{2}$) der Firma Schleicher & Schuell filtriert. Die $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte dieser Suspension wurden mit dem CN-Analysator der Firma Jena Analytik nach dem folgenden Prinzip gemessen: Ein Probenaliquot (max. 1 ml) wird hochpräzise dosiert und vollständig in die heiße Zone eines katalytischen Hochtemperaturofens überführt. Dort erfolgt die Pyrolyse und die Oxidation der Probe unter Ceroxid-Einwirkung bei 850 °C im Sauerstoffstrom. Der Sauerstoff dient gleichzeitig als Oxidationsmittel und als Trägergas für die Reaktionsprodukte NO/NO_2 und CO_2 . Das entstandene Pyrolysegas wird in

einer Kondensationsschlange vorentwässert, von korrodierend wirkenden Anionen befreit und feingetrocknet. Das CO_2 als Reaktionsprodukt der Kohlenstoffverbindungen wurde mit einem IR-Detektor spektrometrisch bestimmt.

2.3.3.1.1.4.5 Heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff ($\text{C}_{\text{org(HWL)}}$)

Zur Heißwasserextraktion wurden 20 g trockener ($65\text{ }^\circ\text{C}$) feingemahlener (2 mm) Boden in einen 250 ml Rundglaskolben eingewogen. Dazu wurden 100 ml entionisiertes H_2O gegeben. Die Bodensuspension wurde zum Sieden gebracht und 60 min unter Rückflußkühlung gekocht. Zur Vermeidung von Verdunstungsverlusten wurden die Kolben nach dem Siedeprozess sofort verschlossen und im Wasserbad abgekühlt. Danach wurde der Überstand der Suspensionslösung in Zentrifugengläser überführt, mit 2 Tropfen Mg_2SO_4 versetzt und 10 min bei $24\text{ }^\circ\text{C}$ und 4.000 U/min zentrifugiert. Der klare Überstand der Lösung wurde anschließend in 100 ml PE-Weithalsflaschen abdekantiert, bei $-17\text{ }^\circ\text{C}$ eingefroren und bis zur Analyse gelagert. Der $\text{C}_{\text{org(HWL)}}$ -Gehalt wurde nach dem Auftauen der Lösung am CN-Analysator der Firma Jena Analytik gemessen.

2.3.3.1.1.5 Methoden zur Bestimmung ausgewählter N-haltiger Bodenfraktionen

2.3.3.1.1.5.1 Gesamtstickstoff (N_t)

Zur Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes im Boden wurde gemahlener Feinboden ($180\text{ }\mu\text{m}$) im Sauerstoffstrom eines CNS-Analysators der Firma Heraeus vollständig verbrannt. Anschließend wurde das nach der Reduktion der Verbrennungsgase entstandene N_2 gemessen. Durch Bezugnahme auf die Bodeneinwaage wurde der N_t -Gehalt berechnet und in % angegeben.

2.3.3.1.1.5.2 Gesamtstickstoff aus dem KCl-Extrakten ($\text{N}_{t(\text{KCl})}$)

Zur Bestimmung des Gehaltes an KCl-extrahierbaren Stickstoff wurden 10 g trockener, auf 2 mm gesiebter Boden mit 100 ml 0,05 M KCl-Lösung versetzt, 30 min horizontal geschüttelt und anschließend durch einen Faltenfilter ($595\text{ }\frac{1}{2}$) der Firma Schleicher & Schuell filtriert. Anschließend wurde in dieser Suspension der $\text{N}_{t(\text{KCl})}$ -Gehalt mit dem CN-Analysator gemessen. Entsprechend des unter Punkt 2.3.3.1.3 beschriebenen Meßprinzips dieser Apparatur wurde das aus den Stickstoffverbindungen hervorgegangene NO/NO_2 -Gasgemisch in einem

NO/NO_x-Gaskonverter in reines NO umgewandelt. Dieses Stickstoffmonoxid reagiert entsprechend Gleichung 2 mit Ozon zu Stickstoffdioxid im angeregten Zustand.



Das angeregte Stickstoffdioxid bildet nach Gleichung 3 unter Abgabe von Strahlungsenergie (Licht) spontan Stickstoffdioxid im energiearmen Zustand.



Die dabei abgegebene Strahlungsenergie ist der ursprünglichen NO-Konzentration proportional und gestattet dessen quantitative Bestimmung mit Hilfe eines Chemoluminiszenzdetektors.

2.3.3.1.1.5.3 Organischer Stickstoff aus KCl-Extrakten ($N_{\text{org(KCl)}}$)

Der Gehalt an KCl-extrahierbaren organischen Stickstoff wird durch Subtraktion der mineralischen Stickstoffkomponenten (N_3O^- -N und NH_4^+ -N) vom KCl-extrahierbaren Gesamtstickstoff entsprechend Gleichung 4 berechnet.

$$N_{\text{org(KCl)}} = N_{\text{t(KCl)}} - N_{\text{min}} \quad (4)$$

2.3.3.1.1.5.4 Mineralischer Stickstoff (N_{min})

Der mineralische Stickstoff ergibt sich aus der Summe von Nitrat-N und Ammonium-N (Gleichung 5).

$$N_{\text{min}} = \text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N} \quad (5)$$

2.3.3.1.1.5.4.1 Ammonium-N (NH_4^+ -N)

Zur Bestimmung des NH_4^+ -Stickstoffes wurden 10 g lufttrockener, auf 2 mm gesiebter Boden mit 100 ml 0,05 M KCl-Lösung versetzt, 30 min geschüttelt und anschließend durch einen Faltenfilter (595 ½) der Firma Schleicher & Schuell filtriert. Der NH_4^+ -N wurde danach photometrisch (540 nm) am Continuous-Flow Autoanalysator der Firma Skalar gemessen.

2.3.3.1.1.5.4.2 Nitrat-N (NO_3^- -N)

Die Aufbereitung der Bodenproben zur NO_3^- -N Bestimmung erfolgte analog zu Punkt 2.3.3.1.1.6.5. Der NO_3^- -N wurde an derselben Apparatur jedoch bei einer Wellenlänge von λ 660 nm photometrisch bestimmt.

2.3.3.1.1.5.5 Heißwasserlöslicher Stickstoff ($\text{N}_{t(\text{HWL})}$)

Die Bestimmung des Gehaltes an heißwasserlöslichen Stickstoff erfolgte entsprechend der unter Punkt 2.3.3.1.4 beschriebenen Methode.

2.3.3.1.1.6 Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen

2.3.3.1.1.6.1 Mikrobielle Biomasse mittels Chloroform-Fumigation-Extraktion (Vance et al., 1987)

Zwei Sets von parallelen feldfrischen Proben von je 25 g wurden eingewogen. Ein Set wurde sofort mit je 100 ml 0,5M K_2SO_4 -Lösung (Merck) versetzt, 30 min bei 180 U/min horizontal geschüttelt und über Faltenfilter (Schleicher & Schuell 589/3 ½) in 100 ml PE-Weithalsflaschen filtriert. Die Blindwerte wurden mit reiner K_2SO_4 -Lösung, welche derselben Aufbereitung unterworfen wurden, ermittelt. Die C- und N-Konzentrationen in den filtrierten Extrakten wurden am selben Tag am CN-Analysator gemessen. Das zweite Set wurde in einem Exsikkator (ausgelegt mit einem feuchten Filterpapier, ausgestattet mit einem Becherglas mit Natronkalk und einem Becherglas mit 30 bis 40ml ethanolfreiem Chloroform und Siedesteinchen) gestellt. Der Exsikkator wurde für 2 min nach beginnendem Kochen des Chloroforms evakuiert und bei 25 °C für 24h in der Dunkelheit (Verhinderung von Phosgen-Bildung) fumigiert. Nach 24 h wurde der Exsikkator evakuiert, das Chloroform entfernt, der Exsikkator gereinigt und zur vollständigen Entfernung des Chloroforms 6 Mal für mindestens 2 min im Wechsel evakuiert und mit Luft befüllt. Die fumigierten Proben wurden anschließend extrahiert und behandelt wie die nicht-fumigierten Proben. Der extrahierte Kohlenstoff wurde anschließend nach Gleichung 6 berechnet.

$$C_{\text{ext}} (\mu\text{gC} / \text{gTS}) = \frac{(E_F - E_{NF}) \times VF \times \text{mlK}_2\text{SO}_4 \times 100}{\text{TS}\% \times m} \quad (6)$$

Zur Berechnung des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffes kam der k_{EC} -Faktor von 0,35 nach Sparling und West (1988), Sparling (1990), Ross und Tate (1993), Martens (1995), Beck et al. (1997) zur Anwendung (Gleichung 7).

$$C_{mic} (\mu\text{g} / \text{gTS}) = \frac{C_{ext}}{k_{EC}} \quad (7)$$

- E_F = C_{org} der fumigierten Probe (ppm)
 E_{NF} = C_{org} der nicht-fumigierten Probe (ppm)
 VF = Verdünnungsfaktor
 m = Feuchtgewicht der Bodeneinwaage (g)
 100/TS% = Trockensubstanzfaktor

Zur Berechnung des mikrobiell gebundenen Stickstoffs wurde dieselbe Formel wie beim mikrobiell gebundenen Kohlenstoff angewendet, jedoch wurden hier entsprechend Gleichung 8 ein k_{EN} Faktor von 0,45 gewählt (Jenkinson, 1988).

$$N_{mic} (\mu\text{g} / \text{gTS}) = \frac{N_{ext}}{k_{EN}} \quad (8)$$

2.3.3.1.1.6.2 Basalatmung nach Isermeyer (1952, mod. nach Jäggi 1976)

Zwei Parallelen mit je 20 g feldfeuchtem Boden wurden in Spezialreagenzröhrchen mit Lochung am oberen Rand eingewogen. Diese Röhrchen wurden in Schott-Flaschen (250 ml) eingehängt, in welche vorher 20 ml 0,05 M NaOH pipettiert worden sind. Die Flaschen wurden sofort luftdicht verschlossen und 24 h bei 26 °C inkubiert. Zusätzlich wurden die Blindwerte ermittelt, indem drei mit 20 ml 0,05 M NaOH befüllte Schott-Flaschen inkubiert wurden. Nach 24 h Inkubation wurden die Röhrchen entfernt und das adsorbierte CO_2 durch Zusatz von 2 ml 0,5 M BaCl_2 -Lösung als BaCO_3 ausgefällt. Die unverbrauchte NaOH wurde nach Zugabe von 3 bis 4 Tropfen Indikatorlösung (Phenolphthalein) mit einer 0,05 M HCl titriert. Unter ständigem Rühren (Magnetrührer) wurde die Lösung bis zum Farbumschlag von rosa auf farblos titriert (Titrierapparatur: Titronic 96, Schott). Zur Bestimmung des Tritrierfaktors wurde der mittlere HCl-Verbrauch (ml) aus zwei Titrationen von 20 ml 0,05 M NaOH mit 0,05 M HCl berechnet.

Zur Berechnung des entstandenen CO_2 wurde die Gleichung 9 verwendet.

$$mg\text{CO}_2 / \text{gTS} = \frac{(BW - VP) \times 1,1 \times TF \times 100}{m \times \text{TS}\%} \quad (9)$$

BW	= HCl-Verbrauch der Blindwerte (ml)
VP	= HCl-Verbrauch der Vollproben (ml)
1,1	= Umrechnungsfaktor (1ml 0,05 M NaOH entspricht 1,1 mg CO ₂)
TF	= Titrierfaktor: Mittlerer HCl-Verbrauch (ml) pro 20 ml NaOH
m	= Bodeneinwaage (g)
100/TS%	= Trockensubstanzfaktor

2.3.3.1.1.6.3 Metabolischer Quotient (qCO₂)

Der metabolische Quotient (qCO₂) ist ein physiologischer Parameter, welcher Einflüsse auf die mikrobielle Biomasse des Bodens qualitativ und quantitativ beschreibt. Er stellt den Quotienten aus Basalatmung und mikrobieller Biomasse dar (Gleichung 10; Anderson und Domsch, 1986; 1993).

$$qCO_2 = \frac{\text{Basalatmung } (CO_2 - C \times g^{-1} \times h^{-1})}{\text{Biomasse } (\mu g C_{mic} \times g^{-1})} \quad (10)$$

Der metabolische Quotient gilt nach Insam und Domsch (1988) als sensitiver Parameter zur Feststellung von Veränderungen in einem Ökosystem. So können nach Odum (1983) charakteristische Quotienten zwischen Basalatmung und Biomasse erkannt werden. Insam und Haselwandter (1989) beschreiben einen hohen Quotienten bei Klimaxstadien, wohingegen Martens (1991) einen hohen metabolischen Quotienten auf eine ungewöhnlich hohe exogene Belastung zurückführt. Der qCO₂ kann somit als Kenngröße für den physiologischen Zustand der Mikroorganismengemeinschaft angesehen werden, welcher einen Näherungswert für den Erhaltungsbedarf der Mikrobenzönose angibt. Dilly und Munch (1998) untersuchten die Auswirkungen verschiedener Landmanagementsysteme auf diesen Quotienten und gelangten zu dem Schluß, daß hoch belastete Böden diese Streßsituation sehr deutlich im qCO₂ widerspiegeln. Blagodatskaya u. Anderson (1998) beschreiben außerdem eine Abhängigkeit von der prozentualen Pilzatemungsaktivität und widersprechen somit dem zellphysiologischen Fakt, daß Pilze einen geringeren CO₂-Ausstoß als Bakterien produzieren. Einer kritischen Betrachtung wurde der metabolische Quotient durch Wardle und Ghani (1995) unterworfen. Diese Autoren beobachteten nicht nur eine Veränderung des qCO₂ infolge von Veränderung in der mikrobiellen Biomasse sondern auch in Abhängigkeit vom pH-Wert und dem Tongehalt des Bodens. Da solche Veränderungen in der dreijährigen Untersuchungsphase jedoch als

unwahrscheinlich gelten, wurde in dieser Arbeit der $q\text{CO}_2$ als ökophysiologischer Parameter zur Interpretation der Daten herangezogen.

2.3.3.1.2 Bestimmung ausgewählter bodenphysikalischer Parameter

2.3.3.1.2.1 Lagerungsdichte

Zur Bestimmung der Trockenrohddichte wurden in 4 Profilgruben je Tiefenstufe 5 Stechzylinder a 100 cm^3 und 5 Stechzylinder a 250 cm^3 , welche seitlich eingeschlagen wurden, entnommen. Die Berechnung der Trockenrohddichte ρ_b erfolgte anschließend quantitativ aus den ungestörten Bodenproben nach den Gleichungen 11 und 12.

$$\rho_b(\text{g/cm}^3) = \frac{\text{Trockengewicht (g)}}{100 (\text{cm}^3)} \quad (11)$$

$$\rho_b(\text{g/cm}^3) = \frac{\text{Trockengewicht (g)}}{250 (\text{cm}^3)} \quad (12)$$

Die zur Berechnung der Vorräte verwendeten Trockenrohddichten stellen Mittelwerte aus 40 Parallelen pro Tiefenstufe dar.

2.3.3.1.2.2 Körnungsanalyse

Die Körnungsanalyse wurde horizontbezogen an Bodenproben aus 4 Profilen durchgeführt und erfolgte durch Naßsiegung und Pipettanalyse nach Andreasen modifiziert nach Köhn (1928) bzw. ISO/CD 11277.

2.3.3.1.2.3 Wassergehalt und Trockensubstanz

Der Wassergehalt wurde gravimetrisch entsprechend Gleichung 13 nach Trocknung bis zur Einstellung der Gewichtskonstanz bei 105°C bestimmt.

$$\text{WG}(\%) = \frac{g \text{ Feuchtboden} - g \text{ Trockenboden}}{g \text{ Feuchtboden}} \times 100 \quad (13)$$

Die Trockensubstanz (TS) wurde nach Gleichung 14 berechnet.

$$\text{TS}(\%) = 100 - \text{WG} \quad (14)$$

2.3.3.2 Methoden der Pflanzenanalytik

2.3.3.2.1 Bestimmung des C und N Gehaltes der Pflanzenteile

Zur Bestimmung des Gesamtgehaltes von Kohlenstoff und Stickstoff in den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen wurden gemahlene Pflanzen (< 0,1 mm) im Heißluftstrom eines CNS-Analysators der Firma Heraeus vollständig verbrannt. Das nach der Reduktion der Verbrennungsgase entstandene CO₂ und N₂ wurde anschließend gemessen. Durch Bezugnahme auf die Pflanzeneinwaage wurde der Ct- und Nt-Gehalt berechnet und in % angegeben.

2.3.3.2.2 Wassergehalt und Trockensubstanz der Pflanzen

Der Wassergehalt der Pflanzenmasse wurde nach der Gleichung 15 berechnet.

$$WG(\%) = \frac{g \text{ Pflanzenfeuchtsubstanz} - g \text{ Pflanzentrockensubstanz}}{g \text{ Pflanzenfeuchtsubstanz}} \times 100 \quad (15)$$

Die Trockensubstanz (TS) der Pflanzenmasse wurde nach Gleichung 16 berechnet.

$$TS (\%) = 100 - WG \quad (16)$$

2.3.4 Statistische Auswertung der Meßergebnisse

Bei der Auswertung von erhobenen Daten nehmen statistische Verfahren einen hohen Stellenwert ein. Allerdings werden die mathematischen Voraussetzungen der entsprechenden statistischen Tests und Verfahren nicht oder nur in ungenügendem Umfang berücksichtigt (Sinnowski und Auerswald, 1993; Stein 1993). In der belebten Natur ist die Voraussetzung der Normalverteilung nie erfüllt (Hartung, 1995; Liebe et al., 1997, Welp et al., 1997), so daß nur parameterfreie Verfahren, welche nicht auf Normalverteilung der Daten basieren, die Voraussetzung zur korrekten Auswertung erfüllen (Sauerwein, 1993, Harres und Sauerwein, 1994). Bereits Lehmann (1975) wies darauf hin, daß die Güte der nichtparametrischen Verfahren mit jener der parametrischen Tests vergleichbar ist. Aus diesem Grunde wurden in der vorliegenden Arbeit die nichtparametrischen Tests der Korrelation nach Spearman und der Mann-Whitney-U-Test angewendet.

Korrelationen werden eingesetzt, um lineare Abhängigkeiten untersuchen zu können (Lehn und Wegman, 1992). Dabei werden die Ergebnisse durch die Korrelationskoeffizienten deutlich, welche Werte von +1 (großer linearer Zusammenhang) bis -1 (großer reziproker linearer Zusammenhang) einnehmen können. Bei einem Korrelationskoeffizienten nahe Null ist kein linearer Zusammenhang festzustellen. Der gewöhnliche Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) ist durch die Gleichung 17 definiert.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x * s_y} \quad (17)$$

x_i, y_i = gemessene Werte

\bar{x}, \bar{y} = jeweilige Mittelwerte

n = Anzahl der Fälle

s_x, s_y = Standardabweichungen der jeweiligen Variablen

Allerdings wird bei diesem Modell die Normalverteilung vorausgesetzt, welche von den dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten nicht erfüllt wird. Deshalb wurde auf den nichtparametrischen Korrelationskoeffizienten r_s zurückgegriffen (Siegel, 1985, Sauerwein, 1993).

Nach Spearman (1940) wird aus den Stichprobenwerten einer Meßreihe eine Rangwertreihe gebildet und den Meßwerten aufsteigend ihr jeweiliger Rang zugeordnet. Der Rangkorrelations-Koeffizient nach Spearman (r_s) berechnet sich nach Gleichung 18.

$$r_s = \frac{\sum (r_i - \bar{r})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum (r_i - \bar{r})^2} \sqrt{\sum (s_i - \bar{s})^2}} \quad (18)$$

- r_1, \dots, r_n = Rangwertreihe der Stichprobe x_1, \dots, x_n
 \bar{r}, \bar{s} = Mittelwert der jeweiligen Rangwertreihe
 s_1, \dots, s_m = Rangwertreihe der Stichprobe y_1, \dots, y_m

Die Werte von r_s liegen zwischen -1 und $+1$, womit die Interpretation jener des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten entspricht. Diese Prüfung ist auch bei kleinem Stichprobenumfang und nicht binominalverteilten Meßwerten exakt. Desweiteren wird die Wirkung von Ausreißern, welche die Größe von r_s stark beeinflussen können abgeschwächt (Sachs, 1997). Der Korrelationskoeffizient nach Spearman läßt sich entsprechend der Gleichung 19 umformen.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum (r_i - s_i)^2}{(n-1)n(n+1)} \quad (19)$$

Diese Gleichung ist von großer theoretischer Bedeutung, da daraus ersichtlich wird, daß dieses Verfahren das „Starke Gesetz der großen Zahlen“ (Zentraler Grenzwertsatz) von Cantelli und von Kolmogoroff (1941) erfüllt. Damit ist es als konvergentes Verfahren anzusehen.

Für den Fall, daß zwei Stichproben, welche im Hinblick auf die Mittelwerte einer bestimmten Variablen verglichen werden sollen, würde man gewöhnlich den t-Test für unabhängige Stichproben heranziehen. Nichtparametrische Alternativen für diesen Test sind der Wald-Wolfowitz-Test, der Mann-Whitney-U-Test und der Kolmogorov-Smirnov-Zweistichprobentest. Der auf dem sogenannten Wilcoxon-Test für unabhängige Stichproben basierende Rangtest von Mann und Whitney (1947) ist als verteilungsunabhängiges Gegenstück zum parametrischen t-Test zu sehen. Sachs (1997) rät zur Anwendung dieses Test gegenüber dem t-Test auch bei Nicht-Notwendigkeit.

Die Voraussetzung des U-Tests ist eine stetige Verteilungsfunktion der Daten, daher zwei unabhängige Zufallsstichproben von Meßwerten aus nicht normalverteilten Grundgesamtheiten mit ähnlicher bis gleicher Verteilungsform. Der U-Test wird nach der Gleichung 20 berechnet.

$$U_1 = mn + \frac{m(m+1)}{2} - R_1 \quad U_2 = mn + \frac{n(n+1)}{2} - R_2 \quad (20)$$

- U_1, U_2 = Prüfgrößen
 m, n = Stichprobenwerte des jeweiligen Stichprobenumfanges
 R_1, R_2 = Rangzahl des jeweiligen Stichprobenumfanges

Danach kontrolliert man die Rechnung nach Gleichung 21.

$$U_1 + U_2 = mn \quad (21)$$

Die gesuchte Prüfgröße ist die kleinere der beiden Größen U_1 und U_2 . Die Nullhypothese wird verworfen, wenn der berechnete U-Wert kleiner oder gleich dem kritischen Wert $U(m, n, \alpha)$ ist. Die Prüfung des kritischen U-Wertes erfolgt mit Hilfe der „Selected Tables“ von Harter und Owen (1970).

Die Interpretation des Tests ist im wesentlichen identisch mit dem t-Tests für unabhängige Stichproben, mit dem Unterschied, daß der U-Test auf der Basis der Rangsummen und nicht auf der Basis der Mittelwerte berechnet wird. Der U-Test ist die mächtigste (oder sensitivste) nichtparametrische Alternative zum t-Test für unabhängige Stichproben. In manchen Fällen kann ersterer sogar größere Macht besitzen, die Nullhypothese abzulehnen, als der t-Test. Er ist somit sehr gut geeignet, einen Vergleich, auch bei sehr kleinem Stichprobenumfang, durchzuführen.

Zur Berechnung sämtlicher statistischer Verfahren wurde das Softwareprogramm STATISTICA 5.5 Version `99 der Firma StatSoft® verwendet.

2.3.5 Fehlerdiskussion

2.3.5.1 Einfluß der Probenahme

Um den Fehlereinfluß während der Probenahme zu minimieren, wurden die Bodenprofile innerhalb eines Tages angelegt. Die bodenkundliche Ansprache und die horizontbezogene Probenahme erfolgte zwei Tage später innerhalb weniger Stunden bei trockenem Wetter an allen vier Profilen. Damit wurde die Vergleichbarkeit der Profildaten gewährleistet. Die tiefenstufenbezogene Bodenprobeentnahme und die flächenbezogene Pflanzenprobenahme erfolgte zum jeweiligen Termin innerhalb von 12 Stunden. Jede Bodenprobe stellt zudem eine Mischprobe aus drei Einstichen mit dem Schlagmäkler dar. Eine Flächenrepräsentanz der gewonnenen Mischproben dürfte somit gewährleistet sein. Die Felddaten sind durch dieses System der Probeentnahme absolut vergleichbar.

2.3.5.2 Analytische Fehler

Die im Labor ermittelten Daten sind ohne Einschränkungen vergleichbar. Generell wurde eine Doppel- bzw. Mehrfachbestimmung für jeden Meßparameter durchgeführt. Darüber hinaus

wurden durch das Messen von Referenzproben (AAS, CN-Analysator, CNS-Analysator) analytische Fehler von vornherein minimiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bodenchemische Untersuchungsgrößen

3.1.1 Bodenacidität (pH-Wert_(H₂O))

3.1.1.1 Bodenacidität (pH-Wert_(H₂O)) – Betrachtungen im Zusammenhang der verschiedenen Brachevarianten

Die Bodenacidität beeinflusst chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften und das Pflanzenwachstum in direkter oder indirekter Weise (Scheffer und Schachtschabel,

1998). Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit dem pH-Wert große Aufmerksamkeit gewidmet. Zu Beginn der Untersuchungen lag der pH_(H₂O)-Wert in der Tiefenstufe 0 bis 10 cm bei rund 6,1. Im ersten Untersuchungsjahr nahm der Boden-pH leicht zu und erreichte Werte von 7,0. In den beiden darauffolgenden Jahren bewegte sich dieser Parameter um einen Wert von etwa 6,5. Die aus der Literatur bekannte Absenkung der Bodenacidität unter Bracheflächen (Gisi, 1997) konnten durch die Ergebnisse dieses Standortes nicht bestätigt werden.

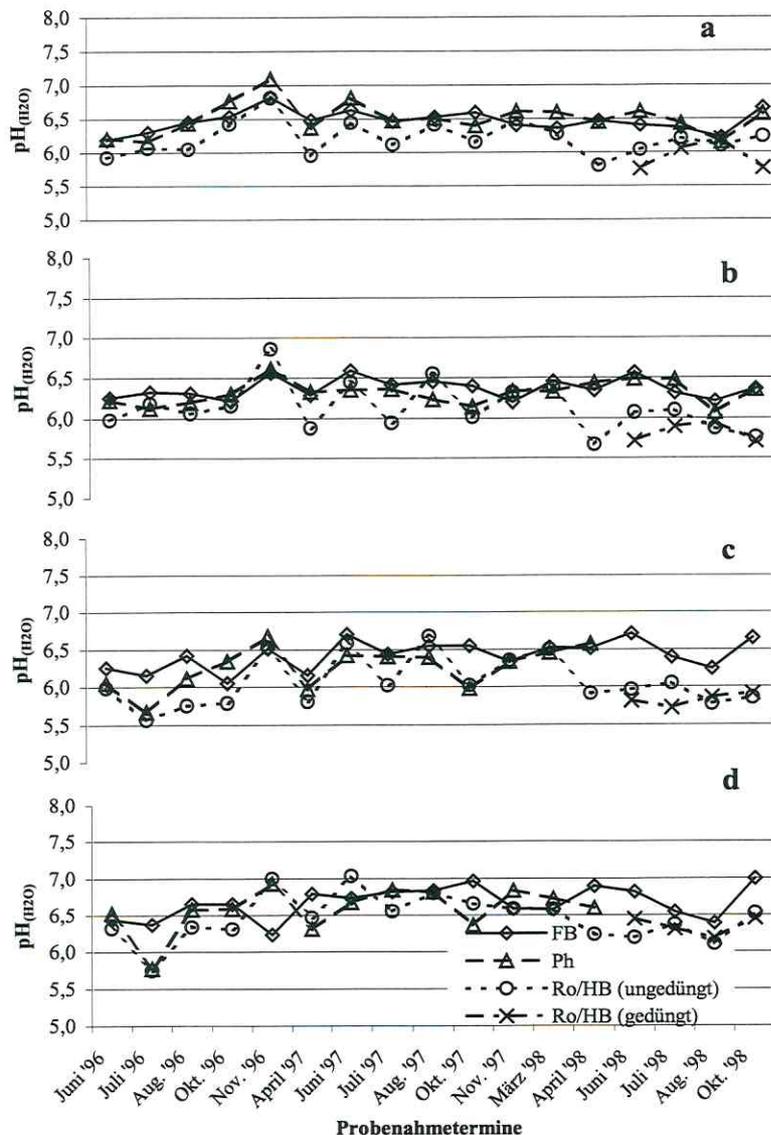


Abb. 17: pH-Werte_(H₂O) im Boden der verschiedenen Brachevarianten in 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Die verschiedenen Brachevarianten beeinflussten den pH-Wert des Bodens nicht. Aus diesem Grund wurde bei den folgenden Betrachtungen zur Bodenacidität nicht mehr zwischen den Brachevarianten differenziert.

Im Gegensatz dazu führte die mineralische N-Düngung im Frühjahr 1998 zu einer statistisch gesicherten, wenngleich auch nur kurzfristigen Absenkung dieses Parameters in allen vier Tiefenstufen (Tab. A17). Diese pH-Wertabnahme konnte in verschiedenen Bodentypen nach mineralischer N-Düngerapplikation beobachtet werden (McAndrew und Malhi, 1992). Die pH-Wert-Abnahme ist dabei vermutlich auf den hohen Anteil von NH_4^+ -N im Mineraldünger zurückzuführen (v. Lützw, 1993; Deubel, 1995; Scheffer und Schachtschabel, 1998), welches als Salz einer schwachen Base unter Bildung einer sauren Lösung hydrolysiert (Schinner und Sonnleitner, 1996). Eine folgende Nitrifikation kann eine weitere Ursache bilden.

Die Erhöhung des pH-Wertes im ersten Untersuchungsjahr hängt vermutlich mit der vergleichsweise hohen Konzentration an NO_3^- -N im Boden zusammen, welcher infolge der intensiven ackerbaulichen Vornutzung dieser Flächen aus der mineralischen N-Düngung stammt. Auf diesen Zusammenhang wurde schon durch Kirkby und Mengel (1967), Smiley (1974), Breteler und Smit (1974), Hauter und Mengel (1987) und Mengel (1991) hingewiesen, welche eine Nitraternährung der Pflanze als pH-erhöhend für den Boden beschrieben. Der NO_3^- -N im Boden erreichte zum ersten Termin im Juni 1996 einen Anteil von über 69 % am gesamten KCl-extrahierbaren N. Zum Juli 1996 betrug dieser Anteil nur noch 24 % und bewegte sich über den gesamten Untersuchungszeitraum auf diesem Niveau (Abb. A 2). Die in Tab. A75 bis A158 dargestellten engen Korrelationen ($r_s = 0,51^*$ bis $0,86^{***}$) zwischen der Bodenreaktion und dem NO_3^- -N im Boden bestätigen diese Zusammenhänge. Darüber hinaus konnte eine sehr starke Beziehung zwischen dem Boden-pH und verschiedenen extrahierbaren organischen Stickstoffverbindungen gefunden werden (Tab. A76). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß der pH-Wert die Umsetzungsprozesse im Stickstoffkreislauf der Böden in beträchtlichen Maße beeinflusst. Ein besonders enger Zusammenhang ($r_s = 0,45^*$ bis $0,74^{***}$) konnte dabei zwischen pH-Wert und der in der mikrobiellen Biomasse des Bodens gespeicherten N-Fraktion (N_{mic}) beobachtet werden. Vergleichbare Ergebnisse zeigte Beck (1990), welcher bei höheren pH-Werten auch höhere N_{mic} -Gehalte nachweisen konnte.

3.1.1.2 Bodenacidität (pH-Wert_(H₂O)) – Betrachtungen im Zusammenhang der zwei Bodensubtypen

Beim Vergleich der Bodenreaktion der zwei untersuchten Subtypen stellten sich über den gesamten Zeitraum signifikant höhere pH_(H₂O)-Werte im Boden der Humosen Braunerde heraus. Diese Feststellung kann für alle vier untersuchten Tiefenstufen getroffen werden (Abb. 18) (Tab. A18). In beiden Subtypen konnte innerhalb des Versuchszeitraumes keine abgesicherte Veränderung der Bodenreaktion festgestellt werden. Daraus kann die Aussage abgeleitet werden, daß die Brache im Boden beider Bodentypen nicht zu einer Absenkung des pH-Wertes führte. Dies läßt sich auf eine Kompensation der in 3.1.1.1 beschriebenen Möglichkeiten der pH-Erhöhung bei der subtypabhängigen Betrachtungsweise erklären.

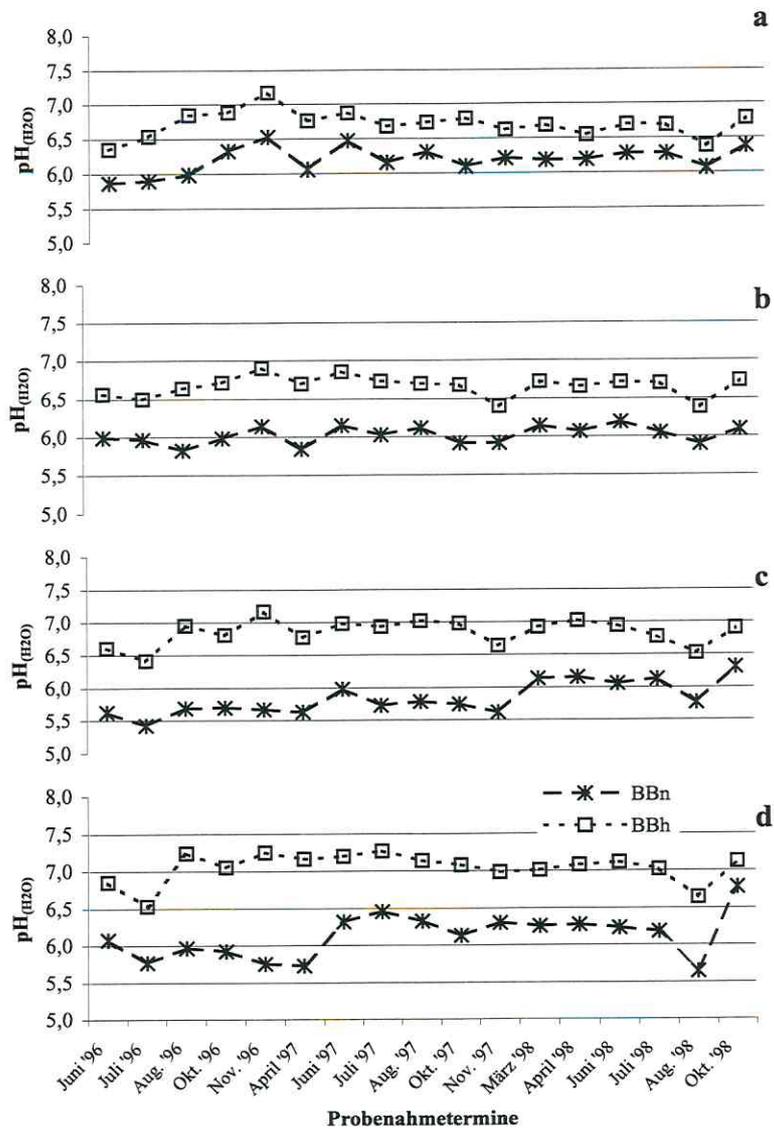


Abb. 18: pH-Werte_(H₂O) im Boden der zwei Subtypen in 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

BBn = Braunerde
 BBh = Humose Braunerde

3.1.2 Makronährstoffe

3.1.2.1 Pflanzenverfügbare Phosphor ($P_{(DL)}$) im Boden

Der $P_{(DL)}$ -Gehalt des Boden veränderte sich über den dreijährigen Untersuchungszeitraum (1996 bis 1998) nur unwesentlich. In den Böden der FB und Ph-Parzellen nahmen die $P_{(DL)}$ -Gehalte im Jahr 1997 im Vergleich zu 1996 leicht zu und erreichten Werte von 130 bzw. 148 $\mu\text{g } P_{(DL)}/\text{g TS}$ (0 bis 100 cm) (Abb. 19). Diese $P_{(DL)}$ -Gehalte entsprechen den für Sandstandorte zu erwartenden Gehalten (Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die leichte Erhöhung der pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte auf den FB und Ph-Parzellen im Jahr 1997 steht vermutlich im engen Zusammenhang mit der Abschöpfung der P-Vorräte dieses vor der Brachlegung intensiv landwirtschaftlich genutzten Standortes durch

die Vegetation. Die Mineralisation der auf der Fläche verbleibenden ober- und unterirdischen Phytomasse im Frühjahr 1997 könnte zu einem Anstieg der $P_{(DL)}$ -Gehalte geführt haben. Für diese Hypothese spricht die Tatsache, daß die höheren $P_{(DL)}$ -Gehalte vorrangig in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) gemessen wurden. Im Verlauf des Jahres

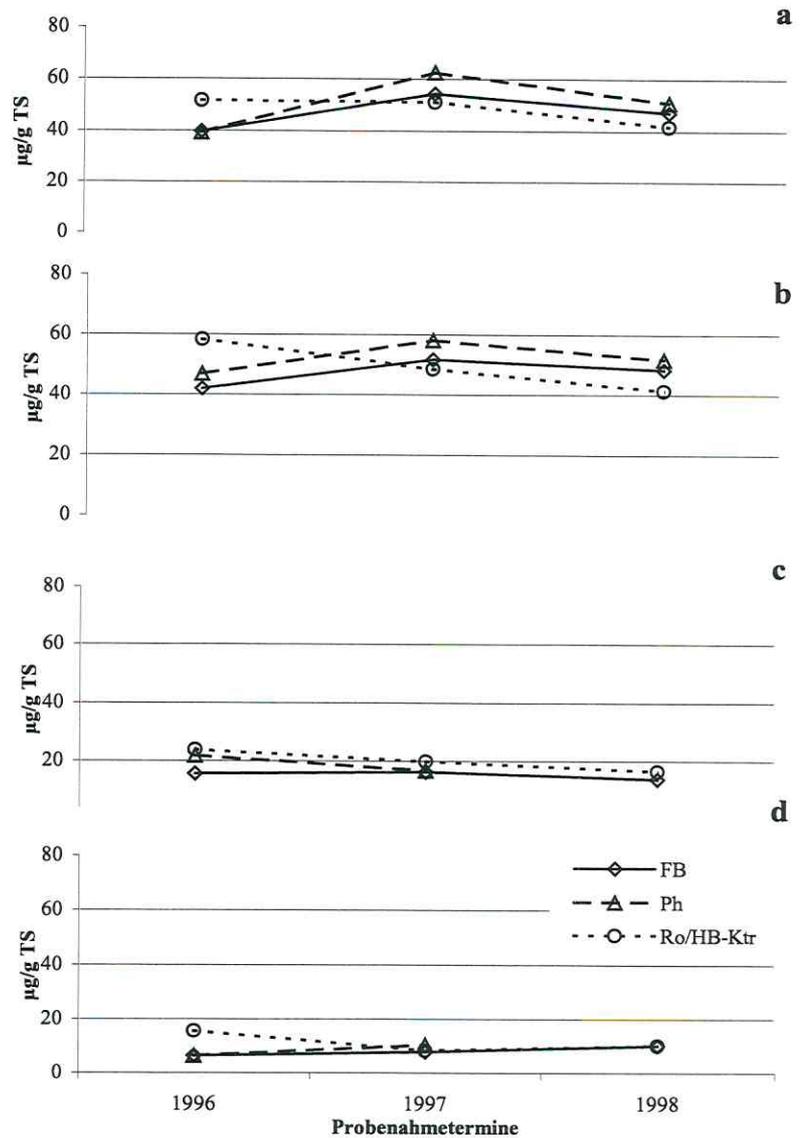


Abb. 19: $P_{(DL)}$ -Gehalte im Boden in den Jahren 1996 – 1998

1998 nahm die $P_{(DL)}$ -Konzentration erneut ab, was einen sukzessiven Verbrauch der P-Vorräte im Boden unter beiden Brachevarianten vermuten läßt.

Im Gegensatz dazu konnte auf den Versuchspartzen der Ro/HB nach anfänglich hohen Werten eine kontinuierliche Abnahme der $P_{(DL)}$ -Gehalte festgestellt werden. Dies läßt sich vermutlich mit der Entfernung des in der oberirdischen Phytomasse gespeicherte P im Zuge der Roggenernte im Spätsommer des Jahres 1997 erklären. Da es sich bei den Unterschieden im $P_{(DL)}$ -Gehalt zwischen den Brachevarianten nicht um signifikante Unterschiede handelt, wurden für die Berechnung der P-Vorräte die Mittelwerte aus den drei Brachevarianten gebildet. Im Jahr 1996 betrug der im Boden befindliche Phosphorvorrat in einer Solumtiefe von 0 bis 100 cm im Mittel der 3 Brachevarianten 351 kg/ha. In den darauffolgenden Versuchsjahren bewegte sich der P-Vorrat im Boden dieser Flächen im Bereich von 321 bis 364 kg/ha. Dabei stellen die letztgenannten Werte Mittelwerte aus den FB- und Ro/HB Parzellen dar, da 1998 auf den Ph-Parzellen die Tiefenstufen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm aufgrund der Geringfügigkeit der Unterschiede nicht weiter untersucht wurden.

3.1.2.2 Pflanzenverfügbares Kalium ($K_{(DL)}$) im Boden

Der $K_{(DL)}$ -Gehalt im Boden der Versuchflächen bewegte sich in allen 3 Brachevarianten im Bereich von 290 bis 430 $\mu\text{g/g}$ TS (0 bis 100 cm). Aus der Literatur sind $K_{(DL)}$ -Gehalte in Böden von 40 bis 400 $\mu\text{g/g}$ TS bekannt (Blume, 1990). Damit kann dieser leichte Sandstandort als ein mit Kalium sehr gut versorgter Boden eingeschätzt werden. Ähnlich wie beim $P_{(DL)}$ konnte auch beim $K_{(DL)}$ -Gehalt im Jahr 1997 eine leichte Zunahme im Vergleich zum Vorjahr registriert werden (Abb. 20). So stiegen die Gehalte dieses Elementes in den Böden unter FB von etwa 394 auf 453 $\mu\text{g/g}$ TS (0 bis 100 cm) an. Dieser Anstieg der $K_{(DL)}$ -Gehalte vor allem in den oberen Tiefenstufen hatte jedoch keinen entsprechenden Einfluß auf die $K_{(DL)}$ -Vorräte, welche insgesamt von 1.240 auf 1.191 kg/ha abnahmen. Auch unter den Ph- und Ro/HB-Varianten konnten bei insgesamt geringeren Gehalten als unter FB ein ähnlicher Trend beobachtet werden. Kalium ist in Böden stark an das Vorhandensein von Ton gebunden (Scheffer und Schachtschabel, 1998). Um so erstaunlicher ist deshalb der hohe Anteil von $K_{(DL)}$ im Oberboden (0 bis 30 cm) aller Brachevarianten am gemessenen $K_{(DL)}$ -Gehalt über die gesamte Solumtiefe von 0 bis 100 cm. Obwohl im rAp-Horizont der Profilproben nur ein Anteil von 4 bis 10 Gew. % Ton (Tab. A1 bis A4) festgestellt wurde, waren in dieser Bodentiefe doch mehr als 50 % des doppellactatlöslichen K gespeichert. Daher kann die leichte Zunahme der

$K_{(DL)}$ -Gehalte auf eine Akkumulation aus der abgestorbenen Phytomasse zurückgeführt werden. Im Gegensatz zum $P_{(DL)}$ konnte unter der Ro/HB-Variante beim $K_{(DL)}$ eine leichte Zunahme in den ersten 30 cm des Bodens beobachtet werden (Abb. 20). Im Jahr 1998 kam es unter allen Versuchsvarianten zu einer erneuten Abnahme der $K_{(DL)}$ -Gehalte. Dabei wurden die Werte des ersten Untersuchungsjahres jedoch nicht unterschritten.

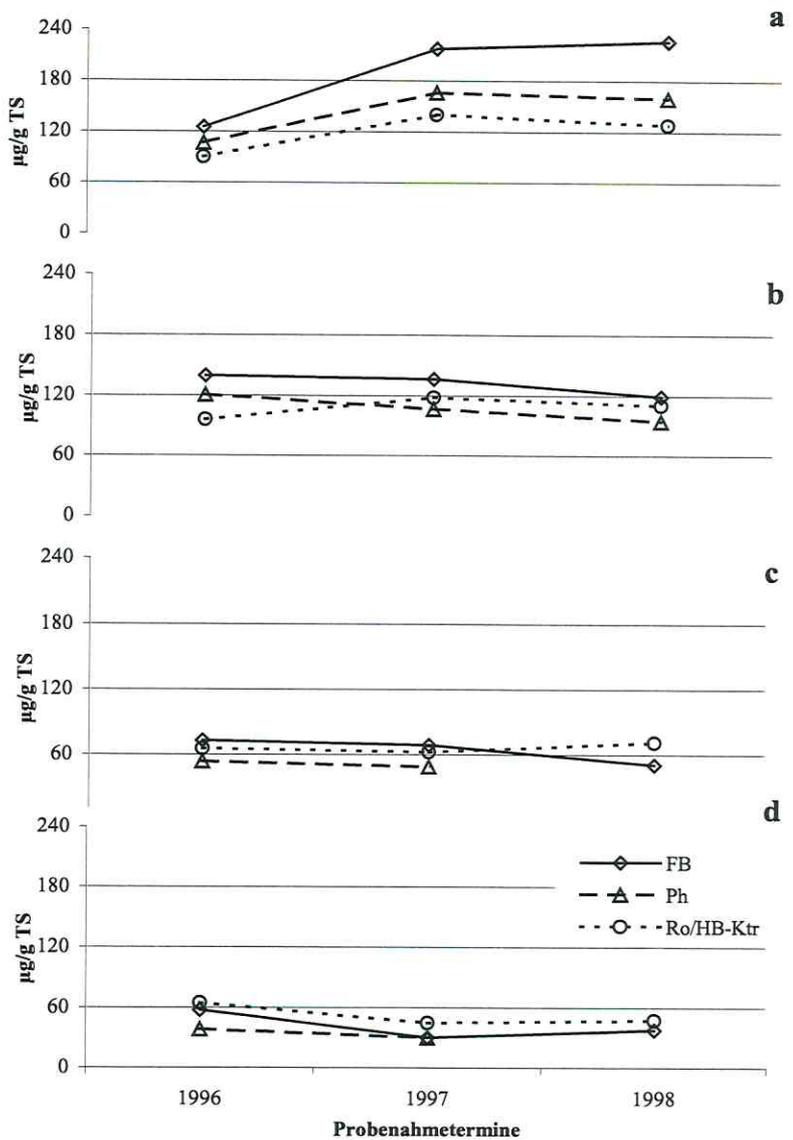


Abb. 20: $K_{(DL)}$ -Gehalte im Boden in den Jahren 1996 - 1998

3.1.2.3 Pflanzenverfügbares Magnesium im Boden

Die pflanzenverfügbaren Mg-Gehalte in den Böden der Untersuchungsfläche variierten im Bereich von 125 (Ph; 1996 in 0 bis 100 cm) und 220 $\mu\text{g/g}$ TS (Ro/HB; 1997 in 0 bis 100 cm) (Abb. 21). Pflanzenverfügbare Mg-Gehalte von 10 bis 500 $\mu\text{g/g}$ TS gelten in Böden unserer Breiten als durchschnittlich (Blume, 1990). Danach ist dieser leichte Sandstandort mit Mg ausreichend versorgt. Im Mittel der Versuchspartellen erreichte der pflanzenverfügbare Mg-Vorrat 582 kg/ha im Jahr 1997 (0 bis 100 cm Bodentiefe). Für die Jahre 1997 und 1998 konnten Vorräte von 752 bzw. 494 kg Mg/ha berechnet werden. Insgesamt verhielten sich die Mg-Gehalte über den Untersuchungszeitraum ähnlich wie die beschriebenen Makronährstoffe $P_{(DL)}$ und $K_{(DL)}$. Die

vergleichsweise hohen Mg-Vorräte spiegeln die relativ hohen Ton- und Schluffgehalte des Untergrundes der Versuchsfläche wider. Die Mg-Dynamik im Verlauf der Jahre 1996 bis 1998 könnte durch die Mineralisierung der 1996 angefallenen vergleichsweise hohen Phytomassen auf den FB- und Ro/HB-Parzellen und das Ausbleiben der Mineraldüngung auf diesen Flächen nach Stilllegung erklärt werden.

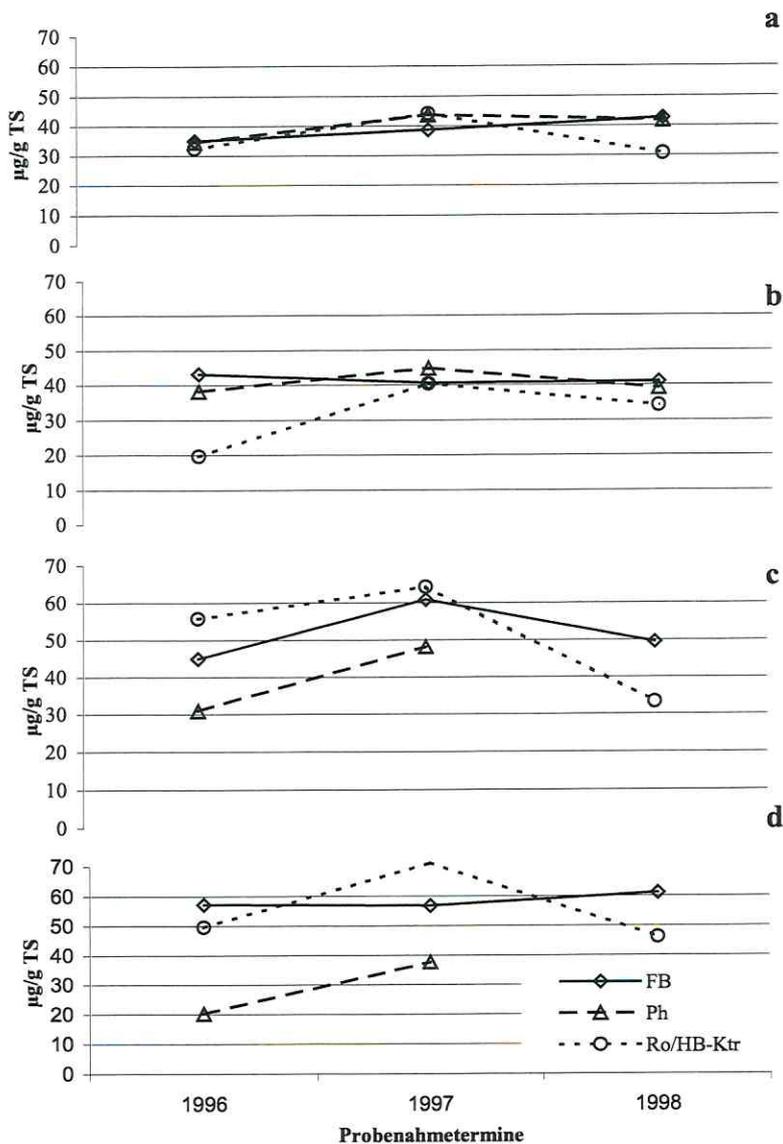


Abb. 21: Pflanzenverfügbare Mg-Gehalte im Boden in den Jahren 1996 – 1998

3.1.3 Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})

Die Kationenaustauschkapazität von Böden kann in einem sehr weiten Bereich variieren und wird im wesentlichen durch Art und Gehalte an Tonmineralen und Humus bestimmt. Bei der Sorptionsfähigkeit von Böden spielt die organische Substanz mit einer durchschnittlichen KAK_{eff} von 800 bis 1.500 $\mu\text{eq g}^{-1}$ eine vergleichsweise größere Rolle als die Tonfraktion ($KAK_{\text{eff}} = 400$ bis 800 $\mu\text{eq g}^{-1}$). Daneben bestimmt die KAK_{eff} den pH-Wert eines Bodens entscheidend, indem durch Abpufferung von sauer wirkenden Kationen (H^+ , Al_3^+ und Fe_3^+) die Bodenreaktion relativ konstant gehalten wird. Andererseits wird die KAK durch die Bodenreaktion beeinflusst, da mit steigendem pH der Anteil von variablen Ladungen an der organischen Substanz steigt (Abdissoziation von Protonen) (Schwertmann, 1998). Der Kationenaustausch spielt eine große Rolle bei der Nährstoffversorgung der Pflanzen, da durch die Bindung der Ionen an reaktive Oberflächen die Auswaschung pflanzenwichtiger Nährelemente aus dem Wurzelraum verhindert wird.

Die KAK_{eff} variierte auf der Versuchsfläche im ersten Untersuchungsjahr zwischen 30 und 48 $\mu\text{eq/g}$ TS (Tab. 1). Da zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine Unterschiede in der KAK_{eff} nachgewiesen werden konnten, wurden die Ergebnisse der drei Varianten zu einem Mittelwert pro Tiefenstufe zusammengefaßt. Im ersten Untersuchungsjahr konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Bodenart und dem Gehalt an Erdalkalien beobachtet werden. Dabei nahmen die Gehalte an Ca und Mg mit zunehmender Bodentiefe zu. Im Gegensatz dazu konnte für Kalium ein abnehmender Tiefengradient beobachtet werden.

Tab. 1: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus drei verschiedenen Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1996 (n = 20)

Tiefenstufe (cm)		H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	KAK_{eff}
		$\mu\text{eq/g}$								
0-10	\bar{x}	0,0	0,0	5,1	25,2	3,6	0,8	0,0	1,0	35,7
	s	0,1	0,3	2,3	9,8	1,6	1,0	0,1	0,8	16,0
10-30	\bar{x}	0,0	0,1	3,2	26,6	3,8	1,2	0,0	1,1	36,0
	s	0,1	0,3	0,9	11,7	1,9	1,6	0,1	0,7	17,3
30-60	\bar{x}	0,1	0,2	1,8	33,3	5,4	1,2	0,0	0,6	42,6
	s	0,1	0,3	0,8	32,6	5,2	1,3	0,1	0,3	40,7
60-100	\bar{x}	0,0	0,3	1,7	34,8	6,1	0,6	0,0	0,3	43,5
	s	0,1	0,5	1,6	27,5	5,3	0,8	0,1	0,2	36,1

Im Oberboden (0 bis 10 cm) erreichte die KAK_{eff} einen Wert von $36 \mu eq/g$ TS und stieg mit zunehmender Bodentiefe auf $44 \mu eq/g$ TS (60 bis 100 cm) an. Von den basisch wirkenden Kationen lag die Ca-Sättigung an der KAK_{eff} in allen vier

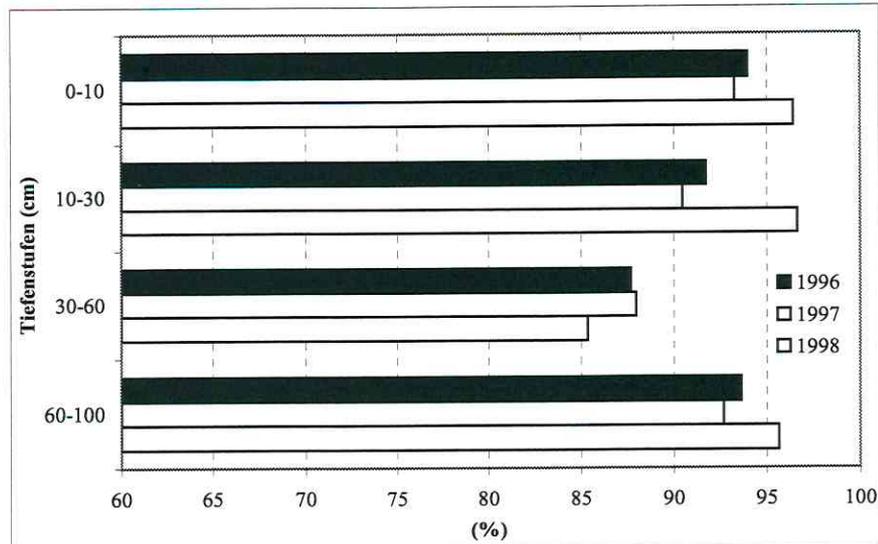


Abb. 22: Basensättigung im Boden in den Jahren 1996 – 1998

Im Untersuchungsjahr 1997 nahm die Basensättigung (BS) in den oberen Tiefenstufen leicht ab. Dieses Ergebnis dürfte in engem Zusammenhang mit dem Rückgang der pH-Werte zum Ende des ersten Untersuchungsjahres stehen. Im Jahr 1998 stieg die BS im

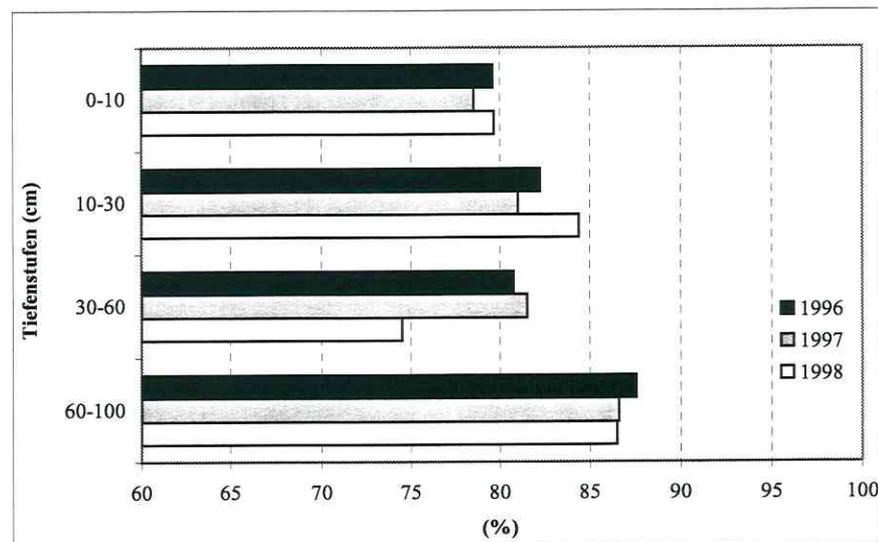


Abb. 23: Erdalkaliensättigung im Boden in den Jahren 1996 – 1998

Oberboden (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) der Flächen erneut an und

erreichte ein Niveau, das über den Ausgangswerten lag (Abb. 22). Interessanterweise konnte für die Tiefenstufe 60 bis 100 cm ein ähnlicher Verlauf der BS verzeichnet werden, während im Bereich 30 bis 60 cm erst im letzten Jahr die BS abzunehmen begann. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Dynamik der BS hauptsächlich durch die Erdalkaliensättigung (ES) bestimmt wird (Tab. 1 bis 3). In der Tendenz nahm diese über den dreijährigen Untersuchungszeitraum in den Tiefenstufen 0 bis 10 und 10 bis 30 cm zu und in den Tiefen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm ab (Abb. 23). Auch wenn die KAK_{eff} im Verlauf der drei Untersuchungsjahre in

allen vier Tiefenstufen insgesamt abnahm (Tab. 1 bis 3), konnte ein Verlust von basischen Kationen in Sandböden nach Brachlegung, wie von Stahr und Jahn (1992) beschrieben wurde, auf dieser Fläche im dreijährigen Untersuchungszeitraum generell nicht beobachtet werden. Jedoch ist eine Verlagerung von Ca und Mg-Ionen in die Tiefenstufen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm als wahrscheinlich anzusehen.

Tab. 2: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus 3 Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1997 (n = 20)

Tiefenstufe (cm)		H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	KAK_{eff}
		μeq/g								
0-10	\bar{x}	0,0	0,2	5,8	28,2	4,4	1,6	0,1	0,5	40,8
	s	0,1	0,1	2,3	11,1	2,2	1,3	0,1	0,2	17,4
10-30	\bar{x}	0,1	0,2	3,0	27,4	4,2	2,1	0,1	0,3	37,4
	s	0,2	0,1	0,9	13,5	2,5	1,4	0,1	0,1	18,8
30-60	\bar{x}	0,1	0,3	1,4	29,6	5,5	1,9	0,1	0,2	39,1
	s	0,1	0,2	0,5	23,0	5,5	1,5	0,1	0,1	31,0
60-100	\bar{x}	0,0	0,3	0,9	18,4	3,8	1,3	0,1	0,1	24,9
	s	0,0	0,2	0,5	8,7	2,3	1,3	0,1	0,1	13,2

Interessant ist die Entwicklung der H^+ -Ionen-Konzentrationen auf den Flächen des N-Düngungsversuches. Die Erhöhung der H^+ -Ionen-Konzentration in den Böden der gedüngten Parzellen (Tab. 4) im Vergleich zu den ungedüngten Parzellen in den Tiefenstufen von 10 bis 100 cm (Tab. 3) spiegelt deutlich den Einfluß der mineralischen N-Düngung auf die KAK_{eff} wider. Damit wird auch die Hypothese der pH-Wert Abnahme (Kap. 3.1.1.1), hervorgerufen durch die NH_4^+ -Ionen im Boden, untermauert.

Tab. 3: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus 3 Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1998 (ungedüngte Variante)

Tiefenstufe (cm)		H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	KAK_{eff}
		$\mu eq/g$								
0-10	\bar{x}	0,1	0,0	5,6	23,3	3,5	0,4	0,0	0,5	33,4
	s	0,2	0,1	2,5	10,0	2,0	1,2	0,1	0,2	16,3
	n	12	12	12	12	12	12	12	12	12
10-30	\bar{x}	0,0	0,0	3,6	23,0	3,4	0,3	0,0	0,4	30,7
	s	0,0	0,1	1,1	9,6	1,9	0,8	0,1	0,2	13,8
	n	12	12	12	12	12	12	12	12	12
30-60	\bar{x}	0,1	0,0	2,2	20,0	3,4	1,2	0,0	0,2	26,1
	s	0,3	0,1	1,1	18,6	3,0	1,5	0,1	0,1	24,8
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
60-100	\bar{x}	0,1	0,0	1,2	13,1	2,2	0,3	0,0	0,1	17,0
	s	0,2	0,1	0,5	9,0	1,3	1,3	0,1	0,1	12,6
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tab. 4: Mittelwerte der einzelnen Elemente der KAK_{eff} aus 3 Brachevarianten in den verschiedenen Tiefenstufen im Jahr 1998 (gedüngte Variante) (n = 6)

Tiefenstufe (cm)		H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	KAK_{eff}
		$\mu eq/g$								
0-10	\bar{x}	0,0	0,1	5,8	22,7	3,7	0,6	0,0	0,7	33,6
	s	0,1	0,1	3,6	5,9	1,6	0,3	0,0	0,5	12,1
10-30	\bar{x}	0,4	0,1	3,0	18,7	3,0	1,5	0,0	0,4	27,1
	s	0,2	0,1	1,6	7,1	1,7	1,1	0,1	0,3	12,2
30-60	\bar{x}	0,4	0,1	1,6	13,3	2,8	1,0	0,0	0,3	19,4
	s	0,2	0,1	1,0	10,1	2,3	1,0	0,1	0,2	13,0
60-100	\bar{x}	0,2	0,2	1,3	17,1	3,5	0,2	0,0	0,1	22,6
	s	0,3	0,1	0,4	9,6	1,9	0,9	0,1	0,1	13,4

3.2 Ergebnisse ausgewählter Untersuchungsgrößen des C- und N-Kreislaufes in Abhängigkeit von verschiedenen Brachevarianten

3.2.1 Organischer Kohlenstoff (Corg) im Boden

Im Boden der Untersuchungsfläche wurden nur Spuren von CaCO_3 nachgewiesen (Tab. A8 bis A10). Daher wird davon ausgegangen, daß der Gesamtkohlenstoff (Ct) dem Corg entspricht.

Zu Beginn der Untersuchungen erreichte der organische Kohlenstoff im Mittel der Flächen einen Gehalt von etwa 8.000 $\mu\text{g/g}$ TS im Oberboden (Abb. 24a). Im Verlauf des Jahres 1996 war in den Böden der Ro/HB-Variante eine leichte Abnahme der Corg-Gehalte im Vergleich zu den FB-Parzellen erkennbar. Dies wird auch durch den Mann-Whitney-U-Test bestätigt, welcher einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$)

zu den FB-Parzellen sichtbar werden läßt (Tab. A29). Diese Tendenz war auch in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm noch er-

kennbar (Abb. 24b) und läßt sich vermutlich mit einer verstärkten Mineralisierung von organischen C-Verbindungen und der Festlegung der Mineralisationsprodukte in pflanzlicher Biomasse unter Roggenkultur erklären. Ab dem Frühjahr 1997 waren zwischen den Brache-

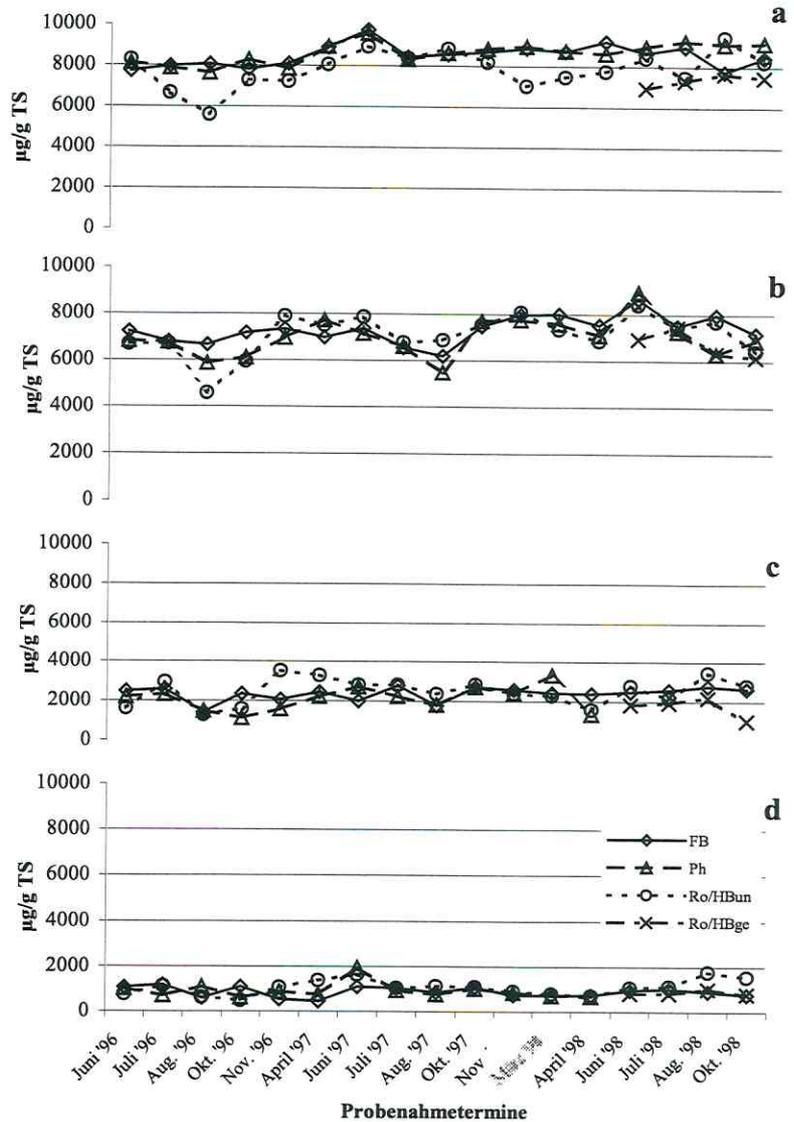


Abb. 24: Corg-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

varianten bis zum Versuchsende keine statistisch abgesicherten Unterschiede mehr festzustellen.

In den Unterböden traten zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den Brachevarianten auf (Tab. A29). Es wurden Corg-Gehalte um 2.500 µg/g TS (30 bis 60 cm) bzw. 1.000 µg/g TS (60 bis 100 cm) gemessen. Diese Ergebnisse bestätigen die allgemein bekannte Abnahme der Humusgehalte im Tiefenprofil (Tab. A8 bis A10). Insgesamt wurde ein durchschnittlicher Corg-Vorrat von 41.731 kg/ha, bezogen auf 1m Tiefe berechnet (Tab. A27). Dabei konnte über den Untersuchungszeitraum hinweg in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) annähernd konstante Corg-Vorräte errechnet werden. In den beiden unteren Tiefenstufen (30 bis 60 und 60 bis 100 cm) traten hingegen große Schwankungen auf (Tab. A27), welche vermutlich aus dem differenzierten Aufbau des Unterbodens und dem Probenahmeprinzip erklärbar sind. Abgesehen von den Variationen im Unterboden ist der Corg-Gehalt als konstant zu bewerten. Innerhalb der drei Untersuchungsjahre kam es zu einer geringfügigen Zunahme des Corg-Vorrates um 3.519 kg/ha (Tab. A27). Innerhalb der drei Untersuchungsjahre konnte kein einheitlicher Entwicklungstrend für diesen Parameter in Abhängigkeit vom Bodenmanagement beobachtet werden. Es wird deshalb davon ausgegangen, daß der C-Kreislauf auf diesem Standort unter den dreijährigen Brachen einer ausgewogenen Dynamik zwischen Ab- und Umbauprozessen unterworfen war.

Der Einfluß der im Frühjahr 1998 verabreichten mineralischen N-Düngung konnte im Juni 1998 in den beiden oberen Tiefenstufen signifikant nachgewiesen werden (Tab. A29). Zu diesem Zeitpunkt wurden deutlich geringere Corg-Gehalte im Boden der gedüngten Parzellen festgestellt (Abb. 24). Zurückzuführen ist dies vermutlich auf einen mikrobiellen Abbau des Corg nach erfolgter N-Düngung.

3.2.2 Organischer Kohlenstoff des KCl-Extraktes ($\text{Corg}_{(\text{KCl})}$) im Boden

Die im KCl-Extrakt bestimmbaren Corg -Gehalte spiegeln eine leicht lösliche C-Fraktion im Boden wider. Der $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt des Bodens unterlag von 1996 bis 1998 einer sehr starken jahreszeitlichen Dynamik (Abb. 25). Dies stützt die Vermutung, daß diese Fraktion aus leicht ab- und umbaubaren C-Verbindungen besteht. Desweiteren war für den $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt ein deutlicher Tiefengradient festzustellen. So wurden im Oberboden (0 bis 10 cm) $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Konzentrationen von mehr als 40 $\mu\text{g/g}$ TS gemessen, während die Konzentrationen im Unterboden (60 bis 100 cm) selten Werte von mehr als 20 $\mu\text{g/g}$ TS erreichten (Abb. 25). Daraus ergab sich ein $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Vorrat von 200 kg/ha und damit 0,6 % des Corg (Tab. A 27). Die FB-Variante unterschied sich im Juli und August 1996 signifikant ($p \leq 0,01$) von den anderen Brache-

varianten (Tab. A30), auch wenn dies in der Betrachtung der Medianwerte der Brachevarianten nicht deutlich sichtbar wird (Abb. 25). Dies läßt sich vermutlich auf die relativ späte Bodenbearbeitung auf der FB-Variante zurückführen. Auch wenn während des Untersuchungszeitraumes zu den einzelnen Probenahmeterminen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten auftraten (Tab. A30), folgten diese Ergebnisse keinem einheitlichen Trend. Zur besseren Einschätzung dieser C-Fraktion für den C-Kreislauf des Bodens wurde der Medianwert aller Brachevarianten für die weiteren Berechnungen herangezogen. Der Anteil des $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ am gesamten Corg betrug $< 1\%$ im Oberboden und um 2% im Unterboden (Abb. 26). Dies kann zum einen ein Hinweis auf die leichte Mobilisierbarkeit und

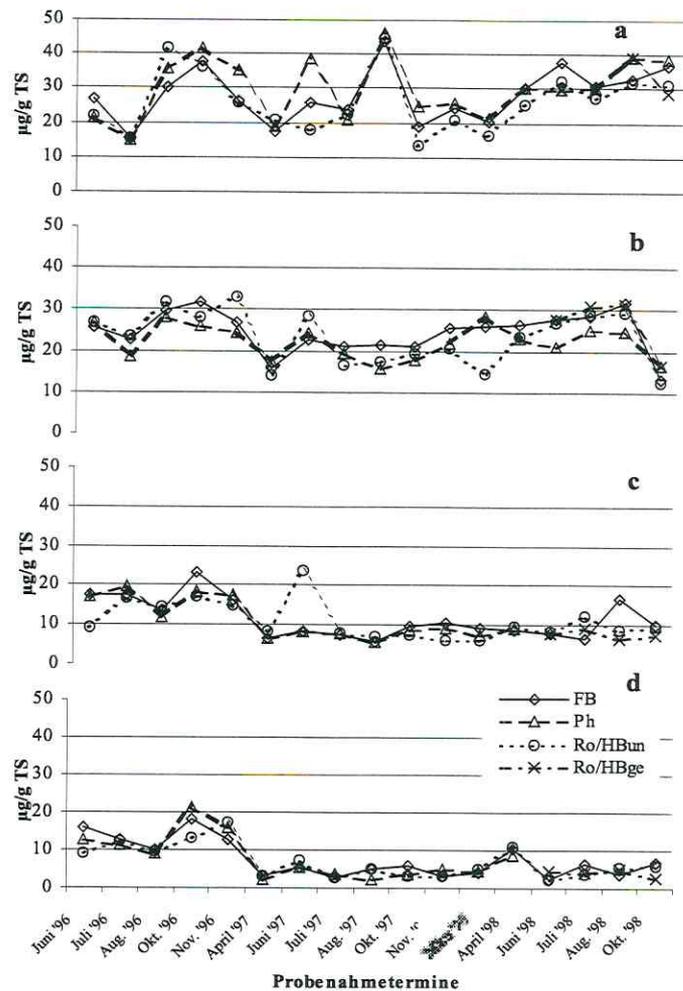


Abb. 25: $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

die damit verbundene Möglichkeit der Tiefenverlagerung dieser C-Fraktion sein. Desweiteren ist der erhöhte Anteil der $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion am Corg-Gehalt in den unteren Tiefenstufen (30 bis 60 und 60 bis 100 cm) auf die hohe Mobilität dieser C-Fraktion im Boden bei vergleichsweise geringen Corg-Gehalten im Unterboden zurückzuführen. Die hohe Beweglichkeit der $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion führt zu einer Tiefenverlagerung und relativen Anreicherung im Unterboden (Abb. 26c, d).

Die größere Variabilität dieses Parameters im Unterboden (Abb. 26) deutet auf die Inhomogenität des Untergrundes auf diesem Standort hin. Während der Sommermonate konnte in den Tiefenstufen 0 bis 10 und 10 bis 30 cm eine leichte Erhöhung des $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Anteils am gesamten Corg-Gehalt des Bodens beobachtet werden, wobei dies besonders im Jahr 1996 deutlich wurde. Im weiteren Untersuchungsverlauf

lies die saisonale Dynamik dieses Parameters erkennbar nach, was vermutlich auf die fehlende Bodenbearbeitung in den folgenden Jahren zurückgeführt werden kann. Im Unterboden hingegen unterlag dieser Parameter kaum merklichen Schwankungen über den gesamten Untersuchungszeitraum (Abb. 26). Leider war es anhand dieser Untersuchungen nicht möglich, Aussagen zur Struktur dieser C-Fraktion zu treffen. Interessant sind jedoch die starken Wechselwirkungen zwischen $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ und verschiedenen Bodenparametern. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes konnten enge Korrelationen zwischen $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ und Corg-Gehalt ($r_s = 0,47^*$ bis $0,79^{***}$) und zum $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ ($r_s = 0,45^*$ bis $0,76^{***}$) (Tab. A75 bis 158) des Bodens gefunden werden. Das $(\text{Corg}/\text{Nt})_{(\text{KCl})}$ -Verhältnis nahm in allen vier Tiefenstufen mit zunehmender Dauer der Brache zu. So konnte zu Beginn der Untersuchungen ein Verhältnis von 1,1 in der obersten 10 cm festgestellt werden (Tab. 5). Mit zunehmender Tiefe

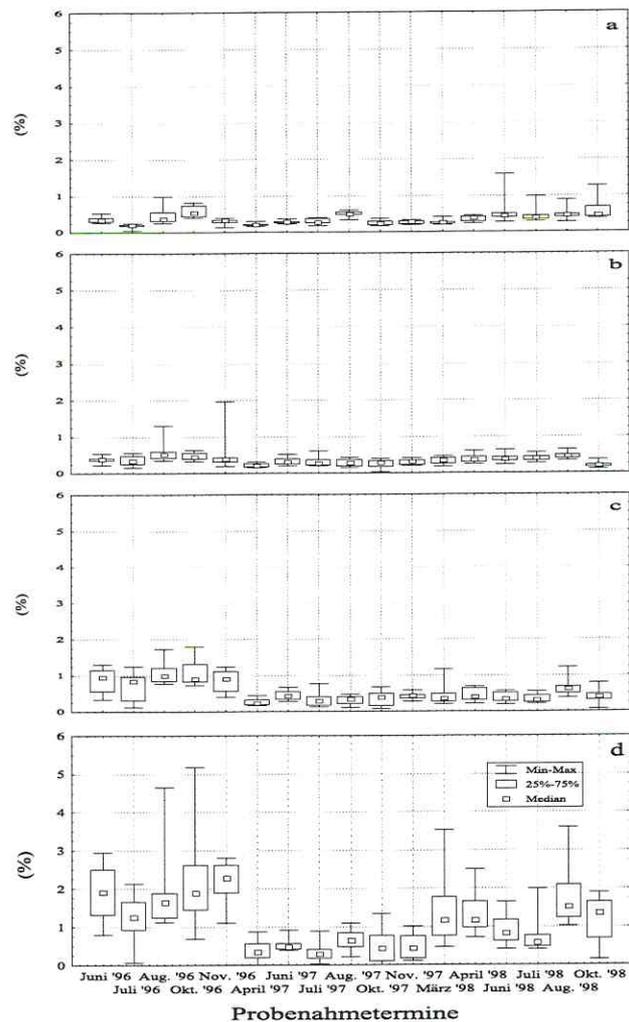


Abb. 26: $\text{Corg}_{(\text{KCL})}/\text{Corg}$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

stieg dieses Verhältnis bis auf 1,6 (60 bis 100 cm) an. Diese Tendenz verstärkte sich noch im weiteren Untersuchungsverlauf. Zum letzten Untersuchungstermin erreichte das $(\text{Corg/Nt})_{(\text{KCl})}$ -Verhältnis im Oberboden 4,3 und 8,4 im Unterboden.

Tab. 5: $(\text{Corg/Nt})_{(\text{KCl})}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
0-10	1,1	2,8	4,2	4,6	3,8	2,7	4,2	3,7	5,5	2,7	4,3	3,8	4,2	4,9	4,1	5,3	4,3
10-30	1,5	3,1	5,2	4,1	4,0	2,4	4,9	4,6	3,8	3,7	3,8	3,7	4,4	6,5	5,9	7,3	3,4
30-60	1,5	2,5	5,2	5,9	4,3	1,5	3,4	5,4	6,2	3,0	3,1	3,2	4,4	6,9	5,1	11,4	6,3
60-100	1,6	1,7	3,0	5,6	4,9	1,1	3,0	1,9	4,6	3,5	2,8	2,0	5,2	1,5	3,7	5,2	8,5

Zu den verschiedenen untersuchten N-Fraktionen konnten enge Beziehungen mit der $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion nachgewiesen werden: Nt : $r_s = 0,54^*$ bis $0,73^{***}$; $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$: $r_s = 0,46^*$ bis $0,82^{***}$; $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$: $r_s = 0,54^*$ bis $0,88^{***}$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $r_s = 0,45^*$ bis $0,68^{**}$; $\text{NO}_3^-\text{-N}$: $r_s = 0,46^*$ bis $0,66^{**}$ zum (Tab. A75 bis A158). Obwohl an einigen Terminen zu den untersuchten mikrobiellen Parametern signifikante Korrelationen gefunden wurden ($r_s = 0,57^{**}$ bis $0,79^{***}$ für Cmic und $0,60^{**}$ bis $0,75^{***}$ für Nmic), scheinen diese Beziehungen eher von untergeordneter Bedeutung zu sein, da sie relativ selten und nicht hochsignifikant nachweisbar waren. Ganz anders hingegen muß die Korrelation zum pH-Wert des Bodens bewertet werden. Zwischen $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ und pH-Wert wurden bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit eine enge Beziehung festgestellt ($r_s = 0,44^*$ bis $0,70^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Signifikante Beziehungen zwischen $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ und dem Wassergehalt des Bodens konnten nur während der feuchteren Monate im Frühjahr und im Herbst festgestellt werden ($r_s = 0,48^*$ bis $0,68^{**}$) (Tab. A75 bis A158).

3.2.3 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff ($C_{org(HWL)}$) im Boden

Die Gehalte an heißwasserlöslichen Kohlenstoff erreichten zu Beginn der Untersuchungen in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) Werte um 350 $\mu\text{g/g TS}$ (Abb. 27). Damit wurden Gehalte gemessen, welche jene auf einem brachgefallenen Schwarzerdestandort in Mitteleuropa deutlich übertrafen (Schulz, 1990). Dieses Ergebnis ist für den leichten Sandstandort unerwartet und läßt auf eine überdurchschnittlich hohe Zufuhr mit organischer Substanz in den vorangegangenen Jahren schließen. Es konnte ein sehr deutlich erkennbarer Tiefengradient dieses Parameters erkannt werden (Abb. 27). Im Verlauf des ersten Brachejahres kam es zu einer starken Abnahme der $C_{org(HWL)}$ -Gehalte, welche jedoch nicht bis zum letzten Probenahmetermin dieses Untersuchungsjahres anhielt. Während der beiden anderen Untersuchungsjahre wurden für diesen Parameter nur unwesentliche Veränderungen gemessen. Insgesamt kam es zu einer leichten Zunahme der $C_{org(HWL)}$ -Vorräte um 122 kg/ha (Tab. A 27). Bereits in den Herbstmonaten 1996 und zum Abschluß der Untersuchungen erreichten die $C_{org(HWL)}$ -Gehalte wieder das Ausgangsniveau. Während des gesamten Zeitraumes wurde in den Ober-

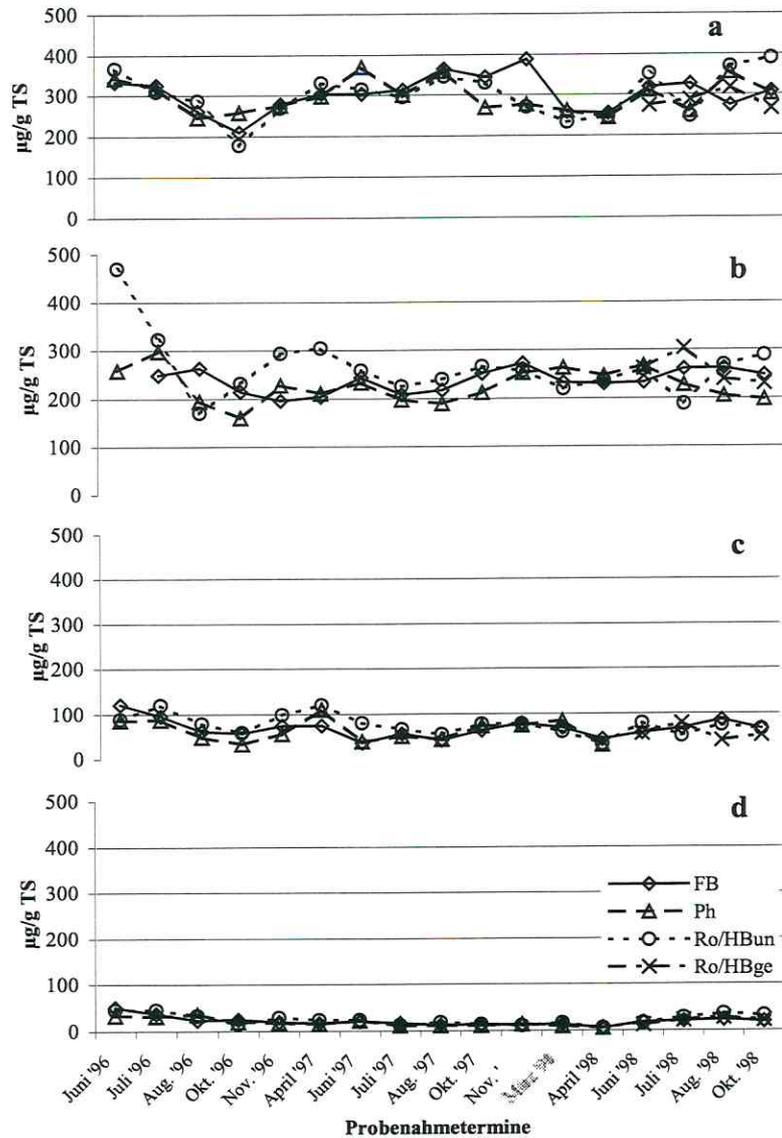


Abb. 27: $C_{org(HWL)}$ -Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

den Untersuchungsjahren wurden für diesen Parameter nur unwesentliche Veränderungen gemessen. Insgesamt kam es zu einer leichten Zunahme der $C_{org(HWL)}$ -Vorräte um 122 kg/ha (Tab. A 27). Bereits in den Herbstmonaten 1996 und zum Abschluß der Untersuchungen erreichten die $C_{org(HWL)}$ -Gehalte wieder das Ausgangsniveau. Während des gesamten Zeitraumes wurde in den Ober-

böden auf diesen Flächen immer die von Schulz (1990) postulierte „Verarmungsgrenze der Organischen Substanz“ von weniger als 200 µg/g TS überschritten. In der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) konnten keine statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten herausgestellt werden (Tab. A31). In der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm lagen die $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte der Ro/HB-Variante höher als in den anderen Brachevarianten. Diese Unterschiede konnten jedoch nicht statistisch abgesichert werden. Dieses Ergebnis ist auf die späte, schonende Bodenbearbeitung der FB- und Ph-Varianten zurückzuführen, auf welche der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalt im Boden empfindlich reagiert (Schulz, 1990). Allerdings wurde in diesem Zusammenhang keine Abnahme der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte nach schonender Bodenbearbeitung für die Phaceliaaussaat im Frühjahr des jeweiligen Jahres ersichtlich. Auch in dieser Tiefenstufe konnte eine Abnahme der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte im Aug. und Okt. 1996 nachgewiesen werden, wenngleich auf insgesamt niedrigen Niveau. Zunahmen des $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehaltes wurden immer zum Jahresende hin beobachtet. Dies läßt den Rückschluß zu, daß es sich bei diesen Zunahmen um abgestorbene Wurzelbestandteile bzw. mikrobielle Residualmasse handelt.

Da die $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte nicht sehr stark mit der Feuchtigkeit im Boden korrelierten (Tab. A75 bis 158), muß ein Zusammenhang zu anderen Komponenten vermutet werden. Aus der Literatur ist ein enger korrelativer Zusammenhang zwischen der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Fraktion und dem Gesamt-N im Boden bekannt (Körschens et al., 1990; Schulz, 1990). Auch in den hier vorgestellten Untersuchungen wurde zu jedem Probenahmetermin eine ausgesprochen enge Korrelation zum $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ festgestellt ($r_s = 0,49^*$ bis $0,96^{***}$). Danach kann man von einem sehr engen C/N-Wirkungsmechanismus ausgehen. Betrachtet man das $(\text{Corg}/\text{Nt})_{(\text{HWL})}$ -Verhältnis, so kann eine Zunahme dieses Verhältnisses in den Sommermonaten, zum Teil bis in den Herbst hinein, beobachtet werden (10,3 im Juli 1997 in 0 bis 10 cm Tiefe; 10,7 im August 1998 in 10 bis 30 cm Tiefe) (Tab. 6). Dieselbe Tendenz konnte, wenngleich in etwas abgeschwächter Form, bis in die Tiefenstufe von 60 bis 100 cm nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis spricht für eine schnellere Mineralisierung des heißwasserlöslichen N innerhalb der Heißwasserfraktion. Deutlich wurde dies auch durch die im Untersuchungszeitraum sehr häufig gefundenen engen Zusammenhänge zwischen $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ und verschiedenen Stickstoffverbindungen ($\text{Nt}_{(\text{KCl})}$: $r_s = 0,49^*$ bis $0,68^{**}$; $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$: $r_s = 0,53^*$ bis $0,82^{***}$; NH_4^+ -N: $r_s = 0,45^*$ bis $0,72^{***}$; NO_3^- -N: $r_s = 0,48^*$ bis $0,88^{***}$, $p \leq 0,01$). Dabei scheint ein besonders enger Zusammenhang zwischen $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ und NH_4^+ -N-Gehalt zu bestehen (Tab. A75 bis A158).

Tab. 6: (Corg/Nt)_(HWL)-Verhältnis in den vier Tiefenstufen

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug	Okt.
0-10	6,4	9,1	6,1	6,3	5,6	8,2	7,8	10,1	10,3	10,2	10,1	8,2	6,8	9,8	8,8	9,4	8,0
10-30	7,5	8,3	7,1	8,1	7,1	7,5	8,3	10,0	10,5	9,7	8,9	8,1	7,4	9,9	10,7	10,7	8,9
30-60	6,5	7,5	8,2	7,3	7,8	8,3	7,0	11,6	10,6	9,7	8,3	8,0	5,9	11,0	11,7	13,2	9,7
60-100	3,3	4,2	7,7	6,3	6,0	5,1	7,2	6,6	6,7	5,5	6,9	2,4	4,2	8,1	10,9	18,1	11,5

Darüber hinaus bestand über den gesamten Untersuchungszeitraum eine enge Beziehung zum Humuskörper des Bodens (Corg) ($r_s = 0,58^{**}$ bis $0,88^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Das $C_{org(HWL)}/C_{org}$ -Verhältnis beschreibt den Anteil des leicht abbaubaren Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff des Bodens (Deubel, 1995). Zur $C_{org(HWL)}$ -Fraktion gehören leicht depolymerisierbare Kohlenwasserstoffe (Körschens et al., 1990). Letztere setzen sich aus Kohlenhydraten zusammen, die ihren Ursprung in der mikrobiellen Biomasse sowie in Wurzelexudaten und -lysaten haben (Körschens et al., 1990, Leinweber et al., 1994). Die $C_{org(HWL)}$ -Fraktion nahm im Durchschnitt der Flächen und in den vier verschiedenen Tiefenstufen einen Anteil von etwa 4 % des organischen Kohlenstoffes ein (Abb. 28). Damit besitzt dieser Sandstandort ein ähnliches C-Nachlieferungsvermögen wie ein Parabraunerdestandort in der Leipziger Tieflandsbucht (Deubel, 1995). Im Oberboden fiel die starke Streuung der Werte auf, welche auf die Inhomogenität im rAp-Horizont zurückgeführt wird. Die $C_{org(HWL)}$ -Fraktion unterlag im gesamten Zeitraum der

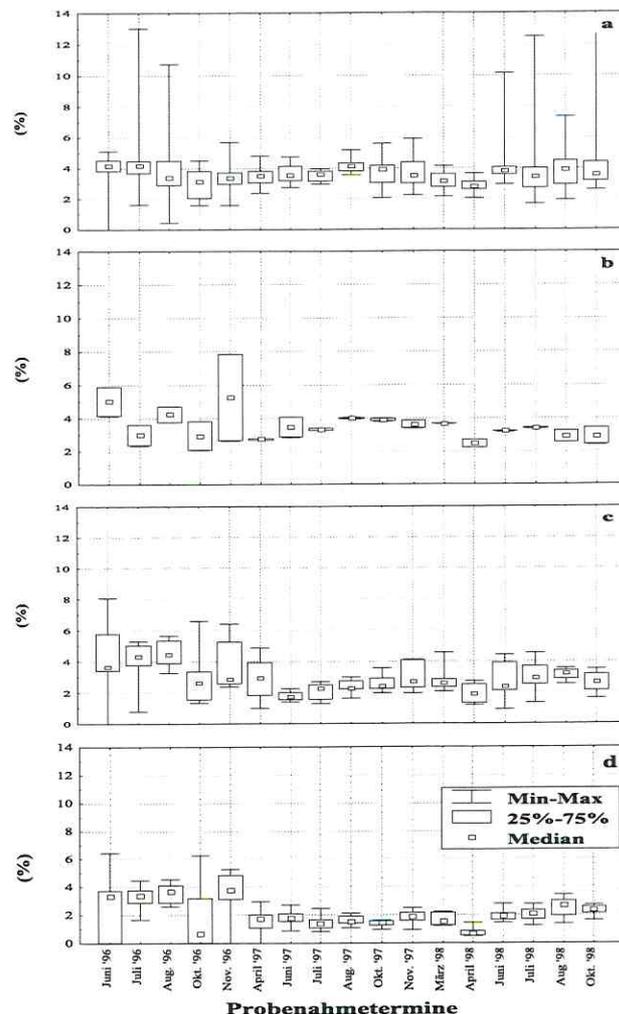


Abb. 28: $C_{org(HWL)}/C_{org}$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Untersuchungen keinem ausgeprägten Jahresgang. Die Streuung der Einzelwerte des $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ nahm mit zunehmender Tiefe ab und wurde in der Tiefenstufe von 60 bis 100 cm kaum noch deutlich. Die Gehalte pegelten sich schon im ersten Jahr bei rund $6 \mu\text{g/g}$ TS ein und behielten dieses Niveau über den dreijährigen Zeitraum bei.

Bezogen auf die Untersuchungstiefe von 100 cm wurde im Frühjahr 1996 ein $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Vorrat von 1.375 kg/ha errechnet (Tab. A27). Dieser nahm im Verlauf der Untersuchungen leicht zu (122 kg/ha), wobei dieser Trend in den beiden oberen Tiefenstufen nachgewiesen wurde (Tab. A27).

3.2.4 Gesamtstickstoff (Nt) im Boden

Der Gesamtstickstoffgehalt (Nt) wies im Juni 1996 in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) Ausgangsgehalte von rund 600 $\mu\text{g/g}$ TS auf. Ähnlich hoch war auch der Gehalt in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm. Mit abnehmender Tiefe konnte ein deutlicher Gradient erkannt werden. So wurden in der Tiefe 30 bis 60 cm Nt-Gehalte von rund 200 $\mu\text{g/g}$ TS, in 60 bis 100 cm nur noch 100 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt. Damit ergab sich ein Vorrat an Nt von 5.112 kg/ha (0 bis 100 cm) (Tab. A36). In den beiden oberen Tiefenstufen kam es im Verlauf des ersten Untersuchungsjahres zu einer leichten Abnahme der Nt-Gehalte, welche statistisch jedoch nicht abgesichert werden konnten. Diese stabilisierten sich im Herbst 1996, erreichten das Ausgangsniveau und blieben bis zum Versuchsende auf diesem Niveau (Abb. 29). Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnten keine signifikanten Unterschiede im Nt-Gehalt festgestellt werden. (Tab. A42). Die im Frühjahr 1998 durchgeführte mineralische Stickstoffdüngung (Variante Ro/HBge) spiegelte sich in den beiden oberen Tiefenstufen wider. Dieser Düngungseffekt war jedoch nur zu einem Probenahmetermine (Juni 1998) erkennbar (Abb. 29). Unerwartet ist die signifikante Erhöhung der Nt-Gehalte auf den ungedüngten

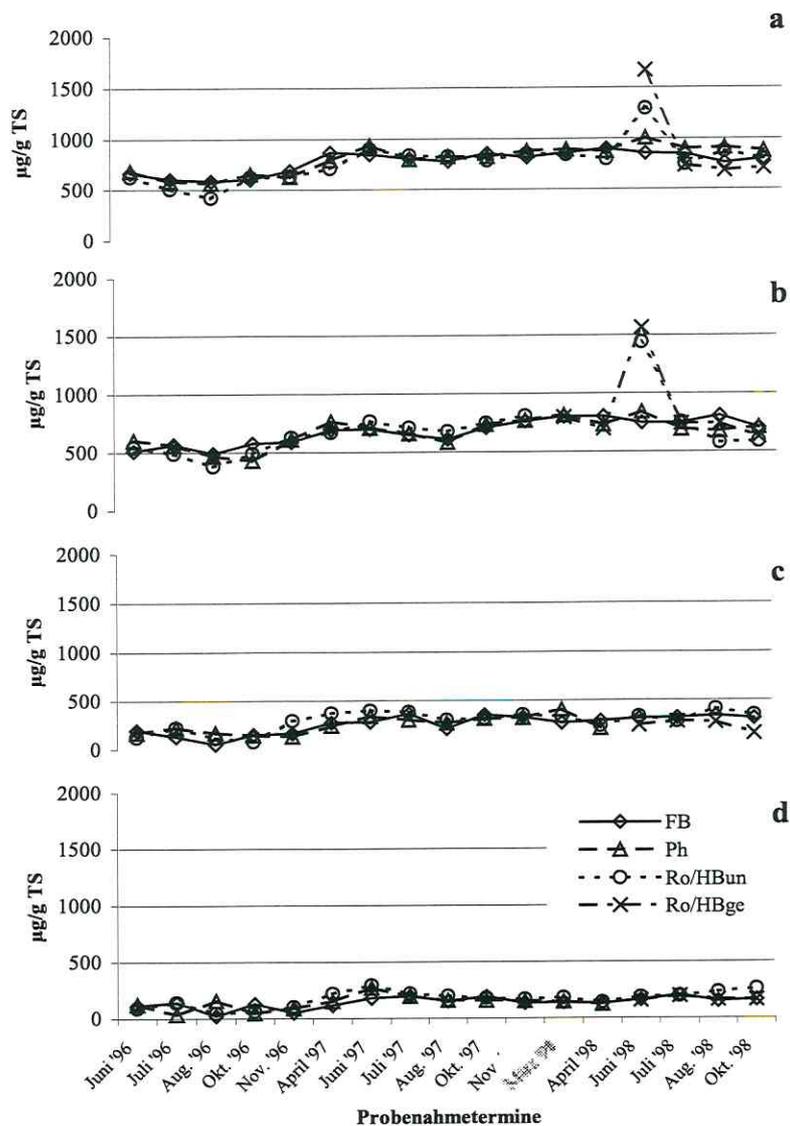


Abb. 29: Nt Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

(Ro/HBun)-Parzellen ($p \leq 0,1$) im Juni 1998 (Tab. A42). Dieses Ergebnis kann vermutlich auf eine schnelle laterale Verlagerung des Bodenwassers und der darin enthaltenen gelösten Ionen von den gedüngten in die ungedüngten Parzellen erklärt werden. Bedingt durch das Versuchsflächendesign (Abb. 10) lagen diese direkt nebeneinander. Dieses Phänomen der seitlichen Wasserverlagerung in Sandböden ist schon seit längerer Zeit bekannt (Moschrefi, 1967). Auch Sieben et al. (1997) konnten diesen Effekt durch Laborversuche über die Färbung von Wasser mit Amaranth bestätigen. Aufgrund dieser Ergebnisse schlugen Sieben et al. (1997) zur Beschreibung und Vorhersage von H_2O -Abflußraten in Sandböden sogenannte Zwei-Regionen Modelle anstelle der bis dahin verwendeten dispersiven Transportmodelle vor. Gernandt (1998) schlußfolgerte, daß die in Sandböden zu beobachtende horizontale Differenzierung von Sickerwasserbahnen durch den Prozeß der Luftokklusion zu erklären ist. Bestätigt wird diese Theorie auch durch neuere Untersuchungen von Schmalz und Lennartz (1999), welche den lateralen Wasserfluß als mitverantwortlich für große Inhomogenitäten von sandigen Böden beschreiben. Eigene Untersuchungen des Bodens mit dem Massenspektrometer Delta plus ergaben folgende $\delta^{15}\text{-N}$ -Reihe: gedüngt (4,6 ‰) < ungedüngt (5,6 ‰) < Kontrollflächen (6,0 ‰). Somit konnten niedrigere Isotopenverhältnisse im Boden der gedüngten Parzellen herausgestellt werden. Da auch im Boden der angrenzenden, ungedüngten Parzellen niedrigere Isotopenverhältnisse festgestellt wurden, kann mit den vorliegenden Ergebnissen die Theorie der Lateralverlagerung von Wasser und damit auch von N bestätigt werden.

Auch im Unterboden (30 bis 60 und 60 bis 100 cm) wurde im Jahr 1996 zunächst eine Abnahme des Nt-Gehaltes beobachtet, welcher im Herbst desselben Jahres erneut Ausgangsniveau erreichte und sich bis Versuchsende auf diesem Niveau bewegte. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes kam es rechnerisch zu einer Abnahme von 77 kg/ha (0 bis 100 cm) (Tab. A 36), was statistisch allerdings nicht als signifikant zum Ausgangsvorrat erkannt werden konnte. Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnten keine signifikanten Unterschiede erkannt werden. Auch die mineralische Stickstoffdüngung war in diesen beiden Tiefenstufen nicht nachzuweisen, da sich die Ro/HBge-Variante nicht von den anderen Brachevarianten unterschied (Tab. A42).

3.2.5 Organischer Stickstoff (Norg) im Boden

In diesem Kapitel wird der Norg, berechnet aus der Differenz von Nt und Nmin, dargestellt und diskutiert. Bei dieser N-Fraktion konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten festgestellt werden (Tab. A43). Aus diesem Grund wurde für die weiteren Betrachtungen der Median (n = 20) der vier Brachevarianten herangezogen. Der Norg erreichte in allen Tiefenstufen Werte in der selben Größenordnung wie der Nt (Abb. 30). Wie aus der Abb. 31 ersichtlich wird, erreichte der organisch gebundene Stickstoff im Boden in 0 bis 10 und 10 bis 30 cm Tiefe zu Untersuchungsbeginn im Juni 1996 einen

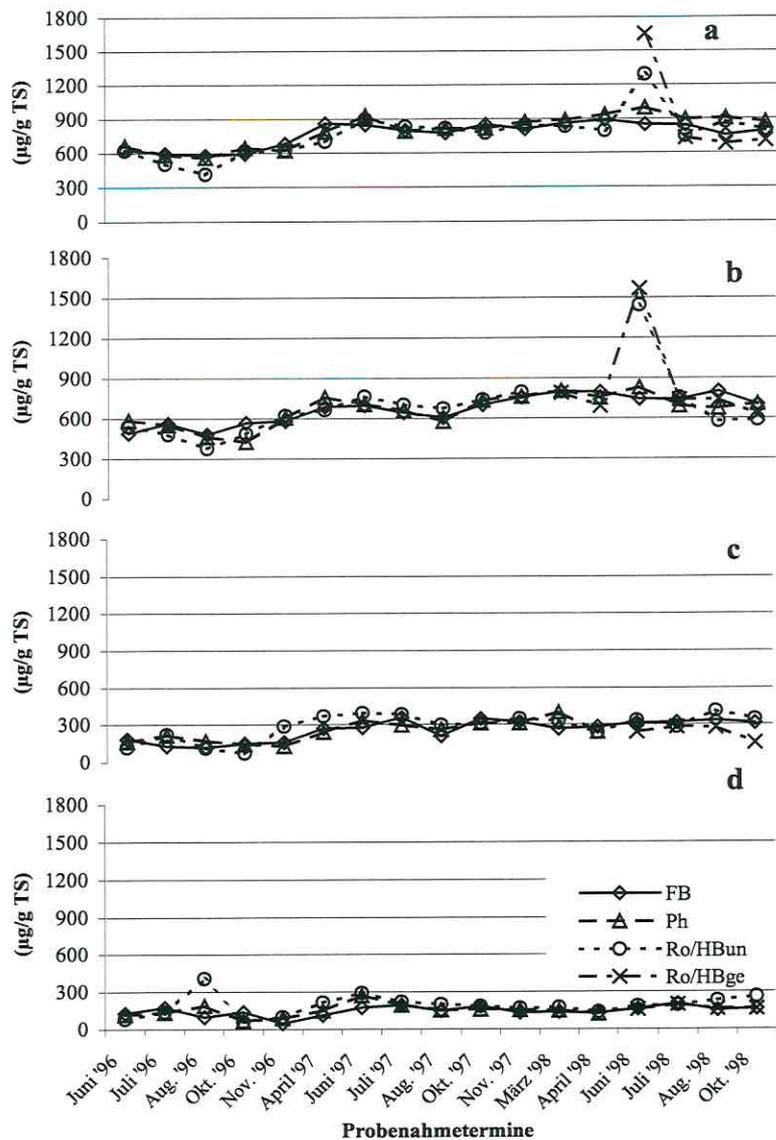
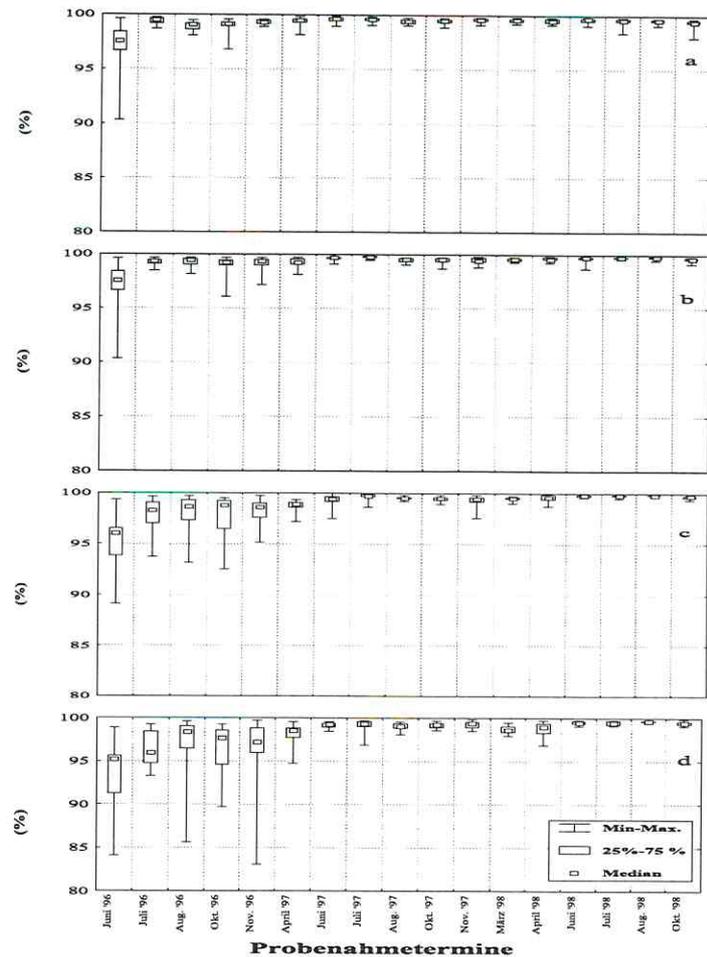


Abb. 30: Norg Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Anteil von durchschnittlich 97 % des Nt. Bereits im Juli 1996 konnten Anteile von über 99 % festgestellt werden. Dieses Niveau wurde im Verlauf der dreijährigen Untersuchungen gehalten. In der Tiefenstufe von 30 bis 60 cm erreichte der Norg zu Beginn der Untersuchungen ein Anteil von 95 % am Nt. In dieser Tiefenstufe war eine Erhöhung des Anteils des Norg am Nt auf 99 % erst im Frühjahr 1997 zu beobachten. Im weiteren Untersuchungsverlauf lag der Nt auch in dieser Tiefenstufe fast vollständig in organisch gebundener Form vor. In einer Bo-

dentiefe von 60 bis 100 cm waren im Juni 1996 etwa 93 % des gesamten N organisch gebunden. Diese Tiefenstufe war durch eine große Variabilität der Meßwerte gekennzeichnet, welche vermutlich aus der Inhomogenität des Substrates resultiert (siehe auch 3.2.1). Die in den anderen Tiefenstufen beobachtete Zunahme des Norg am Nt wurde in 60 bis 100 cm Tiefe erst im Juni 1997 beobachtet. Zu diesem Termin lagen 99 % des Nt als Norg vor. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß es im Verlauf von Flächenstilllegungen zu Veränderungen in der Zusammensetzung des Boden-N



kommen kann. Nach dem Auflassen der ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde der anorganische Stickstoff innerhalb sehr kurzer Zeit entweder in organische Stickstoffverbindungen überführt und/oder in Form von Nitrat ausgewaschen. Nach aktuellen Untersuchungen von Hartmann (1998) ist auf Sandböden auch mit einer Auswaschung von NH_4^+ -N in Größenordnungen von 30 bis 50 mg/l in der Bodenlösung zu rechnen. Dieser Faktor konnte im Rahmen dieser Studie leider nicht näher betrachtet werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit stützen Angaben in der Literatur, welche davon ausgehen, daß 90 bis 95 % des gesamten Boden-N in organisch gebundener Form vorliegen (Scheffer und Schachtschabel, 1998). Jedoch gelten diese Zahlen lediglich für Böden intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Abb. 31: Norg/Nt-Verhältnis in den Tiefenstufen (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

In der vorliegenden Studie erreichte der Norg nach dreijähriger Flächenstillegung in 0 bis 100 cm Tiefe Anteile von 99 % am gesamten Boden-N (Abb. 31). Vergleichbare Ergebnisse wurden von Gisi (1997) berichtet. Nach mineralischer Stickstoffdüngung (Ro/HBge) im Frühjahr 1998 konnte eine signifikante Erhöhung des Norg-Gehaltes in den Böden im Vergleich zu nicht gedüngten Brachevarianten (FB und Ph) zwischen sechs und zwölf Wochen nach der Mineraldüngergabe beobachtet werden (Abb. 30, Tab. A43). Dieses Ergebnis manifestiert sich in Norg-Gehalten von 1.655 µg /g TS (Ro/HBge) bzw. von 888 µg /g TS (FB und Ph) in 0 bis 10 cm Tiefe. Erklären kann man diese Zunahme vermutlich mit einer sofortigen Aufnahme des mineralischen Stickstoffes durch Mikroorganismen und Umwandlung in organische N-Verbindungen. Darüber hinaus ist ein Einbau von mineralischen N in die organische Substanz durch die Bildung von Chinon-NH₂-Brücken möglich (Beese et al., 1995). In den Tiefenstufen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten Bracheparzellen festgestellt werden.

Zu Beginn der Untersuchungen konnte ein Norg-Vorrat von 4.066 kg/ha errechnet werden (Tab. A32). Damit hatte der organische N einen Anteil von 96 % am Gesamt-N. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes kam es zu einer Zunahme auf 5.081 kg/ha, was auch in dem prozentualen Anteil von > 99 % am Nt sichtbar wird (Tab. A37).

3.2.6 Gesamtstickstoff des KCl-Extraktes ($N_{t(KCl)}$) im Boden

Zur Bestimmung der verschiedenen löslichen Stickstofffraktionen in Böden werden eine Vielzahl an Extraktionsverfahren angewendet, welche auf unterschiedlichen Extraktionsreagenzien (z.B. Säuren, Basen, Oxidationsmittel, chelatisierende Reagenzien, Salzlösungen, Wasser) und Extraktionsbedingungen (Dauer der Extraktion, Extraktionskonzentration, Extraktionstemperatur, Art der Filtration oder Separation, Fraktionierung) basieren (Keeney, 1982; Stevenson, 1982; Stanford, 1982; Kohl, 1989; Hoffmann, 1991; Schlichting, 1998; Appel und Mengel, 1998).

Stanford (1982) unterteilt in „intensive“, „mittelstarke“ und „milde“ Extraktionsverfahren. Durch Methoden einer mittleren ($KMnO_4$ -Lösung) bzw. hohen (6 N HCl) Extraktionsintensität können große Anteile des gesamten N gelöst werden, welche bis zu 75 % des N_t ausmachen können (Olfs und Werner, 1993). Die Zusammensetzung dieses organischen N ist auch heute noch weitgehend ungeklärt. In der Literatur findet man diese N-Fraktion als „unknown N“. Schulten et al. (1997) fanden darin mittels FI-Pyrolyse heterozyklische N-haltige Verbindungen und N-Derivate von Benzen. Sie gehen von einer weiteren intensiven Forschung aus, um komplexere Zusammenhänge der Herkunft und Umwandlung dieser Verbindungen erklären zu können. Aus diesem Grund werden milde Extraktionsmethoden zur Kennzeichnung des N-Nachlieferungsvermögens der Böden den intensiven oder mittelstarken Methoden vorgezogen (Verstraeten et al., 1970; Fox und Piekeler, 1978; Stanford, 1982; Werner, 1986; Tate, 1995). Diesen Verfahren wird nach Jenkinson (1968) und He et al. (1988) eine größere Selektivität bei der Erfassung des in die Biomasse inkorporierten Stickstoffs zugeschrieben. Zu den milden Extraktionsmethoden zählen unter anderem auch die KCl- und Heißwasserextraktion. Diese N-Fractionen werden in den folgenden Kapiteln im Zusammenhang mit den anderen behandelten N-Fractionen dargestellt.

Die $N_{t(KCl)}$ -Gehalte in den Böden der FB- und Ph-Parzellen wiesen zu Beginn der Untersuchungen Gehalte von knapp 30 $\mu\text{g/g}$ TS auf (Tiefenstufe 0 bis 10 cm) (Abb. 32). Mit Werten von 5 $\mu\text{g/g}$ TS hingegen wurden im Boden der Ro/HB-Parzellen signifikant niedrigere $N_{t(KCl)}$ -Gehalte festgestellt ($p \leq 0,001$) (Tab. A44). Zum zweiten Probenahmetermin im Juli 1996 lagen die $N_{t(KCl)}$ -Gehalte aller Brachevarianten bei einheitlich 10 $\mu\text{g/g}$ TS, ein Niveau, welches bis zum Versuchsende beibehalten wurde. Die im Frühjahr 1998 applizierte Mineralstickstoffdüngung führte erwartungsgemäß zu einer Erhöhung der $N_{t(KCl)}$ -Gehalte in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) auf knapp 60 $\mu\text{g/g}$ TS. Damit wies die Ro/HBge-Variante si-

gnifikant höhere $Nt_{(KCl)}$ -Gehalte auf als alle anderen ungedüngten Brachevarianten ($p \leq 0,001$)

(Tab. A44). Der über die Düngung erhöhte $Nt_{(KCl)}$ -Gehalt wurde in den darauf folgenden sechs Wochen umgewandelt, da im Juli 1998 nur noch etwa $15 \mu\text{g } Nt_{(KCl)}/\text{g TS}$ gemessen wurden. Im Oktober 1998 konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den gedüngten und den ungedüngten Brachevarianten mehr nachgewiesen werden (Tab. A44). In der Tiefenstufe 10 bis 30 cm unterschieden sich, ähnlich wie in 0 bis 10 cm Tiefe, zu Versuchsbeginn die FB- und Ph-Varianten von der Ro/HB-Variante hinsichtlich ihrer $Nt_{(KCl)}$ -Gehalte (Abb. 32). Auch in dieser Tiefenstufe war der Effekt der N-Düngung

nachzuweisen, jedoch mit einer zeitlichen Verzögerung von sechs Wochen. In den Tiefenstufen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm waren zu Beginn der Untersuchungen 1996, vergleichbar mit den oberen 0 bis 30 cm, Unterschiede zwischen den FB/Ph-Varianten und der Ro/HB-Variante zu beobachten. Der Einfluß der mineralischen N-Düngung war im Gegensatz zu den beiden oberen Tiefenstufen in den beiden unteren Tiefenstufen nicht mehr nachweisbar. Damit kann von einer verzögerten Abnahme der $Nt_{(KCl)}$ -Gehalte in den beiden unteren Tiefenstufen im Vergleich zum Oberboden ausgegangen werden. Die $Nt_{(KCl)}$ -Fraktion wies über den dreijährigen Untersuchungszeitraum einen deutlichen Tiefengradient auf.

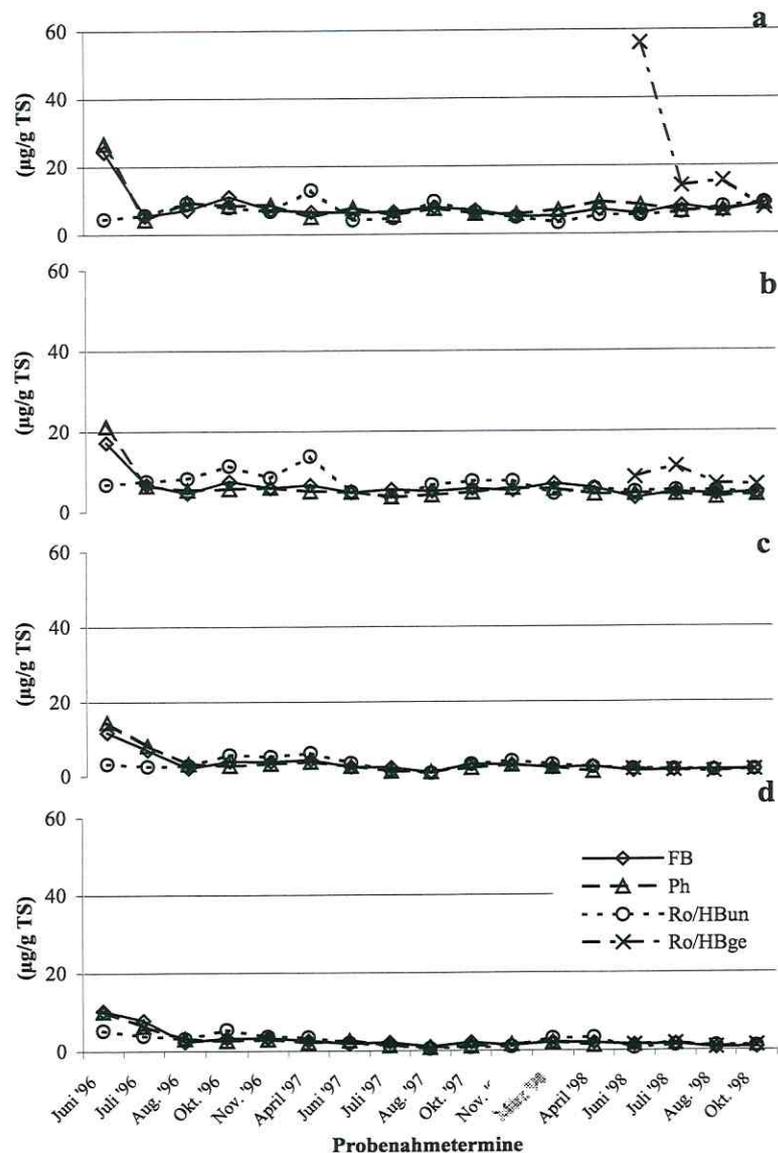


Abb. 32: $Nt_{(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Der $Nt_{(KCl)}$ -Gehalt als Anteil vom Nt , erreichte zu Beginn der Untersuchungen knapp 3 % (Abb. 33). Im Sommer 1996 nahm dieser auf Anteile von 1 % ab und stieg im Herbst auf ca. 2 %. Vom Frühjahr 1997 an lagen die $Nt_{(KCl)}$ Anteile bei weniger als 1 % am Nt . Diese Dynamik wurde in allen vier Tiefenstufen beobachtet. Jedoch unterlag das $Nt_{(KCl)}/Nt$ -Verhältnis in 30 bis 60 und 60 bis 100 cm Tiefe einer großen Streuung. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Auf der einen Seite bewegten sich die Nt -Gehalte in diesen Tiefen an der analytischen Nachweisgrenze. Auf der anderen Seite ist durch die in diesen Tiefenstufen vorherrschende Bodenart Sand eine sehr schnelle Wasserbewegung anzunehmen, so daß wahrscheinlich ein großer Anteil des $Nt_{(KCl)}$ im Verlauf des

Jahres 1996 ausgewaschen wurde. Beim KCl -extrahierbaren Nt handelt es sich vermutlich um eine wasserlösliche Fraktion. Diese Aussage wird durch die im allgemein engen Korrelationen zwischen $Nt_{(KCl)}$ und Bodenwassergehalt gestützt (0,46* bis 0,74***), welcher für alle Tiefenstufen gefunden wurde (Tab. A75 bis A158).

Der Gesamt- $Nt_{(KCl)}$ -Vorrat im Boden nahm im Verlauf der Untersuchungen von 172 kg/ha (Tab. A32) auf 42 kg/ha (Tab. A36) ab. Der Anteil am Nt lag damit bei 1 % (Tab. A 33) bzw. 0,2 % (Tab. A37).

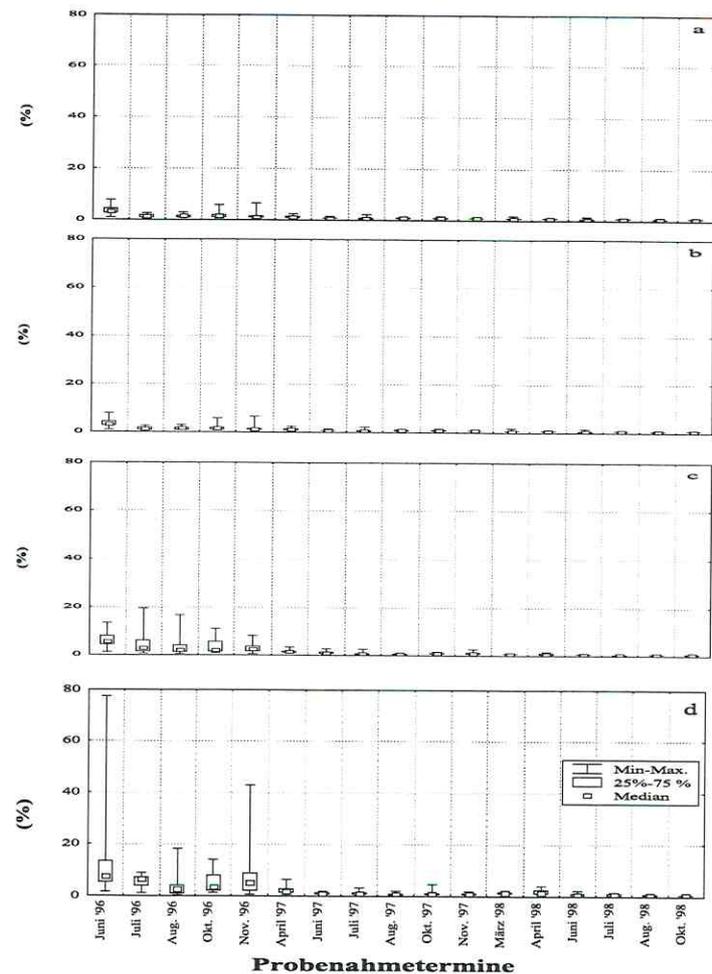


Abb. 33: $Nt_{(KCl)}/Nt$ -Verhältnis in den Tiefenstufen stufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Auf dieser Fläche konnte eine durch die Bodenart und die Wasserdynamik bedingte Streuung des $N_{t(KCl)}$ beobachtet werden, welche auch für die N_{min} -Fraktion festgestellt wurde (Kap. 3.2.8 und 3.2.9) In den folgenden zwei Untersuchungsjahren war die $N_{t(KCl)}$ -Fraktion in allen vier Tiefenstufen durch eine minimale jahreszeitliche Dynamik gekennzeichnet.

Der $N_{t(KCl)}$ steht mit sehr vielen Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen des Bodens in signifikant korrelativer Beziehung. In der Tiefenstufe von 0 bis 10 cm konnten enge Beziehungen zum $C_{org(KCl)}$ ($r_s = 0,45^*$ bis $0,71^{***}$), C_{org} ($r_s = 0,48^*$ bis $0,69^{***}$) und zum $C_{org(HWL)}$ ($r_s = 0,49^*$ bis $0,62^{**}$), nachgewiesen werden. Die engen Korrelationen zwischen $N_{t(KCl)}$ und $C_{org(KCl)}$ bestanden auch für die anderen untersuchten Tiefenstufen (Tab. A75 bis A158). Daneben war der $N_{t(KCl)}$ in dieser Studie sehr gut mit allen untersuchten N-Fractionen korreliert, wie mit dem N_t ($r_s = 0,45^*$ bis $0,84^{***}$) und dem $N_{t(HWL)}$, ($r_s = 0,45^*$ bis $0,89^{***}$) (0 bis 10 cm Tiefe). Diese Zusammenhänge konnten mehr oder weniger deutlich für alle vier Tiefenstufen herausgestellt werden. Die Beziehungen zu den mineralischen N-Fractionen sollen in den Kapiteln 3.2.8 bis 3.2.9 detailliert behandelt werden.

3.2.7 Organischer Stickstoff des KCl-Extraktes ($N_{org(KCl)}$) im Boden

Die Fraktion des naßchemisch ermittelten organischen Stickstoffs wird in der Literatur sehr kontrovers diskutiert (Nemeth, 1985; Kuhlmann et al., 1986; Houba et al., 1986; Kohl und Werner, 1986; Nemeth et al., 1987; Mählich, 1987; Appel und Steffens, 1988; Ziegler, 1988; Olf und Werner, 1988; Hoegen, 1992). Appel (1991) beschrieb die durch $CaCl_2$ extrahierbare organische N-Fraktion weniger als einen N-Vorrat, sondern vielmehr als eine Durchgangsfraktion, welche sich im Fließgleichgewicht der Transformationsprozesse im Boden zwischen Immobilisation und Mineralisation befindet. Auch entsprechend aktueller Untersuchungen gilt der $CaCl_2$ -extrahierbare Norg als leicht mineralisierbare Stickstofffraktion (Appel, 1998; Appel und Mengel 1998). Jedoch ist die stoffliche Zusammensetzung dieser Fraktion bis heute weitestgehend ungeklärt. Nemeth et al. (1986) vermuten, daß sich der $N_{org(CaCl_2)}$ hauptsächlich aus Aminosäuren zusammensetzt. Diese Vermutung wurde durch die Untersuchung von Leinweber und Schulten (1997) durch die Charakterisierung der Extrakte als Aminosäure-N, Aminosäure-N und NH_3 -N bestätigt. Anderen Untersuchungen zufolge besitzen freie Aminosäuren jedoch nur einen Anteil von ca. 2 bis 8 % an der $N_{org(CaCl_2)}$ -Fraktion (Recke et al., 1990). Ulschner-Petz und Neumann (1990) konnten bei Untersuchungen von drei verschiedenen Bodenarten nur 0,3 bis 1,3 % des Norg-N als „freie Aminosäuren“ charakterisieren. Bei

dieser Untersuchung wurde zudem festgestellt, daß in Abhängigkeit von der Bodenart zwischen 25 bis 90 % dieser N-Fraktion als Protein-N vorliegen. Auch nach der Hydrolyse verbleiben Stickstoffverbindungen in den Hydrolyserückständen. Dieser unbekannte N besteht nach Schnitzer und Ivarson (1982) aus nicht identifizierbarem hydrolysiertem N, nicht hydrolysiertem N und zu 50 % aus $\text{NH}_3\text{-N}$. Somit kann der unbekannte N zwischen 30 bis 60 % des gesamten extrahierbaren Bodenstickstoffs ausmachen (Leinweber und Schulten, 1997). Neuere Untersuchungsmethoden, welche auf der Kombination von physikalischer Trennung der organischen Bodensubstanz (OBS), naßchemischen Verfahren und Pyrolyse gekoppelt mit Feldionisationsmassenspektrometrie und Gaschromatographie/ Massenspektrometrie der naßchemisch nicht zu erfassenden Anteile beruhen, führten zu weiterführenden Aussagen. Mit Hilfe dieser Verfahren konnte der bisher unbekannte organische Stickstoff als heterozyklische Verbindungen, Nitrile und Amino-N/Amine und α -Amino-N mit typischen Aminosäuremuster identifiziert werden (Leinweber und Schulten, 1997). Dennoch besteht bei der Untersuchung dieser N-Fraktion weiterer Forschungsbedarf (Leinweber und Schulten, 1997; Appel und Mengel, 1998).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse empfiehlt Hoegen (1992) die Entwicklung eines verbesserten N-Prognosesystems für die Landwirtschaft unter Berücksichtigung der löslichen Norg-Fraktion. Olf und Werner (1993) betrachten die Aussagefähigkeit eines solchen Prognosesystems jedoch als unwahrscheinlich. Siepen und Werner (1995) konnten einen engen Zusammenhang zwischen den CaCl_2 -extrahierbaren Norg-Gehalten und der Stickstoffnachlieferung in Böden nachweisen und empfehlen deshalb die Anwendung eines sogenannten Norg-Konzeptes auf Standorten mit hohem Mineralisierungspotential und auf grundwassersensiblen Böden. Die Eignung des CaCl_2 -extrahierbaren Norg-Gehaltes zur Prognose des Düngedarfs wurde in vielen Studien geprüft, aber unterschiedlich gewertet (Barekzai et al., 1991; Wodsak und Werner, 1991; Appel, 1991; Olf, 1992; Hoegen, 1992; Siepen und Werner, 1995).

Eine enge Korrelation zwischen dem Norg-Gehalt im Boden und der N-Nachlieferung wurde bislang nur teilweise bestätigt (Kohl und Werner, 1986; Olf und Werner, 1988; Siepen und Werner, 1995). Die vorliegenden Untersuchungen der Extraktion der Böden mittels KCl ergaben eine vergleichbare Häufigkeitsverteilung der Norg-Gehalte mit dem in der Literatur bekannten Gehalten, welche mittels CaCl_2 extrahiert wurden (Abb. A6 bis A9) (Ortseifen und Werner, 1993; Siepen und Werner, 1995). Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, daß der mit KCl extrahierbare Norg einer ähnlichen Dynamik unterliegt, wie der mit CaCl_2 extra-

hierbare organische Stickstoff. Die Fraktion des KCl- bzw. CaCl_2 -extrahierbaren organischen Stickstoffes gilt als die Fraktion, welche einen fließenden Übergang zum mineralischen Stickstoff darstellt und als unmittelbar korrespondierende N-Fraktion zum N_{min} im Boden angesehen wird (Appel, 1991).

Generell wird in der Literatur eine enge Korrelation zwischen dem mittels verschiedener Methoden (HCl, EUF, CaCl_2 - bzw. K_2SO_4) extrahierten Norg-Gehalt und mikrobiellen Biomassegehalt aufgeführt (Ivarson und Schnitzer 1978; Kohl und Werner, 1986; Rheinhaben, 1988; Ols und Werner, 1989; Ols und Beck, 1990; Nemeth et al., 1996). Eindeutig belegt ist auch der Zusammenhang zwischen der nachlieferbaren Norg-Fraktion und der Witterung einerseits (Ols und Werner, 1989) und der Bodenart andererseits (Kohl und Werner 1989).

Die mittels KCl extrahierbaren Norg-Gehalte lagen zu Beginn der Untersuchungen im Jahre 1996 in den obersten 0 bis 10 cm Bodentiefe um 5 bis 6 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 34). Legt man die Einstufungskriterien für den CaCl_2 -extrahierbaren Norg zugrunde, kann dieser Standort als hoch versorgt charakterisiert werden (Ortseifen und Werner, 1993; Siepen und Werner, 1995). Wie aus den Abb. A6 bis A9 zur Häufigkeitsverteilung der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte in 0 bis 10 cm Bodentiefe hervorgeht, weist dieser Parameter eine intensive jahreszeitliche Dynamik auf. Dies wird als deutlicher Hinweis für die Standortspezifität dieses Parameters gewertet (Kohl und Werner, 1986; Appel, 1991; Hoegen, 1992; Ols, 1992). Zu Beginn der Untersuchungen wurde unter Roggen wurde ein signifikant ($p \leq 0,025$) niedrigerer $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Wert festgestellt als unter den anderen Brachevarianten (FB und Ph) (Tab. A45). Dieses Ergebnis konnte in der Tendenz bis zu einer Bodentiefe von 30 bis 60 cm nachgewiesen werden, und liegt vermutlich in der Umwandlung und Abschöpfung des $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ unter Roggen begründet.

Im Verlauf des dreijährigen Untersuchungszeitraumes war eine stetige Abnahme des $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehaltes im Boden aller Brachevarianten zu verzeichnen. Der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt erreichte im Oktober 1998 nur noch weniger als 4 $\mu\text{g/g}$ TS. Bezogen auf eine Bodentiefe von 1 m nahm der Vorrat des $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ von 11,4 kg/ha auf 9,9 kg/ha ab (Tab A36). Über den gesamten Untersuchungszeitraum war der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ mit beiden mineralischen Stickstofffraktionen korreliert (NO_3^- -N: $r_s = 0,47^*$ bis $0,62^{**}$; NH_4^+ -N: $r_s = 0,46^*$ bis $0,59^{**}$) (Tab. A75 bis A158). Eine korrelative Beziehung zur mikrobiellen Biomasse konnte nur sehr selten nachgewiesen werden (C_{mic} : $r_s = 0,69$; $p \leq 0,001$; N_{mic} : $r_s = 0,49$; $p \leq 0,05$) (Tab. A75 bis A158).

Zwischen $N_{org(KCl)}$ und der Basalatmung bestand ein negativer korrelativer Zusammenhang ($r_s = -0,58$; $p \leq 0,01$).

Der KCl extrahierbare organische Stickstoffvorrat nahm im Verlauf des Untersuchungszeitraumes von 40 kg/ha (Tab. A32) auf 11 kg/ha ab (Tab. A36). Das entspricht einem Anteil von 0,2 % am Nt.

Die im April 1998 durchgeführte N-Düngung (Ammoniumnitrat) spiegelt sich auch in den $N_{org(KCl)}$ -Gehalten wider (Abb. 34). Im Juni 1998 wurden in der Tiefe 0 bis 10 cm Gehalte von etwa 38 $\mu\text{g/g TS}$ auf den gedüngten und weniger als 5 $\mu\text{g/g TS}$ im Boden der ungedüngten Parzellen gemessen. Die N-Düngung führte damit zu einem signifikanten Anstieg dieser N-Fraktion ($p \leq 0,001$) (Tab. A45).

Der Anteil des $N_{org(KCl)}$ am $N_{t(KCl)}$ stieg von 32 % im April 1998 über 73 % im Juni

des selben Jahres bis zu 88 % am Jahresende an (Abb. A4 und A5). Als Folge der Mineral-N-Düngung lagen im Juli 1998 in den obersten 10 cm über 1 % des Gesamt-N des Bodens in mineralischer Form vor. Hingegen bewegten sich die im Boden unter Brache ermittelten N_{min} -Anteile in der selben Tiefenstufe bei 0,83 % bzw. 0,42 % in den Sommermonaten der Jahre 1996 bzw. 1997 (Tab. A50 bis A52). Diese Ergebnisse lassen vermuten, daß der gedüngte Mineralstickstoff sehr schnell in organische N-Verbindungen umgewandelt wurde. Vergleichbare Resultate erzielten Beese et al. (1995). Für einen engen Zusammenhang zwischen N_{min}

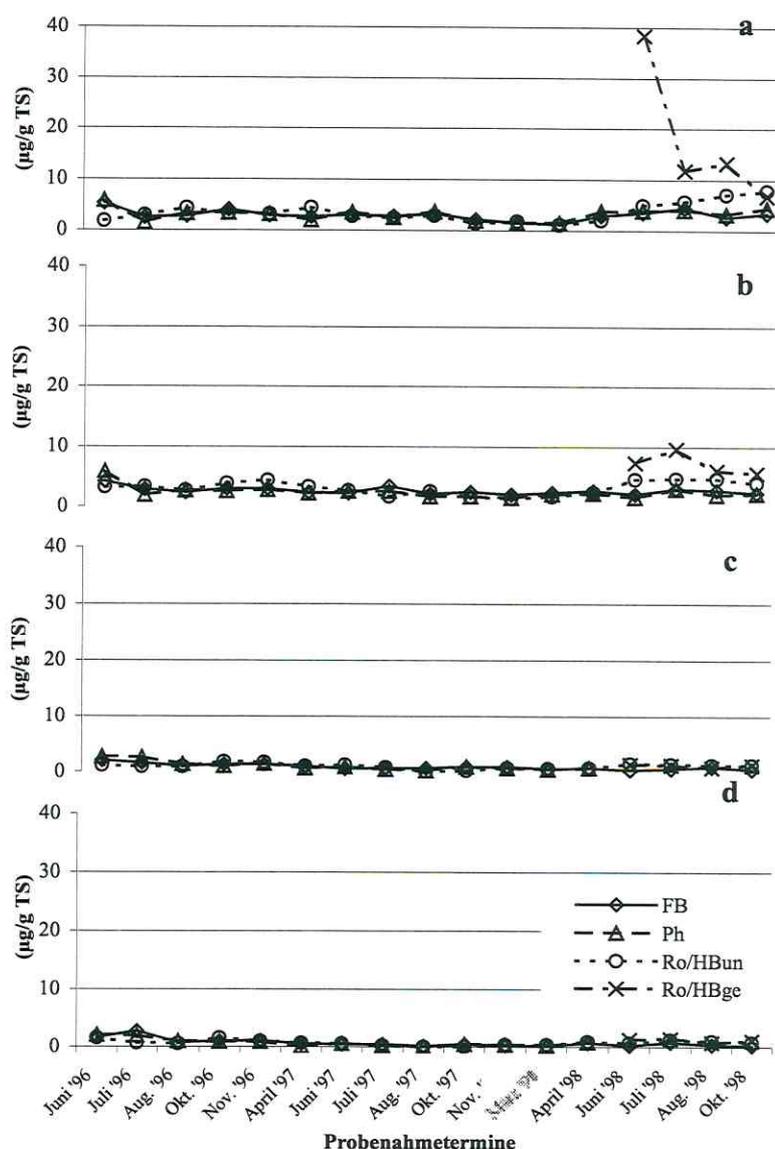


Abb. 34: $N_{org(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

und $Norg_{(KCl)}$, welcher in Korrelationskoeffizienten von $r_s = 0,51^*$ bis $0,94^{***}$) (Tab. A75 bis A158) zum Ausdruck kommt, spricht auch die schnelle Abnahme der $Norg_{(KCl)}$ -Gehalte in den gedüngten Parzellen bis zum letzten Probenahmetermin im Oktober 1998 (Abb. 34). Die sehr engen Beziehungen zur N_{min} -Fraktion konnte im Boden der ungedüngten Brachevarianten nicht festgestellt werden.

In der Tiefenstufe 10 bis 30 cm spiegelte sich der Düngereinsatz mit einer sechswöchigen Verzögerung wider (Abb. 34). Statistisch abgesicherte Unterschiede ($p \leq 0,005$) zwischen ungedüngten und gedüngten Brachevarianten konnten in dieser Tiefe bereits im Juni 1998 nachgewiesen werden. Diese Unterschiede blieben bis zum Ende der Untersuchungen bestehen (Tab. A45). Der Einfluß der Düngung konnte bis in die unterste Tiefenstufe (60 bis 100 cm) nachgewiesen werden (Tab. A45). Bis zum Oktober 1998 wurde ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,001$) zwischen den FB-Parzellen und den Ro/HB(ge)-Parzellen verzeichnet (Tab. A45). In den Sommermonaten 1996 und 1997 erreichte der $Norg_{(KCl)}$ Zunahmen am $Nt_{(KCl)}$ von bis zu 50 % (Abb. 35), hingegen kam es im Verlauf des Winterhalbjahres zu einer Abnahme dieser Fraktion am $Nt_{(KCl)}$ auf 30 %. Im Frühjahr und Sommer 1998 kam es in allen Tiefenstufen erneut zu einer Steigerung der $Norg_{(KCl)}$ -Anteile am $Nt_{(KCl)}$, so daß die Ausgangswerte von 1996 um über 10 % übertroffen wurden.

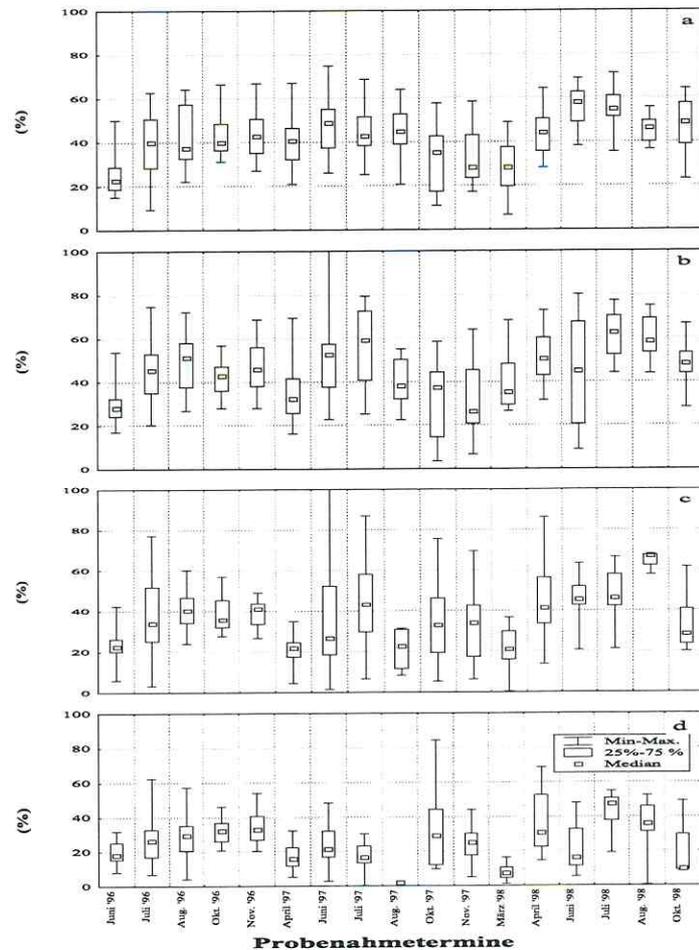


Abb. 35: $Norg_{(KCl)}/Nt_{(KCl)}$ -Verhältnis der ungedüngten Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Das Verhältnis von $Norg_{(KCl)}$ am $Nt_{(KCl)}$ unterlag im Verlauf der drei Untersuchungsjahre einer ausgeprägten jahreszeitlichen Dynamik (Abb. 36). Sehr deutlich wird die Zunahme dieses Verhältnisses bei den gedüngten Brachevarianten. Diese deutliche Zunahme des $Norg_{(KCl)}/Nt_{(KCl)}$ -Verhältnisses wird in allen vier untersuchten Tiefenstufen sichtbar (Abb. 36). Nach Zufuhr des anorganischen Düngers (NH_4NO_3) kam es zu einer Umwandlung zu KCl extrahierbaren organischen N-Verbindungen, welche in allen untersuchten Tiefenstufen bis zum Oktober 1998 auf relativ einheitlichem Niveau blieben (Abb. 36).

Sichtbar wird auch die in Kap. 3.2.4 diskutierte schnelle laterale Verlagerung von N-Verbindungen. Wie in Abb. 36 deutlich wird, scheint der $Norg_{(KCl)}$ davon betroffen zu sein. Dabei wird eine Tiefenverlagerung der aus dem mineralischen N-Dünger stammenden KCl extrahierbaren Norg-Verbindungen bis in eine Bodentiefe von 100 cm sichtbar. Der Effekt der Düngung kann bis zum Oktober 1998 in allen vier Tiefenstufen nachvollzogen werden (Abb. 36).

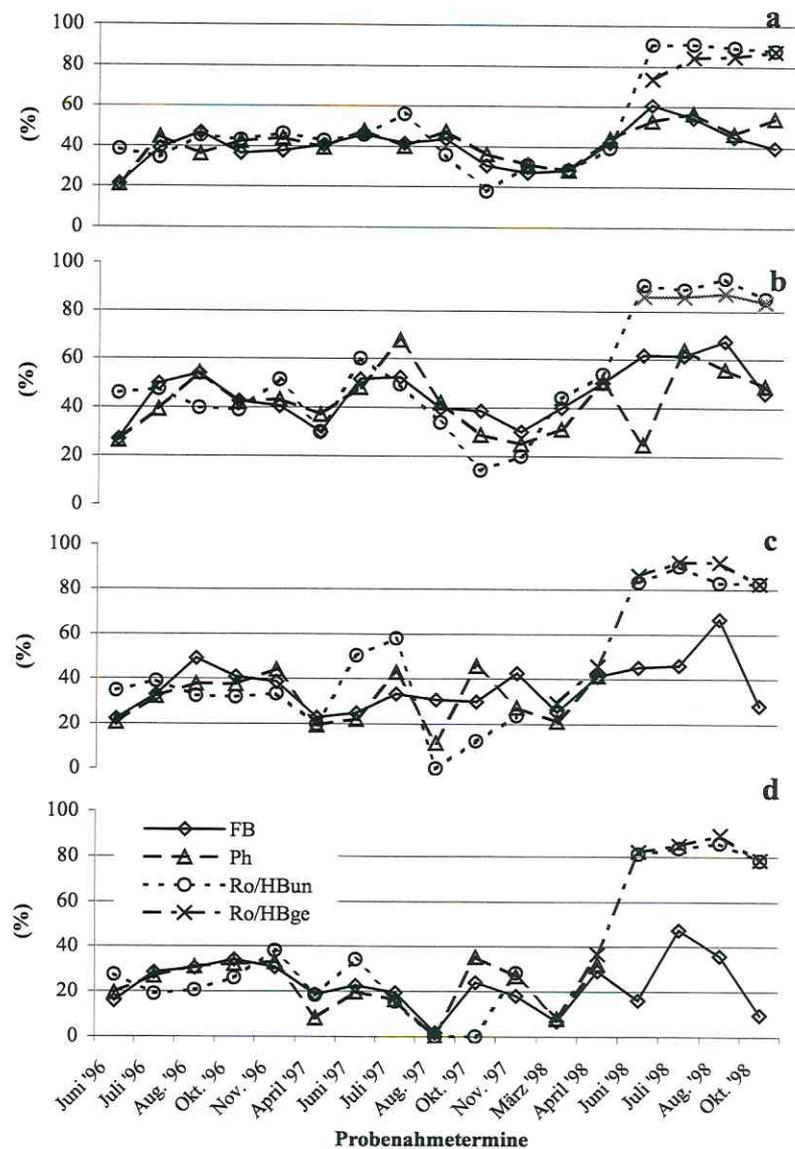


Abb. 36: $Norg_{(KCl)}/Nt_{(KCl)}$ -Verhältnis aller Brachevarianten in den Tiefenstufenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

3.2.8 Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) im Boden

Der Ammoniumstickstoff in den Oberböden zeigte einen ausgesprochenen jahreszeitlichen Gang (Abb. 37a und b) Diese Dynamik war in der Tendenz auch bis in eine Tiefe von 100 cm nachzuvollziehen, wenngleich in abgeschwächter Form (Abb. 37c und d). In den Sommermonaten der drei Untersuchungsjahre wurden geringere und im Frühjahr und Herbst höhere $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Werte gemessen.

Ammonium wird in neutralen bis schwach sauren Böden, soweit es nicht an bzw. in Tonmineralen sorbiert bzw. fixiert vorliegt, von Mikroorganismen zu NO_2/NO_3 oxidiert (Schmidt et al., 1985; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Im Juli 1997 wurden in 0 bis

10 cm Tiefe $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Gehalte von lediglich $0,4 \mu\text{g/g TS}$ gemessen, was einem $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Anteil von 0,09 % am Gesamtstickstoffgehalt des Bodens entspricht (Tab. A51). Zum Herbsttermin (November 1997) lagen die $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Gehalte erneut bei $2,4 \mu\text{g/g TS}$. Dies entspricht einem Anteil von 0,25 % am Nt (Tab. A51). Die jahreszeitliche Dynamik von Ammonium wurde auch von verschiedenen anderen Autoren beschrieben (Schmidt et al., 1985; Mengel, 1991; Asmus, 1994). Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten belegen, daß sich die Dynamik

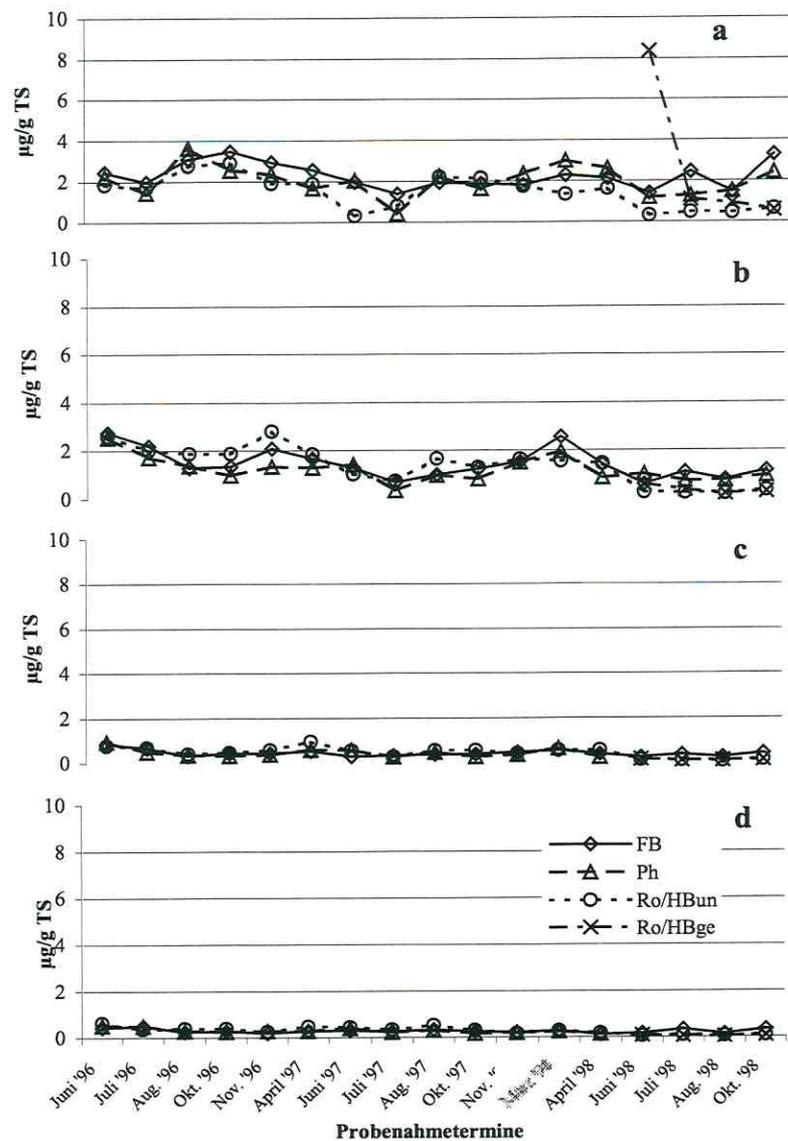


Abb. 37: $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

der NH_4^+ -N-Gehalte in Böden auch am prozentualen Anteil dieser N-Fraktion am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ widerspiegelt (Abb. A2 bis A4). Während der NH_4^+ -N zu den Frühjahrsterminen Anteile von 45 % am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ erreichte, lagen diese in den Sommermonaten nur noch bei 18 % (März 1998; Abb. A4). Die engen korrelativen Beziehungen (Nmic : $r_s = 0,80$; $p \leq 0,001$; Cmic : $r_s = 0,64$; $p \leq 0,01$) (Tab. A75 bis A158) zwischen den NH_4^+ -N-Gehalten und der mikrobiellen Biomasse in den Böden, die auch für diese Untersuchungsfläche unabhängig vom Brachemanagement und Düngungsregime nachgewiesen werden konnten, erklären sich aus der Rolle der Mikroorganismen bei der Mineralisierung und sind gut dokumentiert (Mengel, 1991; Gisi, 1996; 1997; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Der jahreszeitliche Gang der NH_4^+ -N-Konzentration im Boden läßt sich auch sehr gut zur mikrobiellen Biomasse in Beziehung setzen. So wurden gerade in den Monaten erhöhter NH_4^+ -Konzentrationen im Boden (Frühjahr und Herbst) hochsignifikante Korrelationen zum Nmic ($r_s = 0,58^{**}$ bis $0,80^{***}$) und signifikante Korrelationen zum Cmic ($r_s = 0,51^*$ bis $0,64^{**}$) gefunden (Tab. A75 bis A158). In den Monaten, in denen enge Beziehungen zwischen dem NH_4^+ -N und der mikrobiellen Biomasse im Boden auftraten, konnten auch Korrelationen zum NO_3^- -N festgestellt werden ($r_s = 0,46^*$ bis $0,80^{***}$). Nachweisbare Unterschiede zwischen den untersuchten Brachevarianten wurden nur an vereinzelt Terminen gefunden (Tab. A46). Interessanterweise traten diese Unterschiede hauptsächlich in den kühleren Monaten auf, zu einem Zeitpunkt, wo die Nitrifikation in der Regel langsamer abläuft als die Ammonifikation, was letztendlich zu einem Anstieg der NH_4^+ -Gehalte im Boden führte (Abb. 37).

Wurden im Frühjahr 1996 noch ein NH_4^+ -N-Vorrat von ~ 18 kg/ha (Tab. A32) errechnet, was einem Anteil von 0,4 % am Gesamt-N entspricht (Tab. A33), waren es im Oktober 1998 lediglich 12 kg/ha (0,2 %) (Tab. A36 und A37).

Die NH_4^+ -N-Konzentration wurde in entscheidendem Maße durch den Wassergehalt des Bodens beeinflusst. Enge Beziehungen zwischen beiden Kennwerten wurden während der Frühjahrs- und Herbstmonate herausgestellt ($r_s = 0,46^*$ bis $0,80^{***}$) (Tab. A75 bis A157). Dieser korrelative Zusammenhang wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (Hanschmann, 1983; Gisi, 1997; Scheffer und Schachtschabel, 1998), obwohl laut diesen Arbeiten die Bodentemperatur einen größeren Einfluß auf die Ammonifikation ausüben soll, als die Bodenfeuchte (Hanschmann, 1983). Auf dem Untersuchungsstandort in Kreinitz wurde der von Gisi (1997) für die Ammonifikation optimale mittlere Wassergehalt wahrscheinlich nur in den Winterhalbjahren erreicht.

Auch der pH-Wert übt einen nicht unbeträchtlichen Einfluß auf die Ammonifikanten aus (Schmidt et al., 1985; Mengel, 1991; Mengel, 1996; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Zwischen pH-Wert und NH_4^+ -N-Gehalt des Bodens wurden hauptsächlich in den Frühjahrs- und Herbstmonaten enge Korrelationen gefunden ($r_s = 0,55^*$ bis $0,76^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Im Untersuchungsjahr 1998 konnte ebenfalls der in der Literatur häufig beschriebene Effekt der Mineral-N-Düngung auf den pH-Wert des Bodens festgestellt werden (McAndrew und Malhi, 1992; v. Lützwow, 1993; Deubel, 1995; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die mineralische N-Düngung mit NH_4NO_3 bewirkte ein signifikantes Absinken des pH-Wertes um 0,7 pH-Einheiten (0 bis 10 cm) (siehe auch Kapitel 3.1.1.1) ($r_s = -0,99$; $p \leq 0,001$ im Juni 1998) (Tab. A 143). Dieser Trend konnte bis August 1998, wenngleich in abgeschwächter Form nachgewiesen werden ($r_s = -0,83$; $p \leq 0,05$) (Tab. A151).

Der NH_4^+ -N war während des gesamten Untersuchungszeitraumes eng bis sehr eng mit anderen untersuchten N-Verbindungen korreliert. Besonders auffallend waren dabei die sehr engen Korrelationen zum $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ ($r_s = 0,49^*$ bis $0,97^{***}$), und zum $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ ($r_s = 0,45^*$ bis $0,71^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Die strengen Beziehungen zu beiden N-Fractionen liegen vermutlich in deren wesentlichen Zusammensetzung aus Aminostickstoff- und Aminozuckerverbindungen und einer schnellen Desaminierung begründet (siehe auch Kapitel 3.2.10). Vergleichbare Ergebnisse wurden bereits von anderen Autoren festgestellt (Mengel und Schmeer, 1985).

Auch zu den verschiedensten C-Verbindungen, wie $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ ($r_s = 0,45^*$ bis $0,78^{***}$) und $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ ($r_s = 0,45^*$ bis $0,47^*$) konnten positive Korrelationen nachgewiesen werden (Tab. A75 bis A158). Sehr deutlich prägte sich die N-Düngung auf den NH_4^+ -N-Gehalt in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) aus (Abb. 37a). Im Juni 1998 wurden über $8 \mu\text{g NH}_4^+$ -N/g TS im Vergleich zu $1,6 \mu\text{g/g TS}$ zum davor liegenden Termin ermittelt. Damit erreichte der NH_4^+ -N nach der Düngung einen Anteil von 0,62 % am Nt- und 14,2 % am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt des Bodens. Dieser Anteil nahm allerdings sehr schnell ab, so daß im Oktober 1998 lediglich 7 % am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt registriert wurden (Abb. A5). Die Düngung führte möglicherweise kurzfristig zu einer Hemmung der Bodenmikroorganismen, da im Juni 1998 auf den gedüngten Flächen in der obersten Tiefenstufe eine negative Korrelation zwischen NH_4^+ -N und Nmic-Gehalt in den gedüngten Parzellen beobachtet wurde ($r_s = -0,94$; $p \leq 0,01$) (Tab. A143). Der über die Düngung ausgebrachte NH_4^+ -N wurde innerhalb von sechs Wochen vollständig nitrifiziert. Auch Beese et al. (1995) konnten eine sehr schnelle Nitrifikation ausgebrachter NH_4 -Dünger verzeichnen, welche nicht länger als 20 Tage dauerte. Da die NH_4^+ -N-Gehalte in der

Folgezeit signifikant unter jenen der anderen Brachevarianten lagen (Tab. A46), kann vermutet werden, daß die N-Düngung zu einem Umbau der Artenzusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft mit anschließendem sprunghaften Anstieg der Besiedlungsdichten (Mahn, 1988) nitrifizierender Bakterien im Boden führte. Diese Nitrifikantenpopulationen sind infolge für die rasche Nitrifikation des NH_4^+ -N verantwortlich (Berg und Rosswell, 1985). Auch Trolldenier (1990) konnte mit steigender mineralischer N-Düngung eine deutliche Vermehrung von Rhizosphärenbakterien feststellen. Diese Beobachtung wurde von Olf (1992) in einem Nmin-Düngungs-Gefäßversuch über die Zunahme des Gehaltes an mikrobieller Biomasse bestätigt. Die Düngung spiegelte sich in den Ergebnissen des Mann-Whitney-U-Tests bis zur untersten Tiefenstufe (60 bis 100 cm) wider (Tab. A46). Demnach scheint auch eine Auswaschung von NH_4^+ -N in das Grundwasser möglich, welche von Hartmann (1998) beschrieben wurde.

3.2.9 Nitratstickstoff (NO_3^- -N) im Boden

Zu Beginn der Untersuchungen im Juni 1996 wurden in der obersten Tiefenstufe der FB- und Ph-Pazellen (0 bis 10 cm) NO_3^- -N-Gehalte von knapp 20 $\mu\text{g/g}$ TS gemessen, während diese im Boden der Ro/HB-Variante Gehalte von lediglich 1 $\mu\text{g/g}$ TS erreichten (Abb. 38). Dieser Unterschied war signifikant (Tab. A46). Die geringen Gehalte in den Ro/HB-Parzellen sind durch die Abschöpfung des NO_3^- -N durch Roggen, welcher zu dieser Zeit in voller Blüte stand, zu erklären. Nach dem Begrünen der anderen Varianten konnte auch dort eine Abnahme des NO_3^- -N-Gehaltes auf Werte von 1 $\mu\text{g/g}$ TS innerhalb von 6 Wochen registriert werden.

Diese Abnahme wurde bis in

die Tiefenstufe von 60 bis 100 cm nachvollzogen (Abb. 38), jedoch mit einer sechs wöchigen Verzögerung (Abb. 38). Vermutlich wurde ein beträchtlicher Teil des NO_3^- -N in Bodentiefen > 1 m verlagert, wo er letztendlich der Auswaschung unterlag. Nach Angaben von Richter und Richter (1991) ist in einer Pseudogley-Parabraunerde unter Brache mit einer mittleren Nitratverlagerung von 40 cm in 2 Monaten zu rechnen. Es ist davon auszugehen, daß unter Sandböden eine größere NO_3^- -N-Versickerungsrate auftritt (Böttcher und Strebel, 1985; Men-

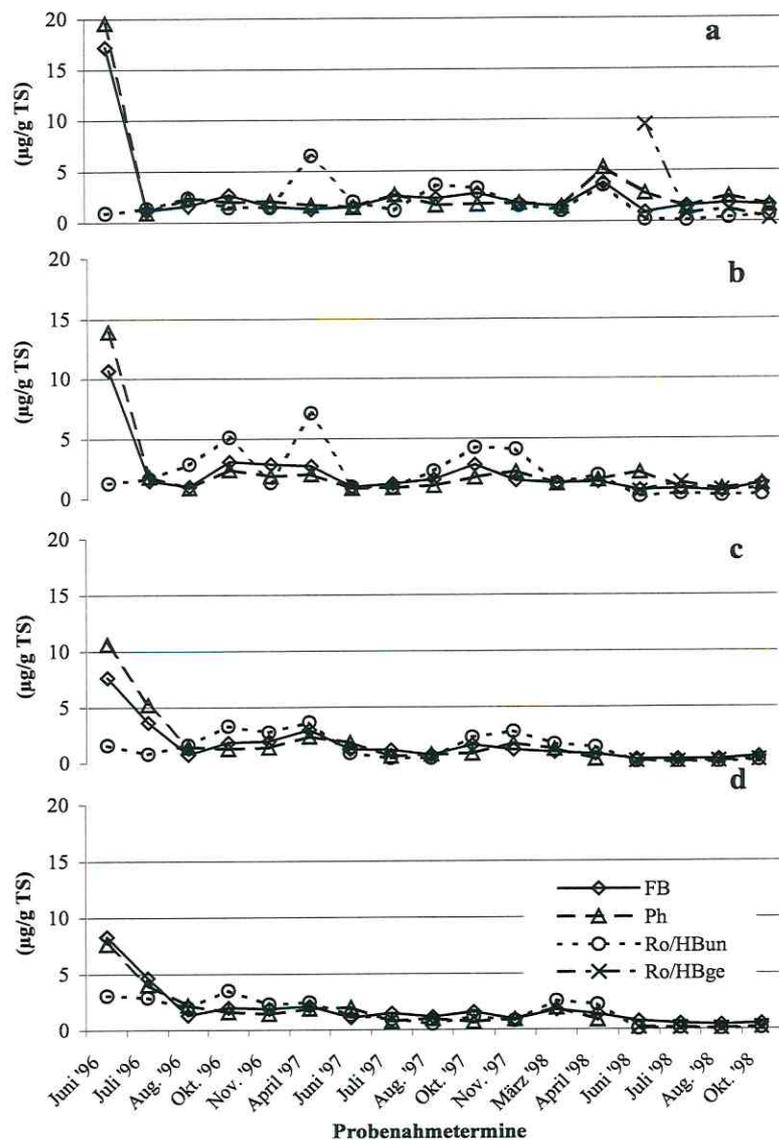


Abb. 38: NO_3^- -N-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

gel und Pilbeam, 1992; Hartmann, 1998). Auch Knappe und Keese (1997) berichten von einem anfänglich vergleichbar hohen Nitrataustrag (80 bis 200 mg/l) nach dem Brachfallen einer vorher intensiv landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Im weiteren Untersuchungsverlauf konnten zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine signifikanten Unterschiede der NO_3^- -N-Gehalte in den Böden festgestellt werden (Abb. 38, Tab. A47). Damit konnte auf diesem Standort die aus der Literatur bekannte Auswirkung verschiedenartiger landwirtschaftlicher Bodennutzung auf die nachlaufende Mineralisation nicht bestätigt werden (Jahn et al., 1994; Merbach und Sauerbeck, 1995;

Yilmaz, 1997). Die Nitratgehalte pegelten sich in allen vier untersuchten Tiefenstufen bei rund $1 \mu\text{g/g}$ TS ein. Lediglich während der Sommermonate konnte eine leichte Erhöhung festgestellt werden, was durch die günstigen Bodentemperaturverhältnisse und einer damit einhergehenden verstärkten Nitrifizierung erklärt werden könnte (Spörl, 1981; Franko, 1989).

Der NO_3^- -N-Vorrat betrug zu Beginn der Untersuchungen 114 kg/ha (Tab. A32) und hatte damit einen Anteil von $\sim 3 \%$ am Nt (Tab. A33). Nach drei Versuchsjahren konnten im Oktober 1998 lediglich $\sim 18 \text{ kg/ha}$, bezogen auf eine Bodentiefe von 100 cm errechnet werden (Tab. A36). Damit wurde ein Anteil von $0,5 \%$ am Gesamt-N deutlich (Tab. A37).

Die Abb. 39 macht deutlich, daß die NO_3^- -N-Gehalte in den Versuchsböden über den dreijährigen Zeitraum einer starken Streuung unterliegen, wobei die Variation im Unterboden deut-

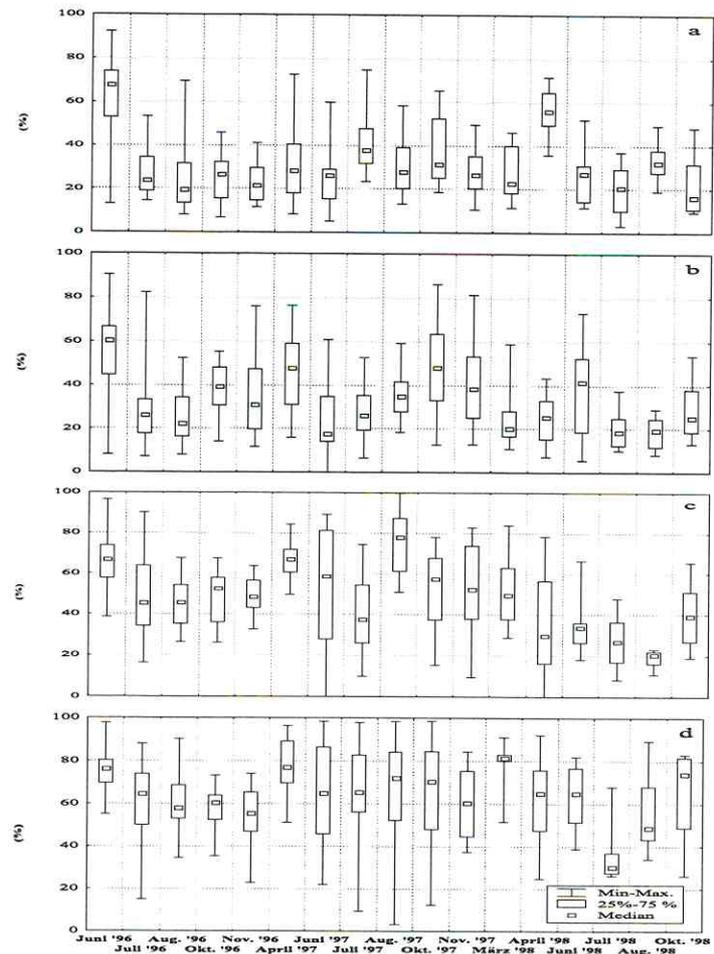


Abb. 39: NO_3^- -N/ $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Verhältnis in den Tiefstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

lich ausgeprägter ist als im oberen Solum. Dies kann einerseits aus der Inhomogenität des Untergrundes (Tab. A1) und andererseits auch aus der natürlich hohen Streuung dieses Parameters erklärt werden. Letztere liegt in den unterschiedlich vorherrschende Bedingungen der Nitrifizierung (Bodenfeuchte, Bodentemperatur, etc.) begründet (Dahiya et al., 1984; 1985; Anlauf et al., 1989; Widmer und Richter, 1989; Aufhammer et al., 1989).

Der Nitratgehalt korrelierte zu allen Zeitpunkten signifikant mit der Bodenreaktion ($r_s = 0,48^*$ bis $0,93^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Dies ist aus der pH-Abhängigkeit von nitrifizierenden Bakterien in ackerbaulich genutzten Böden erklärbar (Schmidt, 1985; Mengel, 1991; Gisi, 1997).

Seit langer Zeit ist die Abhängigkeit der Nitratbildung und damit der Nitratgehalte im Boden von der Feuchtigkeit bekannt (Sabey und Johnson, 1971; Campbell et al., 1974; Stanford und Epstein, 1974; Schmidt et al., 1985; Franko, 1989; Mengel, 1991; Yilmaz, 1997; Gisi, 1997). Auch auf dem Sandstandort Kreinitz konnten im allgemeinen signifikante Zusammenhänge zwischen NO_3^- -N-Gehalt und Bodenfeuchte ermittelt werden ($r_s = 0,45^*$ und $0,92^{***}$) (Tab. A75 bis A158).

Deutlich wurde auch eine enge Beziehung zwischen dem Nitratgehalt des Bodens und der mikrobiellen Biomasse ($r_s = 0,48^*$ bis $0,82^{***}$ für Cmic bzw. $r_s = 0,49^*$ bis $0,89^{***}$ für Nmic). Ähnlich wie beim NH_4^+ -N wurde auch für die NO_3^- -N-Fraktion nach der N-Düngung, im Juni 1998, eine negative Korrelation zum Cmic- und Nmic-Gehalt festgestellt (Cmic: $r_s = -0,89$; $p \leq 0,01$; Nmic: $r_s = -0,89$; $p \leq 0,05$) (Tab. A143). Möglicherweise sind diese Beobachtungen ein Ergebnis der strukturellen Veränderung der Bodenmikroflora infolge der Mineraldüngung, wie sie auch von verschiedenen anderen Autoren festgestellt werden konnte (Berg und Rosswell, 1985; Mahn, 1988; Trolldenier, 1988). Bei den drei danach erfolgten Probenahmeterminen konnten keine statistisch abgesicherten Korrelationen zwischen den Nitratgehalten und der mikrobiellen Biomasse festgestellt werden.

Desweiteren konnten signifikante Korrelationen zwischen dem NO_3^- -Gehalt und anderen Stickstofffraktionen im Boden herausgestellt werden. Die engen Beziehungen zum $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt wurden während der gesamten Untersuchungsperiode beobachtet ($r_s = 0,52^*$ bis $0,98^{***}$). Im Winterhalbjahr wurden höhere NO_3^- -N-Anteile am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ festgestellt (Abb. A2 bis A4). In der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) wurden im Juni 1996 NO_3^- -Anteile von 69 % und im August 1996 18 % ermittelt. Ein ähnlicher Trend wurde auch in den Jahre 1997

und 1998 beobachtet. Mit zunehmender Bodentiefe nahm auch der Nitratanteil am Gesamt-KCl-extrahierbaren N zu (Abb. A2 bis A4). Eine ähnliche Dynamik konnte auch in Beziehung zum gesamten Bodenstickstoff beobachtet werden. Wenn die Beziehungen zum Nt-Gehalt insgesamt auch weniger deutlich waren ($r_s = 0,51^*$ bis $0,89^{***}$), ist doch mit zunehmender Tiefe ein Anstieg des Nitratgehaltes am Nt erkennbar. Über die untersuchten Bodentiefen konnten so zum ersten Probenahmetermin im Juni 1996 Anteile von 3,05 % (0 bis 10 cm), 2,23 % (10 bis 30 cm), 3,78 % (30 bis 60 cm) und 5,23 % (60 bis 100 cm) erkannt werden (Abb. 39, Tab. A50). Da diese Zunahme nicht mit zunehmenden Nitratgehalten im Boden konform ging, kann diese prozentuale Zunahme mit zunehmender Tiefe nur mit der Abnahme des organischen Stickstoffs erklärt werden (Tab. A39 bis A41). Diese Tatsache ist durch den engen Zusammenhang des organisch gebundenen Stickstoffs zum Humus des Körpers erklärbar (Schmidt et al., 1985; Mengel, 1991; Scheffer und Schachtschabel, 1991).

Die Beziehung von NO_3^- -gehalten zum heißwasserlöslichen Stickstoff sind signifikant und werden mit zunehmender Brachedauer deutlicher (Tab. A75 bis A158).

3.2.10 Heißwasserlöslicher Stickstoff ($N_{t(HWL)}$) im Boden

Die Gehalte an heißwasserlöslichen Stickstoff hatten zu Beginn der Untersuchungen in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) im Boden der Ro/HB-Parzellen Gehalte von etwa 40 $\mu\text{g/g}$ TS. Damit waren sie signifikant niedriger als unter den anderen Brachevarianten ($p \leq 0,1$) (Tab. A49). Die Ursache hierfür kann eventuell in der zweimaligen Bodenbearbeitung im Frühjahr 1996 zur Unterdrückung der vormaligen Roggenkultur auf den anderen Brachevarianten gesehen werden, was eine Mineralisierung durch Sauerstoffzufuhr zur Folge hatte. Im Verlauf der dreijährigen Untersuchungen wurden nur sporadisch geringfügige Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten festgestellt, aus deren Muster keine Regel abgeleitet werden konnte. Aus diesem Grund wurden die Gehalte aller Brachevarianten zur Abschätzung dieser N-Fraktion im Boden zusammengenommen. In der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) war diese N-Fraktion sehr starken Schwankungen unterworfen (Abb. 40). Insgesamt fällt auf, daß im Verlauf des ersten Untersuchungsjahres eine leichte Abnahme der $N_{t(HWL)}$ -Gehalte zu verzeichnen war. Während zu Beginn der Untersuchungen etwa 50 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt wurden, waren es zum

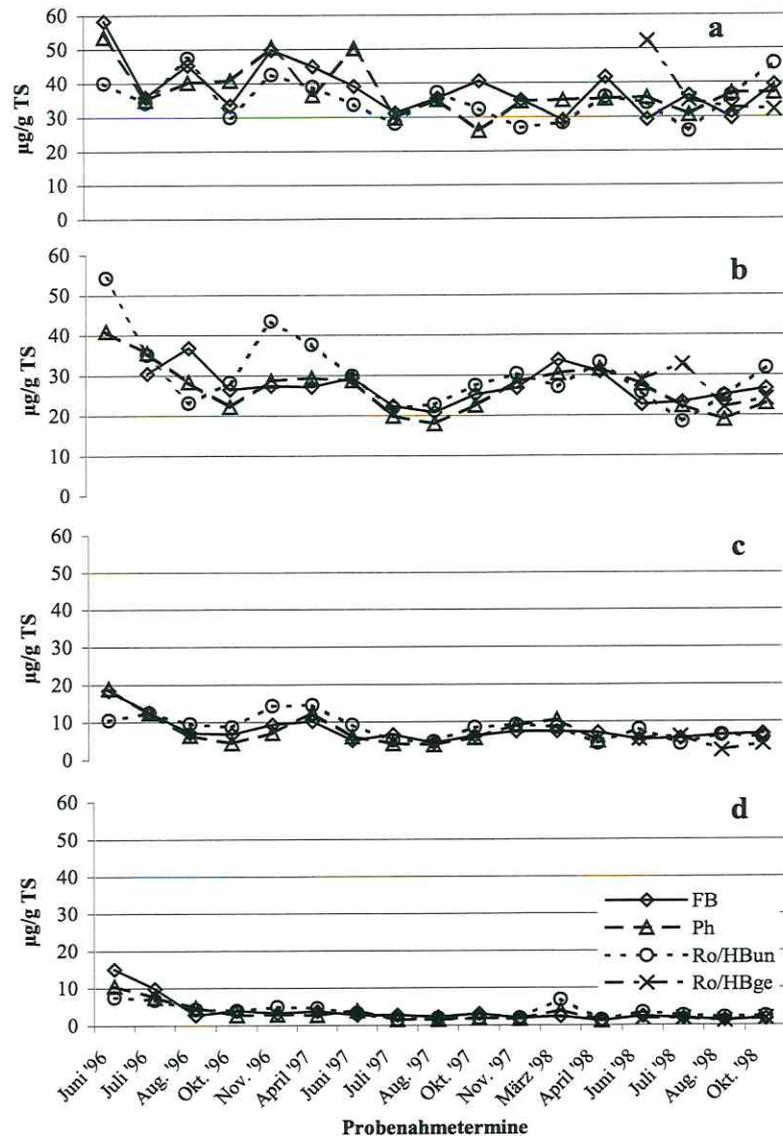


Abb. 40: $N_{t(HWL)}$ -Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

ersten Untersuchungsjahres eine leichte Abnahme der $N_{t(HWL)}$ -Gehalte zu verzeichnen war. Während zu Beginn der Untersuchungen etwa 50 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt wurden, waren es zum

letzten Probenahmetermin im Oktober 1998 etwa 40 $\mu\text{g/g}$ TS. Es wurde sichtbar, daß es während der Sommermonate aller drei Untersuchungsjahre zu einer unterschiedlich stark ausgeprägten Abnahme der Gehalte dieser N-Fraktion kam, welche im Verlauf des Winterhalbjahres wieder zunahm. Dies kann mit einem Mobilisierungsschub durch Temperaturanstieg erklärt werden, welcher diese N-Fraktion unterliegt. Diese Dynamik der sommerlichen Zunahme und Abnahme im Winterhalbjahr konnte in abgeschwächter Form bis in 100 cm Tiefe nachvollzogen werden. Es fällt ein deutlicher Tiefengradient für diese Fraktion auf (Abb. 40).

Im Frühjahr 1996 konnte ein $N_{t(\text{HWL})}$ -Vorrat von ~ 890 kg/ha errechnet werden (Tab. A32). Der Anteil am Gesamt-N betrug demnach fast 24 % (Tab. A 33). Im Oktober 1998 war der $N_{t(\text{HWL})}$ -Vorrat auf ~ 177 kg/ha abgesunken (Tab. A36) und machte nur noch ~ 3 % vom Nt aus (Tab. A37).

Einen deutlichen Einfluß hatte auch die Applikation von mineralischen N-Dünger auf diese N-Fraktion. So konnten zwischen der Ro/HB(ge)-Variante und den ungedüngten Brachevarianten im Juni 1998 in der obersten Tiefenstufe signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$) herausgestellt werden (Tab. A49), da die $N_{t(\text{HWL})}$ -Gehalte im Boden der Ro/HB(ge)-Variante deutlich höher waren (Abb. 40). Während dieser Düngungseffekt im Juli 1998 in dieser Tiefenstufe schon nicht mehr nachweisbar war, wurde er in der darunter liegenden Tiefenstufe (10 bis 30 cm) zu diesem Zeitpunkt erst sichtbar (Tab. A49). Im August 1998 waren in keiner der beiden oberen Tiefenstufen noch Einflüsse der Düngung zu verzeichnen. In den beiden unteren Tiefenstufen konnte kein Einfluß dieser Düngung registriert werden (Tab. A49).

Einen großen Einfluß auf diese N-Fraktion hatte die Bodenreaktion. So konnten nachweisbare Korrelationen für alle Tiefenstufen herausgefunden werden ($r_s = 0,54^*$ bis $0,83^{***}$).

Auch das Bodenwasser steht in sehr engen Zusammenhang zum $N_{t(\text{HWL})}$ ($r_s = 0,52^*$ bis $0,85^{***}$). Hier wurde mit zunehmender Dauer der Brache eine zunehmende Signifikanz deutlich (Tab. A75 bis A158).

Es wurden zu allen untersuchten N-Fractionen enge und sehr enge Beziehungen herausgestellt. Sehr eng ist das Wechselspiel zum Nitrat, zu dem während der ganzen Zeit Korrelationen gefunden wurden ($r_s = 0,48^*$ bis $0,81^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Nach der Düngerapplikation konnten Zusammenhänge von $r_s = 0,94$; $p \leq 0,001$ (Tab. A143) nachgewiesen werden.

Die Beziehung zum Ammonium ist auf die Frühjahrs und Herbstmonate beschränkt. Als mögliche Ursache wird der Anstieg des Ammoniums in diesen Monaten angesehen (3.2.8).

Auch zum $N_{org(KCl)}$ konnten nur sporadische Wechselwirkungen herausgestellt werden ($r_s = 0,49^*$ bis $0,50^*$) (Tab. A75 bis A158). Nach erfolgter N-Düngung wurde allerdings eine sehr enge Korrelation nachgewiesen ($r_s = 1,00$; $p \leq 0,001$) (Tab. A143).

Zum Gesamt-KCl-extrahierbaren N konnten hingegen engere Zusammenhänge aufgedeckt werden ($r_s = 0,45^*$ bis $0,89^{***}$). Auch hier wurde der Einfluß der N-Düngung deutlich, was sich in einem sehr hohen Korrelationskoeffizienten nach Spearman niederschlug ($r_s = 0,94$; $p \leq 0,001$) (Tab. A143).

Zum N_t wurden Zusammenhänge erkannt, die mit zunehmender Brachedauer signifikanter wurden (Tab. A75 bis A158). Auch hier wurde der Einfluß der N-Düngung deutlich sichtbar ($r_s = 1,00$; $p \leq 0,001$) (Tab. A143).

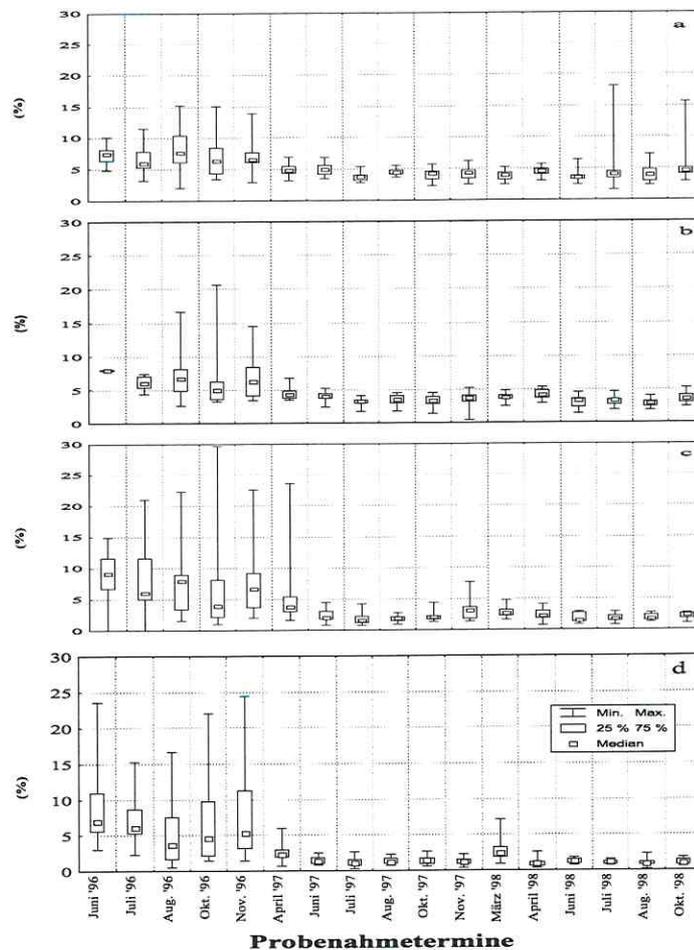


Abb. 41: $N_{t(HWL)}/N_t$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

Zu den untersuchten C-Verbindungen konnten unterschiedlich starke Zusammenhänge herausgestellt werden.

Sehr stark waren sie zur Fraktion des heißwasserlöslichen Corg ($r_s = 0,49^*$ bis $0,96^{***}$) (Kap. 3.2.3). Der Einfluß der erfolgten Düngung blieb beim Wechselspiel dieser beiden Komponenten aus. Die Beziehung zum organischen Kohlenstoff im Boden war im ersten Untersuchungsjahr kaum nachzuweisen ($r_s = 0,53^*$), nahm im Jahr 1997 zu ($r_s = 0,87^{***}$), um im darauffolgenden Jahr wieder leicht abzunehmen ($r_s = 0,66^{**}$). Erstaunlicherweise wurde der Einfluß der Düngung auf die Beziehung zu dieser C-Fraktion eindeutig herausgestellt ($r_s =$

1,00***) (Tab. A143). Die Bedeutung des Zusammenhanges zum $C_{org(KCl)}$ scheint sehr gering zu sein, da nur sporadische Korrelationen ohne Tendenzen erkannt wurden (Tab. A75 bis A158).

Zu den untersuchten mikrobiellen Fraktionen wurden die vielfältigsten Zusammenhänge herausgestellt. Am engsten sind die Korrelationen zum mikrobiell gebundenen Stickstoff ($r_s = 0,51^*$ bis $0,82^{***}$). Auch zum C_{mic} wurden signifikante Wechselwirkungen nachgewiesen, allerdings scheinen sie nicht so eng zu sein, da die Signifikanzen deutlich geringer lagen (Tab. A75 bis A158). Die Korrelationen zur Bodenrespiration scheinen auf diesem Standort vernachlässigbar gering zu sein.

Der heißwasserextrahierbare N

hatte zu Beginn der Untersuchungen in der obersten Tiefenstufe knapp 7,6 % am Gesamt-N im Boden. Dieser Anteil nahm im Verlauf der Untersuchungen auf rund 4,5 % ab (Abb. 42). Auch in den unteren Tiefenstufen konnte mit zunehmender Brachedauer eine Abnahme des $N_{t(HWL)}$ am N_t im Boden beobachtet werden. Auffallend ist die mit zunehmender Tiefe deutlich sichtbare Streuung der Werte, deren Ursache schon erläutert wurde (3.2.9). Das $N_{t(HWL)}/N_t$ -Verhältnis wurde von keinem Tiefengradienten gekennzeichnet. In allen vier Tiefenstufen konnten annähernd gleiche Relationen gefunden werden (Abb. 41).

Aus der Abbildung 42 wird deutlich, daß der heißwasserextrahierbare N in allen Tiefenstufen wesentlich größere Anteile am N_t einnimmt als der KCl-extrahierbare organische Stickstoff. Der $N_{t(HWL)}$ kann daher nicht als das von Olfs und Werner (1993) beschriebene Pendant zum

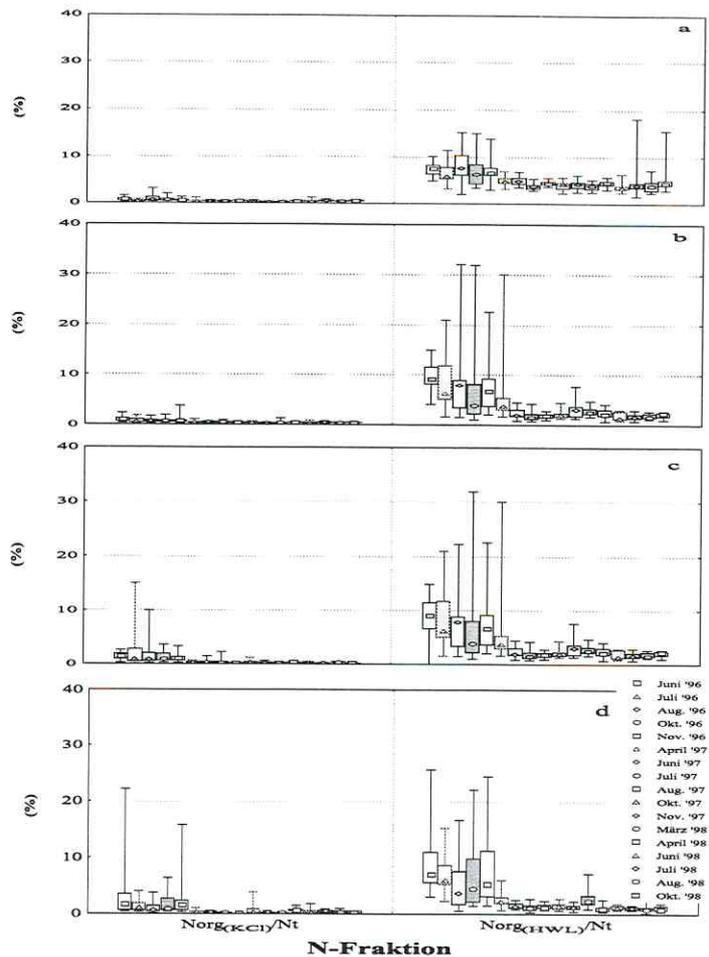


Abb. 42: Prozentuale Anteile von $N_{org(KCl)}$ und $N_{t(HWL)}$ am N_t in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d)

CaCl₂- bzw. KCl-extrahierbaren Norg betrachtet werden. Die Relationen des erfaßten Stickstoffs werden durch den $Norg_{(KCl)}/Nt_{(HWL)}$ -Koeffizienten deutlich (Tab. 7).

Tab. 7: $Norg_{(KCl)}/Nt_{(HWL)}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
0-10	10,3	7,1	10,3	10,2	7,0	7,4	7,0	8,3	10,6	6,6	4,7	4,8	8,0	11,7	12,7	9,6	10,4
10-30	11,4	7,8	8,3	12,2	8,1	7,9	9,6	12,2	9,4	8,7	6,6	7,4	8,2	7,2	13,5	11,7	9,0
30-60	14,9	12,1	13,8	23,9	14,4	7,6	11,1	12,1	7,7	10,1	9,1	5,3	12,0	8,4	12,3	18,0	7,5
60-100	19,5	19,7	19,5	29,5	27,8	14,9	14,1	8,9	2,2	16,6	18,2	4,5	60,5	9,2	36,4	17,0	11,1

Demnach wird sichtbar, daß der Anteil des KCl-extrahierbaren N am heißwasserlöslichen N mit zunehmender Tiefe in den Frühjahrs- und Herbstterminen zunimmt und im Sommer abnimmt. Diese jahreszeitliche Dynamik wird auch innerhalb einer Tiefenstufe deutlich. So kam es innerhalb eines Jahres immer zu einer Zunahme dieses Verhältnisses, welches dann zum Jahresende hin wieder abnahm. Auch wenn die Gehalte beider N-Fractionen im Laufe des Untersuchungszeitraumes abnahmen, blieb das Verhältnis beider zueinander recht stabil. Lediglich in den beiden unteren Tiefenstufen (30 bis 60 und 60 bis 100 cm) kann man von einem abnehmenden Trend sprechen. Schon 1979 wurde von Bronner und Bachler beschrieben, daß mit der Heißwasserextraktion auch die mikrobielle Biomasse im Boden mit einbezogen wird. Dies wird in neueren Arbeiten (Leinweber et al., 1995) bestätigt, in welchen davon ausgegangen wird, daß der $Nt_{(HWL)}$ stärker mit der mikrobiellen Biomasse als mit der organischen Bodensubstanz und den mineralischen Bestandteilen des Bodens korreliert.

Tab. 8: $(Norg_{(KCl)} + Nmic)/Nt_{(HWL)}$ -Verhältnis in den vier Tiefenstufen

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
0-10	43,8	66,1	65,6	108,8	61,2	87,7	83,5	48,1	53,2	66,0	62,9	118,7	76,5	54,0	127,5	85,2	101,0
10-30	48,0	72,1	95,8	148,9	93,9	121,2	115,1	72,1	87,8	91,6	71,9	118,0	89,7	69,6	182,2	120,3	207,0

Wenn man davon ausgeht, daß in der $Nt_{(HWL)}$ -Fraktion sowohl der KCl-extrahierbare Norg als auch der $Nmic$ inkorporiert ist, ist diese fraktionsübergreifende Dynamik von besonderem Interesse. Wie aus Tab. 8 sichtbar wird, beträgt die Summe aus $Norg_{(KCl)}$ - und $Nmic$ in den Frühjahrs- und Herbstmonaten über 100 %. Mit der Heißwasserextraktion werden also nicht alle Bestandteile dieser beiden N-Fractionen erfaßt. In den Sommermonaten hingegen beträgt der Anteil von $Norg_{(KCl)}$ - und $Nmic$ lediglich rund 50 % in der oberen Bodentiefe (0 bis 10 cm) und 70 bis 80 % in der darunter liegenden Beprobungstiefe (10 bis 30 cm). Diese Dy-

namik läßt den Schluß zu, daß sich der $N_{t(HWL)}$ zu unterschiedlichen Jahreszeiten in den unterschiedlichen Bodentiefen aus unterschiedlichen Bestandteilen zusammensetzt. Diese werden nach Bronner und Bachler (1979) und Leinweber et al. (1995) in Aminostickstoff, ammoniakalische Verbindungen und heterozyklische N-Verbindungen eingeteilt, welche ihren Ursprung in der mikrobiellen Biomasse der Böden und Wurzelexudaten und -lysaten haben. Man kann allerdings davon ausgehen, daß auf diesem Standort innerhalb dieser N-Verbindungen eine vielseitige Dynamik herrscht, durch welche die prozentuale Zusammensetzung des $N_{t(HWL)}$ nicht eindeutig bestimmt werden konnte.

3.3 Ergebnisse ausgewählter Untersuchungsgrößen des C- und N-Kreislaufes in Abhängigkeit vom Bodentyp

3.3.1 Organischer Kohlenstoff des (Corg) im Boden

Die Corg-Gehalte der Humosen Braunerde lagen in allen vier Tiefenstufen über den gesamten Untersuchungszeitraum in der Regel signifikant höher als im Boden der typischen Braunerde (Abb. 43, Tab. A53). So konnten zu Beginn der Untersuchungen im Juni 1996 im Boden der Humosen Braunerde (0 bis 10 cm) Gehalte von 8.235 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt werden, im Boden der typischen Braunerde waren es hingegen lediglich 7.545 $\mu\text{g/g}$ TS in derselben Tiefenstufe (Abb. 43). Bis zum Juni 1997 konnte ein leichter Anstieg der Corg-Gehalte im Boden beider Typen beobachtet werden. Dabei wurden Gehalte von 10.107 $\mu\text{g/g}$ TS in der Humosen Braunerde erreicht, die Braunerde kam auf 9.206 $\mu\text{g/g}$ TS. Diese Werte nahmen anschließend wieder leicht ab und stabilisierten sich bis zum Ende der Untersuchungen auf einem Niveau von rund 9.000 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 43).

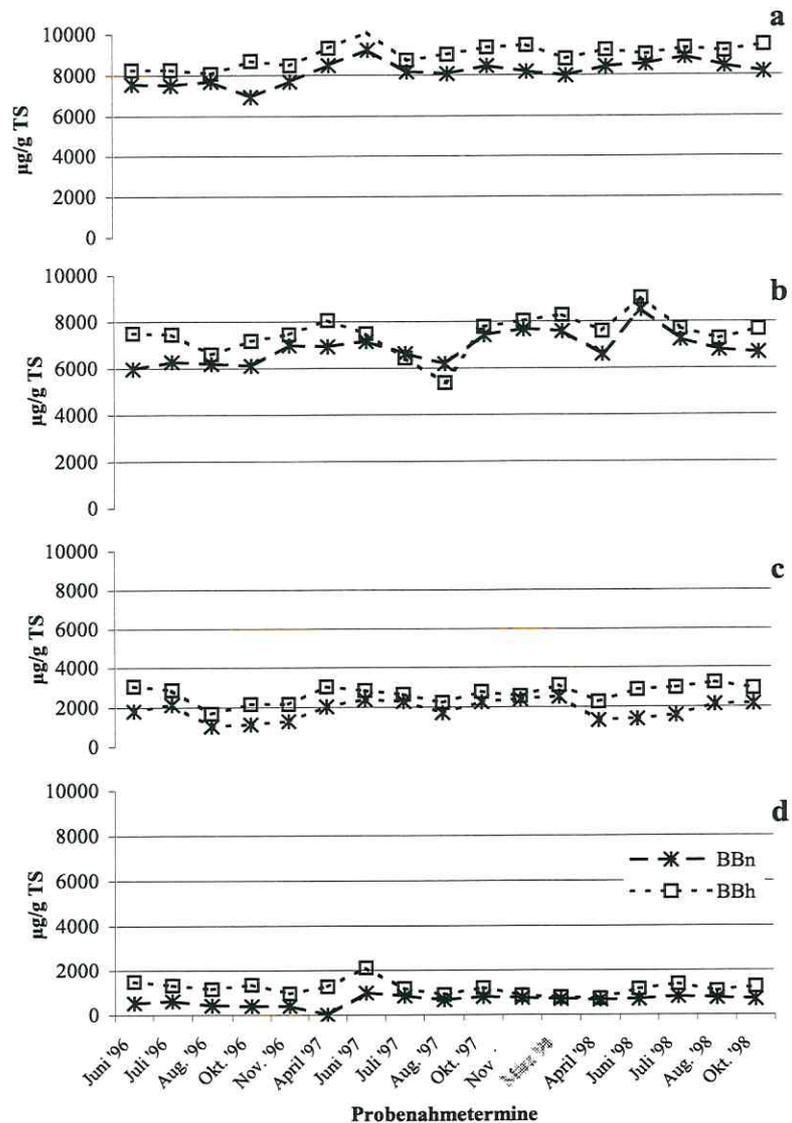


Abb. 43: Corg Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

Zu Beginn der Untersuchungen wurden in der Tiefenstufe 10 bis 30 cm Gehalte von 7.515 $\mu\text{g/g}$ TS im Boden der Humosen Braunerde und 5.960 $\mu\text{g/g}$ TS in der typischen Braunerde festgestellt. Damit wurde ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,025$) festgestellt. Statistisch abgesichert werden konnten diese Unterschiede jedoch lediglich bis Juli 1996 und von Juli bis Oktober 1997. Danach wurden sporadisch leicht signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) nachgewiesen, welche keinem bestimmten Trend folgten (Tab. A53).

Auch in der Tiefenstufe 30 bis 60 cm konnten über den gesamten Untersuchungszeitraum höhere Corg Gehalte der Humosen Braunerde gegenüber der typischen Braunerde festgestellt werden, welche in den meisten Fällen signifikant waren (Tab. A53). In einer Tiefe von 60 bis 100 cm konnte über den gesamten Zeitraum hinweg signifikante Unterschiede zwischen den beiden Bodentypen nachgewiesen werden (Tab. A53), wobei die Humose Braunerde immer höhere Corg-Gehalte aufwies. Die Werte bewegten sich dabei unter 2.000 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 43d).

3.3.2 Organischer Kohlenstoff des KCl-Extraktes ($C_{org(KCl)}$) im Boden

Die Dynamik der beiden Bodentypen ähnelt der in 3.2.2 beschriebenen Entwicklung in den vier Tiefenstufen (Abb. 44).

Wie aus der Abbildung 44 ersichtlich wird, sind die Gehalte an $C_{org(KCl)}$ im Boden der Humosen Braunerde fast während des gesamten Untersuchungszeitraumes höher als diejenigen der typischen Braunerde. Diese Aussage kann jedoch für die beiden oberen Tiefenstufen nicht immer statistisch gestützt werden (Tab. A54). Interessant ist die Zunahme der signifikanten Unterschiede zwischen beiden Bodentypen mit zunehmender Bodentiefe (Tab. A54). Dies deutet ähnlich wie beim C_{org} auf die Unterschiedlichkeit im Substrataufbau der verschiedenen Böden hin.

Die Unterschiede zwischen den beiden Bodentypen fallen bei dieser C-Fraktion nicht so deutlich aus wie beim C_{org} . Dies kann durch höhere Anteile stabiler organischer Stoffe in der humosen Braunerde erklärt werden.

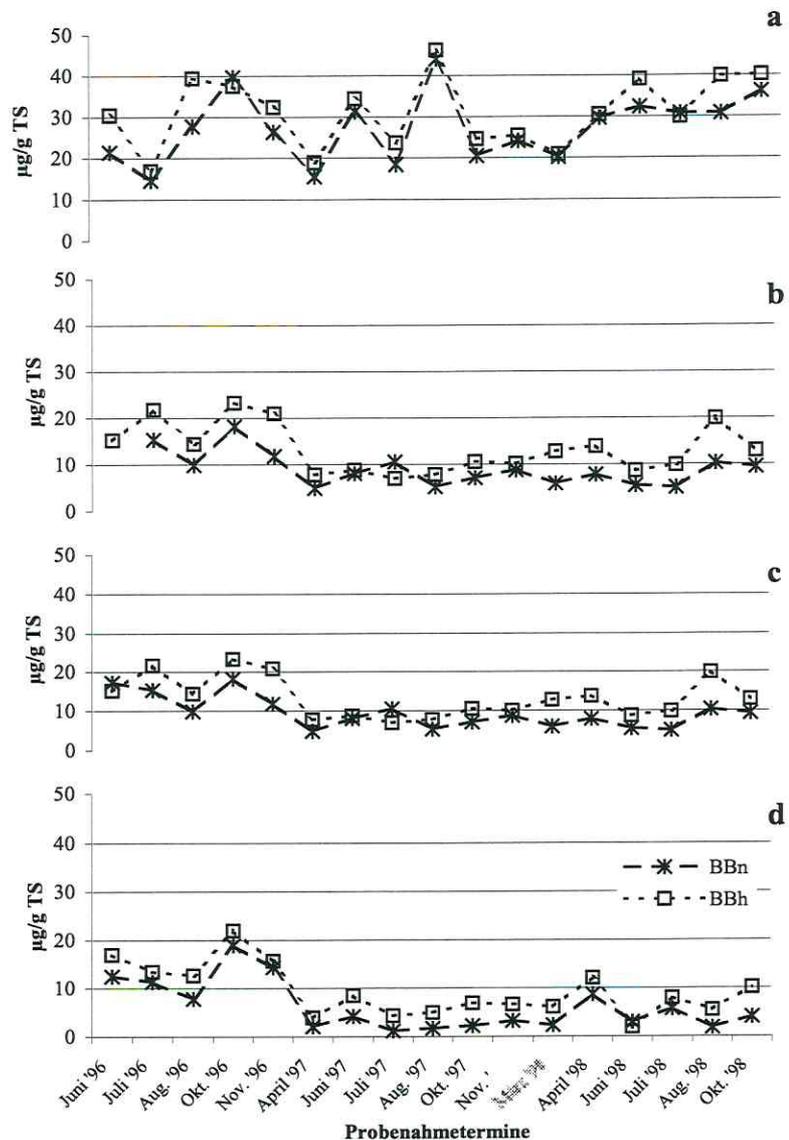


Abb. 44: $C_{org(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwerte der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

3.3.3 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff ($C_{org(HWL)}$) im Boden

In der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) nahmen im ersten Untersuchungsjahr die $C_{org(HWL)}$ -Gehalte in beiden Bodentypen ab (Abb. 45). So gingen die Gehalte der BBn von 342 $\mu\text{g/g}$ TS im Juni 1996 auf 227 $\mu\text{g/g}$ TS im Oktober 1996 zurück. Die BBh erreichte ihren Tiefpunkt mit $C_{org(HWL)}$ -Gehalten von 241 $\mu\text{g/g}$ TS bereits im August 1996. Insgesamt fällt auf, daß die typische Braunerde häufigeren Schwankungen unterworfen war als die Humose Braunerde, deren Gehalte in der Regel über denen der BBn lagen. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes wurden die Unterschiede immer offensichtlicher (Tab. A55), so daß während des gesamten Jahres 1998 signifikante Unterschiede in der obersten Tiefenstufe nachgewiesen werden konnten (Tab. A55).

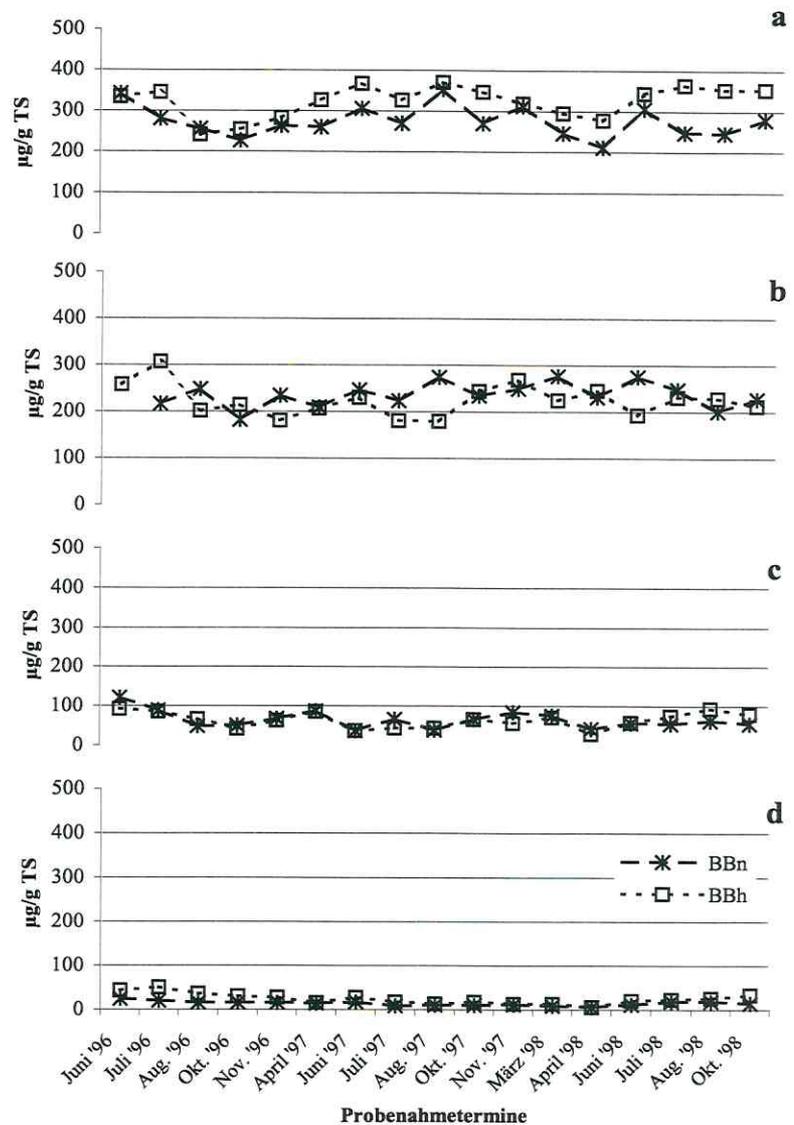


Abb. 45: $C_{org(HWL)}$ -Gehalte der in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwert der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

In der Tiefenstufe 10 bis 30 cm schwächten sich die Unterschiede zwischen BBn und BBh bei insgesamt geringen Gehalten deutlich ab. Die Überlegenheit der Humosen Braunerde bei den $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalten war nur zu Beginn der Untersuchungen im Juni 1996 erkennbar.

In den Unterböden bewegten sich die $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte um 70 bis 100 (30 bis 60 cm) bzw. 5 bis 50 $\mu\text{g/g}$ TS (60 bis 100 cm Tiefe) (Abb. 45). Unterschiede zwischen der typischen und der Humosen Braunerde scheinen nur bei an einigen Terminen bei insgesamt geringen Niveau auf (Tab. A55). In beiden Tiefenstufen fehlte ein deutlicher Trend im Laufe der drei Untersuchungsjahre.

3.3.4 Gesamtstickstoff (Nt) im Boden

Auch beim Gesamt-N konnte im Vergleich der beiden Bodentypen ein deutlicher Tiefengradient bis in den Unterboden hinein festgestellt werden (Abb. 46). Während des Untersuchungszeitraumes lagen die Nt-Gehalte der Humosen Braunerde in allen vier Tiefenstufen signifikant höher als in der Norm-Braunerde (Tab. A56). Die N-Dynamik wies in beiden Bodentypen einen vergleichbaren Ablauf auf (Abb. 46). Tendenziell nahmen die Nt-Gehalte über den dreijährigen Versuchszeitraum hinweg im Oberboden leicht zu. Wurden zu Beginn dieser Studie Gehalte von 605 bzw. 735 $\mu\text{g/g}$ TS in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) festgestellt, waren es im Oktober 1998 763 bzw. 943 $\mu\text{g/g}$ TS. Diese Erhöhung der Nt-Gehalte konnte hauptsächlich in den Oberböden festgestellt werden. Dies läßt die Vermutung zu, daß es sich bei der festgestellten Nt-Anreicherung hauptsächlich um organisches Material handelt, welches vorrangig in den

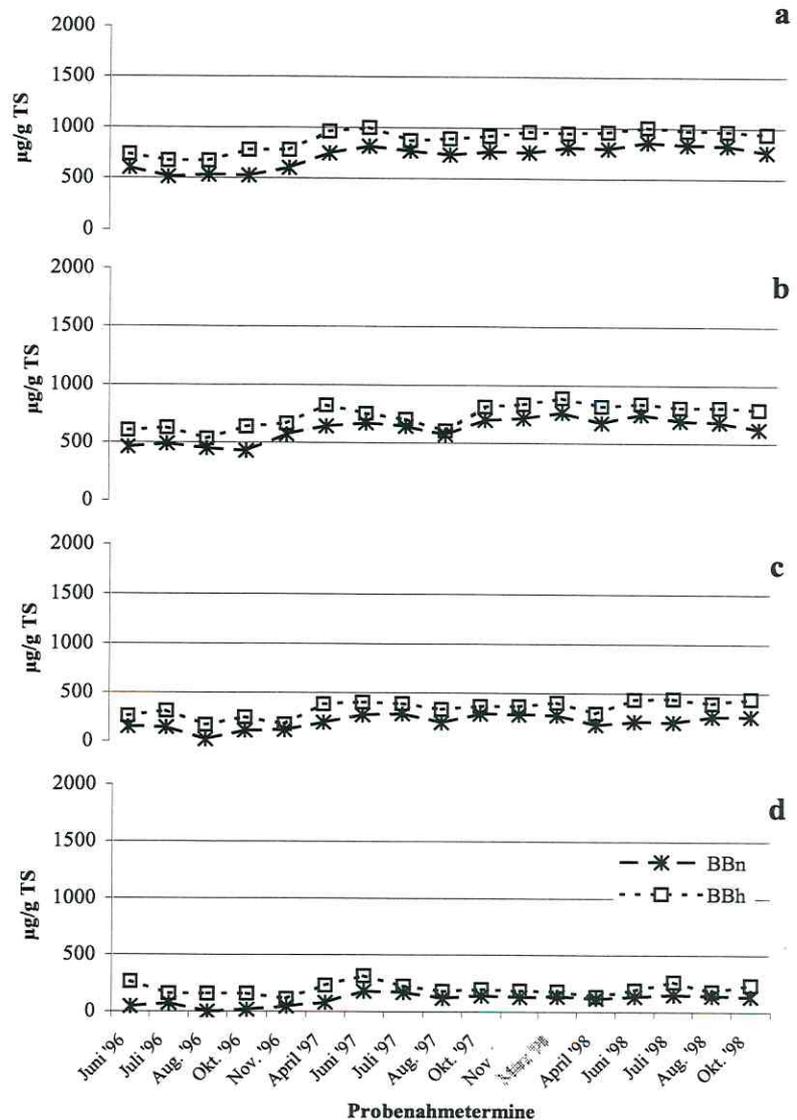


Abb. 46: Nt-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d) dargestellt als Medianwert der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

oberen Tiefenstufen akkumuliert wird. Die Anreicherung von organischen N-Verbindungen in den oberen Tiefenstufen wurde durch fehlende Bodenbearbeitung begünstigt, welche zu einer Abnahme der Mineralisierungsrate führte. In den Unterböden hingegen konnte dieser Trend nicht nachvollzogen werden. Als Ursache dafür kann das sehr inhomogene Bodenmaterial als auch das Erreichen der analytischen Nachweisgrenze gesehen werden.

3.3.5 Organischer Stickstoff (Norg) im Boden

Die Dynamik des organischen Boden-N verlief in Bezug auf die beiden untersuchten Bodentypen im allgemeinen entsprechend der für die verschiedenen Brachevarianten beschriebenen Entwicklung (Kap. 3.2.5). Im ersten Jahr war eine leichte Abnahme der Norg-Gehalte von 593 $\mu\text{g/g}$ TS auf 518 $\mu\text{g/g}$ TS im Boden der typischen Braunerde zu beobachten. Zum Frühjahr 1997 hin stiegen die Norg-Gehalte auf 743 (typische Braunerde) bzw. 951 $\mu\text{g/g}$ TS (Humose Braunerde) an und blieben bis zum Ende der Untersuchungen nahezu konstant. Diese Dynamik konnte in allen vier Tiefenstufen festgestellt werden, im Unterboden allerdings in sehr abgeschwächter Form. (Abb. 47). Die Humose Braunerde wies ähnlich wie bei den anderen N-Fractionen signifikant höhere Norg-Gehalte auf als die typische Braunerde (Tab. A57).

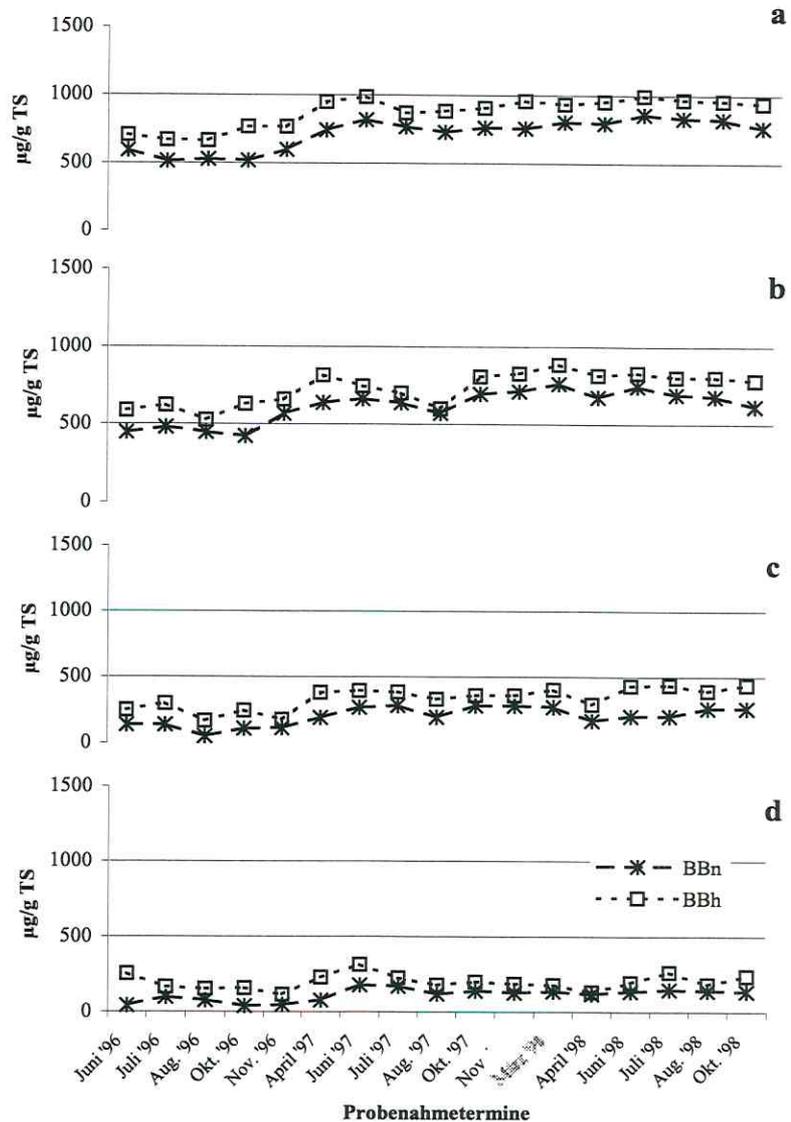


Abb. 47: Norg-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d), dargestellt als Medianwert der beiden Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

3.3.6 Gesamtstickstoff des KCl-Extraktes ($N_{t(KCl)}$) im Boden

Die $N_{t(KCl)}$ -Gehalte der Humosen Braunerde übertrafen mit $36,2 \mu\text{g/g TS}$ (0 bis 10 cm) bzw. $24,6 \mu\text{g/g TS}$ (10 bis 30 cm) jene in der typischen Braunerde ($16,8 \mu\text{g/g TS}$ in 0 bis 10 cm und $17,3 \mu\text{g/g TS}$ in 10 bis 30 cm) mit wenigen Ausnahmen (Abb. 48). Diese Unterschiede zwischen den beiden Bodentypen waren jedoch nur im Frühjahr und im Herbst der jeweiligen Untersuchungsjahre hochsignifikant ($p \leq 0,025$) (Tab. A58). Wie aus Abb. 48 ersichtlich wird, näherten sich die Gehalte des $N_{t(KCl)}$ mit zunehmender Bodentiefe immer weiter an. So konnten im Unterboden keine statistisch abgesicherten Unterschiede zwischen beiden Bodentypen ausgeschieden werden (Tab. A58). Der $N_{t(KCl)}$ unterlag in beiden Bodentypen einer vergleichbaren Dynamik, jedoch in der Norm-Braunerde auf einem insgesamt leicht niedrigeren Niveau. Auffallend ist die Abnahme der $N_{t(KCl)}$ -Gehalte in den beiden oberen Tiefenstufen innerhalb von sechs Wochen

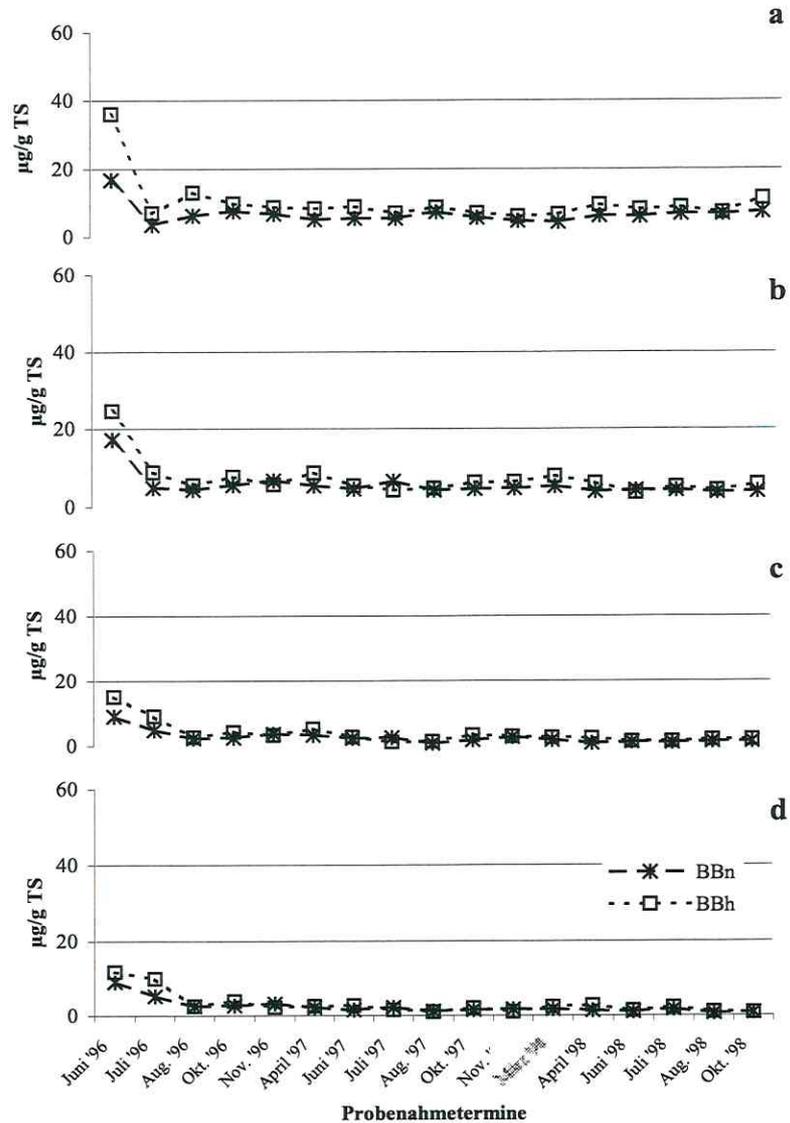


Abb. 48: $N_{t(KCl)}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d), dargestellt als Medianwert der beiden Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

nach Versuchsbeginn von 17 bzw. 36 $\mu\text{g/g}$ TS auf 4 bzw. 7 $\mu\text{g/g}$ TS. Dieses Niveau zog sich bis zum Ende der Untersuchungen durch. Auch in den Tiefenstufen 30 bis 60 und 60 bis 100 cm nahmen die $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte in einem Zeitraum von zwölf Wochen deutlich ab (Abb. 48).

3.3.7 Organischer Stickstoff des KCl-Extraktes ($\text{Norg}_{(\text{KCl})}$) im Boden

Zu Beginn der Untersuchungen konnten zwischen den beiden Bodentypen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,025$) im $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt festgestellt werden (Abb. 49, Tab. A59). Im weiteren Untersuchungsverlauf bewegten sich die $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte in beiden Bodentypen aufeinander zu. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt im Oberboden der Humosen Braunerde bereits während der landwirtschaftlichen Nutzung höher war als in der typischen Braunerde. Dies kommt in Unterschieden zwischen beiden Bodentypen im $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt unter anderem im Juni 1996 deutlich zum Ausdruck. Die festgestellten bodentypbedingten Unterschiede, die offensichtlich auf der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung beruhen, wurden durch das Brachfallen der Flächen aufgehoben (Abb. 49).

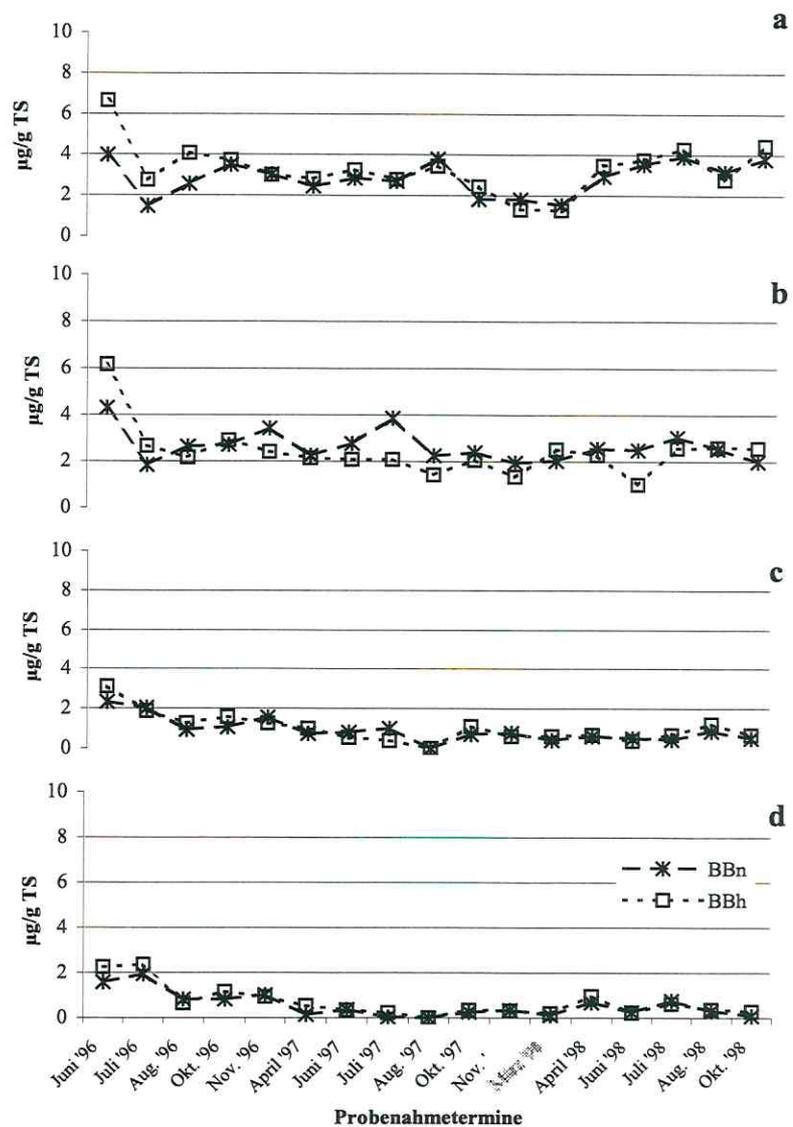


Abb. 49: $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d), dargestellt als Medianwert der beiden Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes pegelten sich die $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte im Oberboden (0 bis 10 cm) auf Werte um 2 bis 4 $\mu\text{g/g}$ TS ein. Auch bei dieser N-Fraktion konnte ein Tiefengradient in Form einer Abnahme der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte auf $< 1 \mu\text{g/g}$ TS in der Tiefe von 60 bis 100 cm (Abb. 49) beobachtet werden.

3.3.8 Ammoniumstickstoff (NH_4^+ -N) im Boden

Die Entwicklung des NH_4^+ -N in den beiden Bodentypen folgt im wesentlichen der in Kapitel 3.2.8 beschriebenen Dynamik. Insgesamt ist auffällig, daß die Humose Braunerde in den Frühjahrsmonaten signifikant höhere NH_4^+ -Gehalte in der obersten Tiefenstufe aufwies als die typische Braunerde (Abb. 50, Tab. A60). In den Sommermonaten erreichten die Werte ein einheitliches Niveau, bzw. es traten sogar vereinzelt niedrigere NH_4^+ -Gehalte im Boden der Humosen Braunerde auf. Dieser Verlauf läßt die Hypothese zu, daß in den Böden der Humosen Braunerde nitrifizierende Mikroorganismen günstigere Bedingungen vorfanden als in der Braunerde.

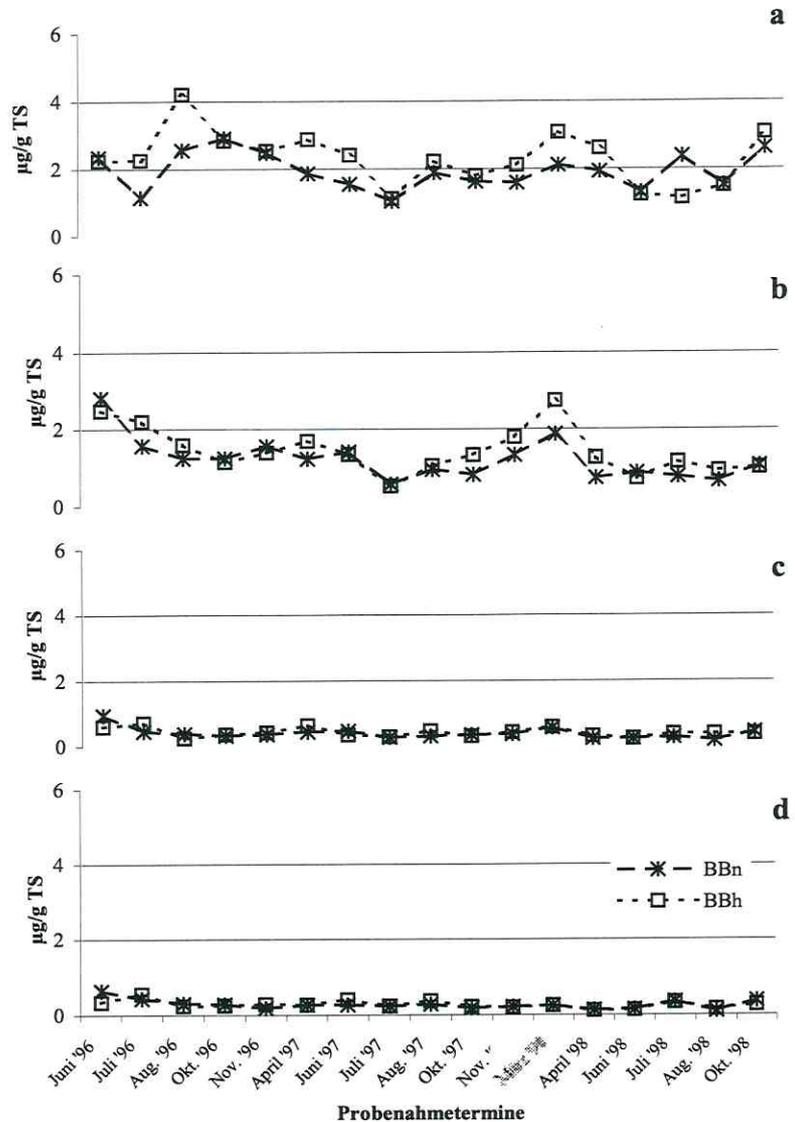


Abb. 50: NH_4^+ -N-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d), dargestellt als Medianwert der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

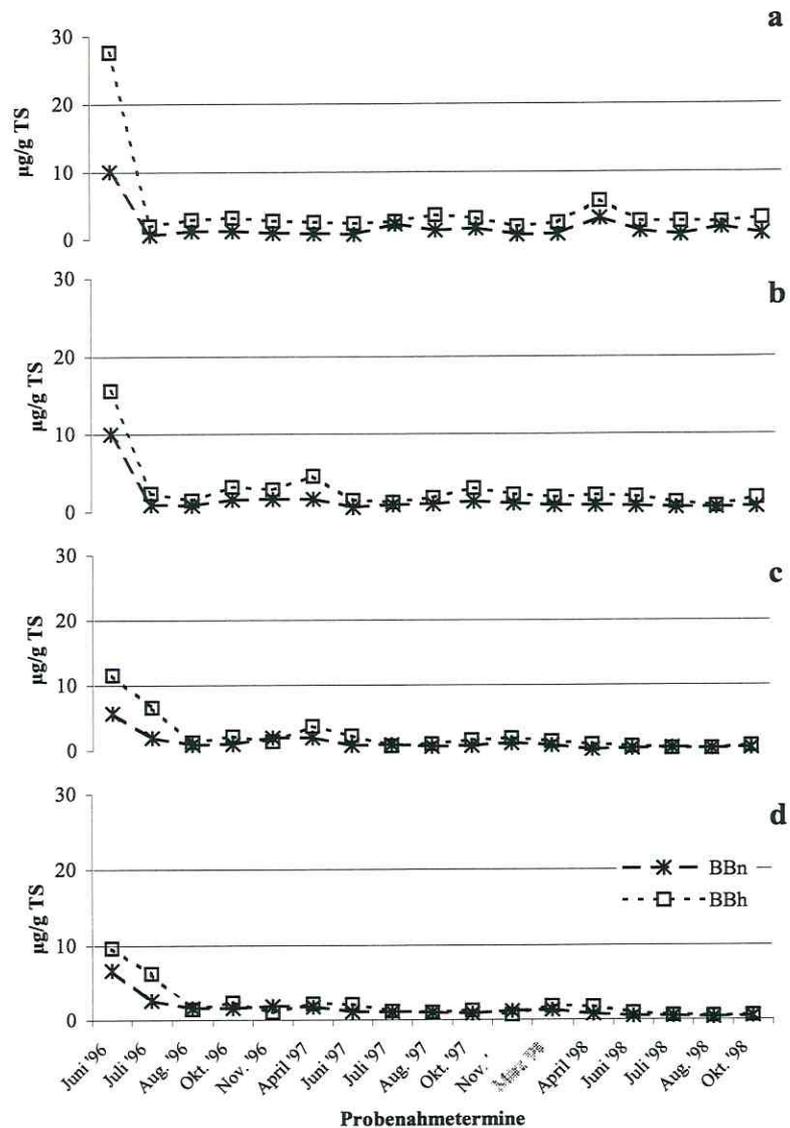
BBh = Humose Braunerde

Eine verstärkte Nitrifikation in den Sommermonaten würde den raschen NH_4^+ -N-Abbau erklären. Die starke Abhängigkeit der Ammonifikation und damit der NH_4^+ -N-Dynamik vom Substrat- bzw. Bodentyp wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (Schmidt et al., 1985; Mengel, 1996).

In beiden Bodentypen konnte ein Tiefengradient erkannt werden (Abb. 50). Ab einer Bodentiefe von 30 cm bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den NH_4^+ -N-Gehalten beider Bodentypen (Tab. A60).

3.3.9 Nitratstickstoff (NO_3^- -N) im Boden

Beim Vergleich des Nitratgehaltes der zwei untersuchten Bodentypen fällt auf, daß über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) signifikante Unterschiede bestehen (Abb. 51, Tab. A61). So konnten in den Böden der Humosen Braunerde NO_3^- -N-Gehalte bestimmt werden, welche im Schnitt zwischen 1 und 8 $\mu\text{g/g}$ TS über denen der Braunerde lagen. Allerdings nimmt die beschriebene Signifikanz mit zunehmender Brachedauer immer weiter ab (Tab. A61).



In den unteren Tiefenstufen konnten zu Beginn der Untersuchungen ebenfalls noch signifikant höhere Gehalte in der Humosen Braunerde gefunden werden (Abb. 51). Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes näherten sich die Gehalte beider Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

an, so daß keine gesicherten Unterschiede mehr festzustellen waren (Tab. A61). Lediglich in den Frühjahrsmonaten wurden in den Böden der Humosen Braunerde höhere Nitratgehalte als in der Braunerde bestimmt.

3.3.10 Heißwasserlöslicher Stickstoff ($N_{t(HWL)}$) im Boden

In der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) lagen die $N_{t(HWL)}$ -Gehalte in der Humosen Braunerde über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg signifikant höher als im Boden der typischen Braunerde (Abb. 52, Tab. A63). Die $N_{t(HWL)}$ -Gehalte waren in beiden Bodentypen starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. So ist bis in eine Tiefe von 60 cm eine Sommerdepression zu erkennen (Abb. 52). Insgesamt kann man innerhalb der drei Untersuchungsjahre nur von einer geringfügigen Abnahme

der $N_{t(HWL)}$ -Gehalte sprechen, wobei dieser Trend auf das erste Jahr begrenzt werden

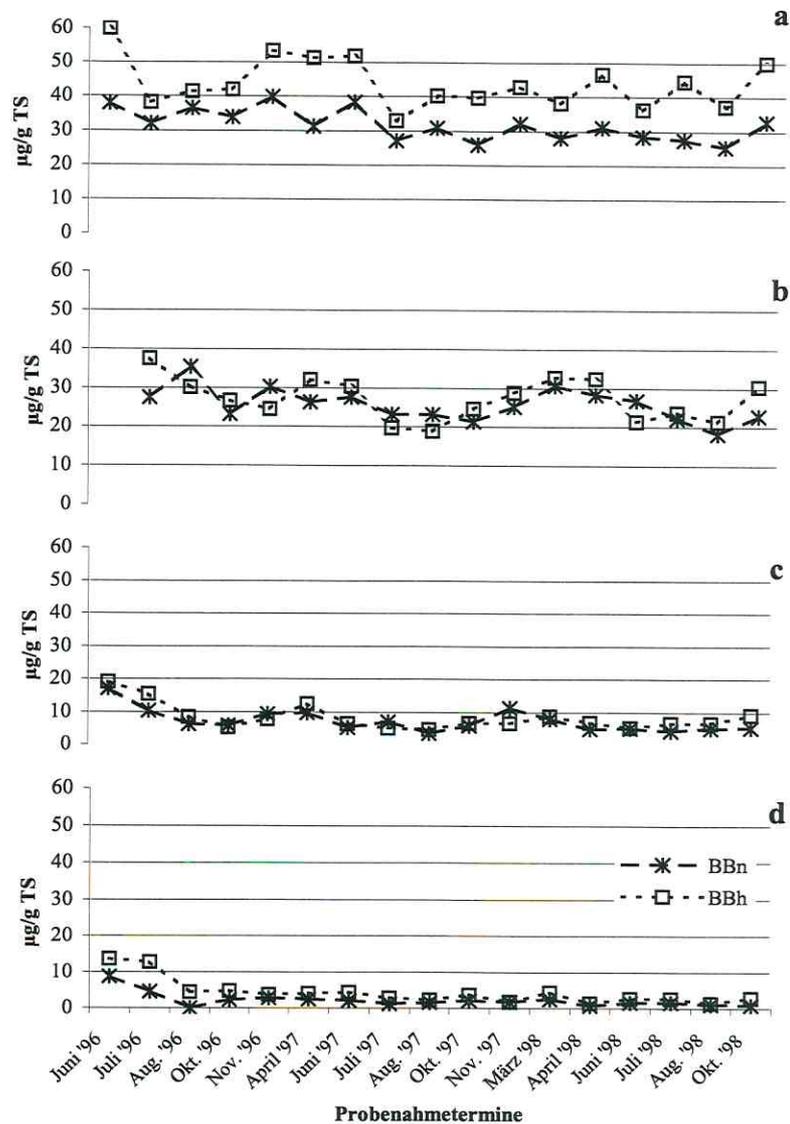


Abb. 52: $N_{t(HWL)}$ -Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), 10-30 cm (b), 30-60 cm (c) und 60-100 cm (d), dargestellt als Medianwert der beiden Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

kann, da es in den letzten beiden Jahren zu keinem weiteren Absinken mehr kam. Mit zunehmender Tiefe gleichen sich die Gehalte in beiden Bodentypen immer weiter an (Abb. 52). Auffallend war, daß die Humose Braunerde in den Tiefenstufen 10 bis 30 und 30 bis 60 cm lediglich in den Frühjahrs- und Herbstmonaten signifikant höhere Gehalte aufwies (Tab. A63). In der Tiefenstufe 60 bis 100 cm konnte über fast den gesamten Probenahmezeitraum signifikant ($p \leq 0,1$) höhere $N_{t(HWL)}$ -Gehalte in der Humosen Braunerde festgestellt werden (Tab. A63).

3.4 Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen in Abhängigkeit von verschiedenen Brachevarianten

3.4.1 Mikrobiell gebundener Kohlenstoff (Cmic) im Boden

Die mikrobielle Biomasse war ein Schwerpunkt dieser Arbeit, da sie als Quelle/Senke von C und Nährstoffen wie N, P und S in Böden fungiert (Joergensen, 1995). Der mikrobiell gebundene Kohlenstoff unterlag in der Tiefe von 0 bis 30 cm deutlichen jahreszeitlichen Schwankungen, welche verstärkt in den obersten 10 cm sichtbar wurden (Abb. 47). Im Untersuchungszeitraum 1996 bis 1998 konnten unabhängig von der Bodentiefe Maximalwerte von 250 μg Cmic/g TS in den Frühjahrs- bzw. von 230 μg Cmic/g TS in den Herbstmonaten festgestellt werden. In den Sommermonaten lagen die Cmic-Werte hingegen niedriger (Abb. 53).

Im Verlauf der drei Untersuchungsjahre wurde in beiden Tiefenstufen eine Verdopplung der Cmic Gehalte um 120 μg Cmic/g TS verzeichnet (Abb. 53). Das entspricht einem durchschnittlichen Anstieg des Cmic-Vorrates im Oberboden um 229 kg/ha bezogen auf eine Bodentiefe von 30 cm (Tab. A27). Diese Ent-

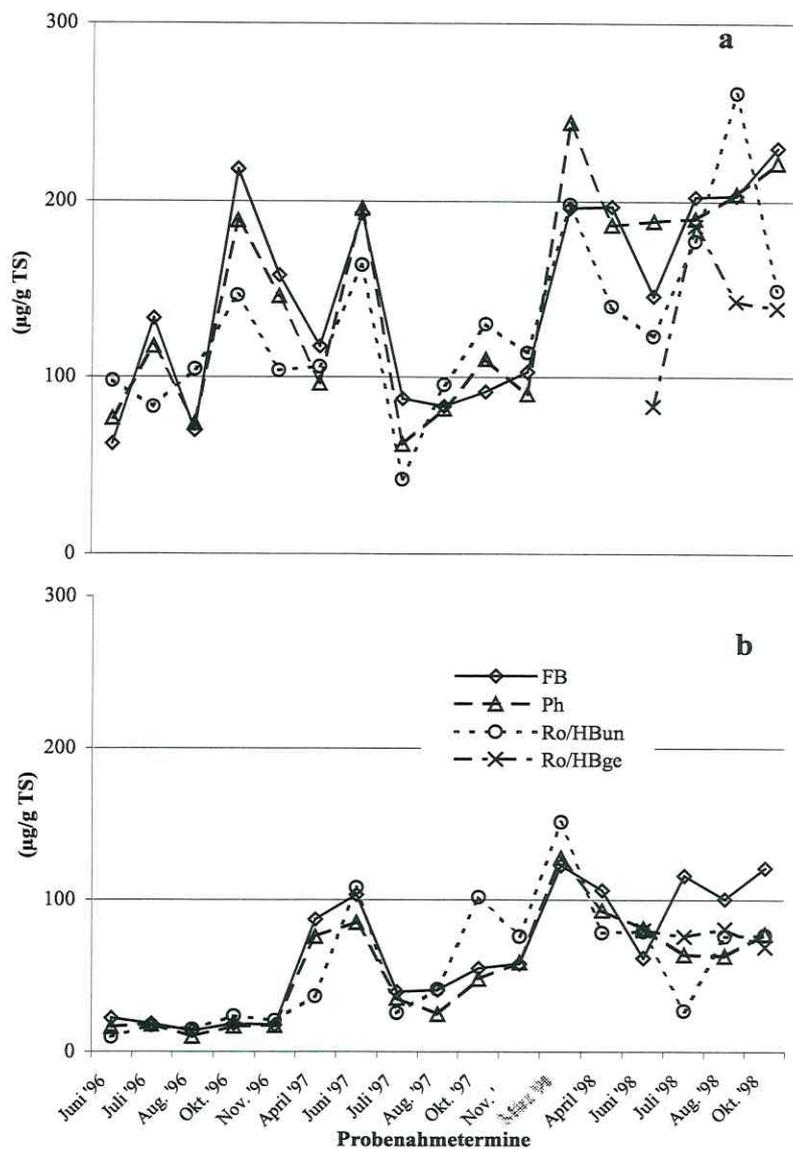


Abb. 53: Cmic-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), und 10-30 cm (b)

wicklung beruht wahrscheinlich auf einer Anreicherung von abgestorbenen Wurzeln und damit von leicht mineralisierbaren organischen Stoffen im Oberboden, die zu einer Stimulierung des mikrobiellen Wachstums führte. Dieser Effekt wurde bereits von verschiedenen anderen Autoren beschrieben (Lovell et al., 1995; Kandeler und Böhm, 1996; Kandeler et al., 1999).

Die verschiedenen Brachevarianten unterschieden sich nur zu Beginn der Untersuchungen signifikant voneinander ($p \leq 0,001$) (Tab. A64). Dabei waren im Boden der Ro/HB-Variante signifikant niedrigere Cmic-Gehalte zu beobachten als in den FB- und Ph-Varianten (Abb. 53a und b). Dieser Unterschied dürfte auf die relativ späte Bodenbearbeitung in den FB- und Ph-Varianten zur Bekämpfung des Wiederauflaufens des Roggens zurückzuführen sein. Im Juli 1996 wiesen die FB- und Ph-Parzellen signifikant höhere Cmic-Gehalte auf. Zurückzuführen ist dies vermutlich auf die eingearbeiteten Vegetationsrückstände durch die im Frühjahr 1996 erfolgte Bodenbearbeitung, welche im allgemeinen eine Förderung der mikrobiellen Aktivität bedingt.

Die im Frühjahr 1998 applizierte mineralische N-Düngung führte im Oberboden (0 bis 10 cm) zu signifikant ($p \leq 0,1$) niedrigeren Cmic Gehalten (Tab. A64). Ein Grund für die Abnahme der Cmic-Gehalte könnte im geringeren Angebot von leicht verfügbaren C-Quellen bedingt durch einen durch die Düngung verursachten Mineralisationsschub liegen, wie sie von verschiedenen Autoren nach Langzeitversuchen beschrieben wurden (Haider, 1975; Dilly und Munch, 1998). Andererseits ist auch eine Artenverschiebung der mikrobiellen Organismengemeinschaft durch die schlagartig veränderten Umweltbedingungen (mineralische N-Düngung) zu vermuten. Ähnliche Ergebnisse wurden von Mc Andrew und Mahli (1992) festgestellt. Bis zum folgenden Termin (Juli 1998) kam es zu einem Anstieg der Cmic-Gehalte, im Boden der gedüngten Ro/HB-Variante wurde jedoch im August 1998 eine erneute Abnahme verzeichnet. In 10 bis 30 cm Tiefe wurde kein Einfluß der N-Düngung auf den Cmic sichtbar (Abb. 53b).

Das Cmic/Corg-Verhältnis beschreibt den Anteil des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff im Boden. Der Cmic/Corg-Quotient bewegte sich auf diesem Standort während des gesamten Untersuchungszeitraumes zwischen 1 und 3 % in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm). Im Verlauf der Untersuchungen war ein leichter Anstieg des Quotienten zu verzeichnen (Abb. 54). In 10 bis 30 cm Tiefe lag das Cmic/Corg-Verhältnis mit Werten

von maximal 1,8 % immer unter den Werten der obersten Tiefenstufe. Insgesamt wurden hohe Standardabweichungen festgestellt.

Nach Joergensen et al. (1993) kann ein Cmic/Corg-Verhältnis von < 1 % als sicherer Hinweis auf eine Reduzierung des C-Umsatzes im Boden betrachtet werden. Demzufolge kann auf dem Standort Kreinitz an einigen Terminen von einem verminderten C-Umsatz ausgegangen werden. Die Aussagen in der Literatur, wonach in den Böden unter Brache mit einem verminderten C-Umsatz zu rechnen ist (Manzke et al., 1993; Machulla und Klose, 1996), werden durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt. Der Cmic/Corg-Quotient stieg im Gegenteil mit zunehmender Brachedauer. Verschiedene Autoren wiesen nach, daß die mikrobielle Biomasse schneller auf äußere Bedingungen wie z.B. landwirtschaft-

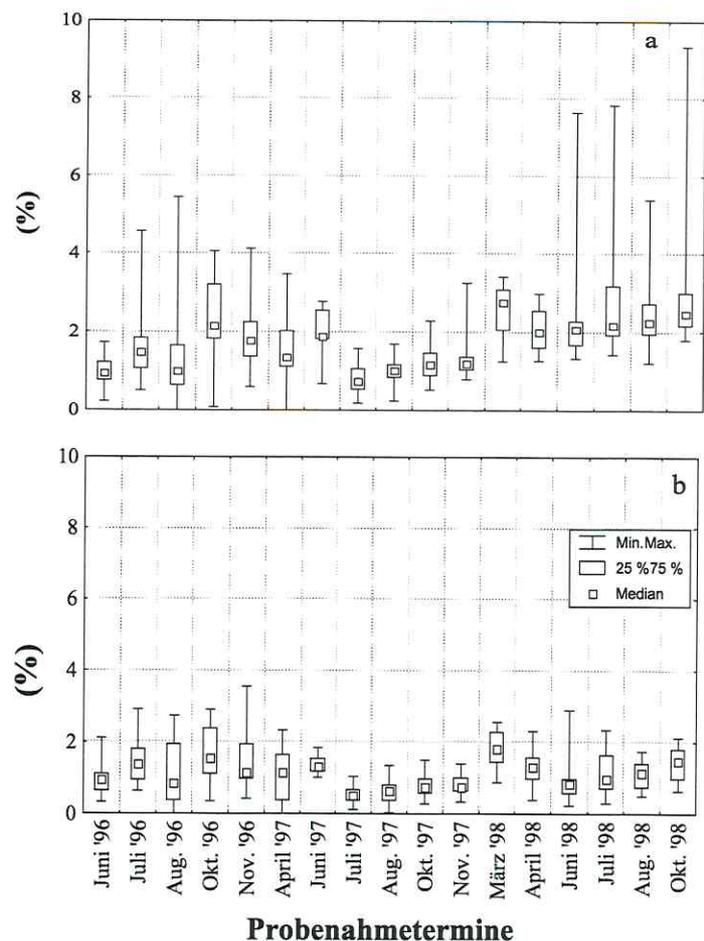


Abb. 54: Cmic/Corg-Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a), und 10-30 cm (b)

liches Bodenmanagement und Belastung mit Schadstoffen reagiert als der Humusgehalt des Bodens (Jenkinson und Ladd, 1981; Beck, 1984; Insam und Domsch, 1988; Haider, 1993; Bosatta und Ågren, 1994). Dies müßte sich auch im Cmic/Corg-Verhältnis des Bodens niederschlagen. Aus Abb. 54a wird deutlich, daß sich die jahreszeitliche Dynamik des Cmic-Gehaltes auch deutlich im Cmic/Corg-Verhältnis widerspiegelt. Während der Cmic-Gehalt in der Tiefenstufe 0 bis 10 cm zu Versuchsbeginn einen Anteil von 0,9 % am Corg-Gehalt des Bodens einnahm, erreichte dieser am Ende der Untersuchungen bereits 2,3 %. Dieser Trend war in der Tiefe von 10 bis 30 cm nicht nachzuweisen, obgleich die saisonale Dynamik der mikrobiellen Biomasse auch zu erkennen war (Abb. 54b). Der Wassermangel im Oberboden während der Sommermonate spiegelte sich in einem Cmic/Corg-Verhältnis von 0,9 % (Juni

1997) deutlich wider. Hingegen konnten im Herbst 1997 Anteile um 2 % beobachtet werden. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes bestanden enge Korrelationen ($r_s = 0,85^{***}$) zwischen dem C_{mic} und dem Bodenwassergehalt (Tab. A75 bis A158). Mit zunehmender Brachedauer nahm der Einfluß des Wassergehaltes des Bodens auf den C_{mic} -Gehalt zu (Tab. A75 bis A158). Lagen die Korrelationskoeffizienten nach Spearman zu Versuchsbeginn bei $r_s = 0,60^*$, erreichten diese zum Ende der Untersuchungen Werte von $r_s = 0,85^{***}$. Das läßt den Schluß zu, daß der Bodenwassergehalt einer Brache- fläche auf sandigem Substrat, wo andere Einflußfaktoren wie z.B. Bodenbearbeitung und Düngung ausbleiben, mit zunehmender Brachedauer zum dominierenden Faktor für die mikrobielle Biomasse im Boden wird.

Das $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Verhältnis spiegelt die Relation des mikrobiell aktiven C-Pools zu den potentiell abbaubaren C-Verbindungen wider (Deubel, 1995). Zwischen diesen beiden C-Fractionen konnte in der Regel während des dreijährigen Untersuchungszeitraumes keine enge Beziehung nachgewiesen werden (Tab. A75 bis 158). Eine Ausnahme bildet der Oktobertermin 1998 ($r_s = 0,58^{**}$). Demnach hatte auf diesem Standort die $C_{org(HWL)}$ -Fraktion nur untergeordnete Bedeutung für die Gehalte und Dynamik der mikrobiellen Biomasse.

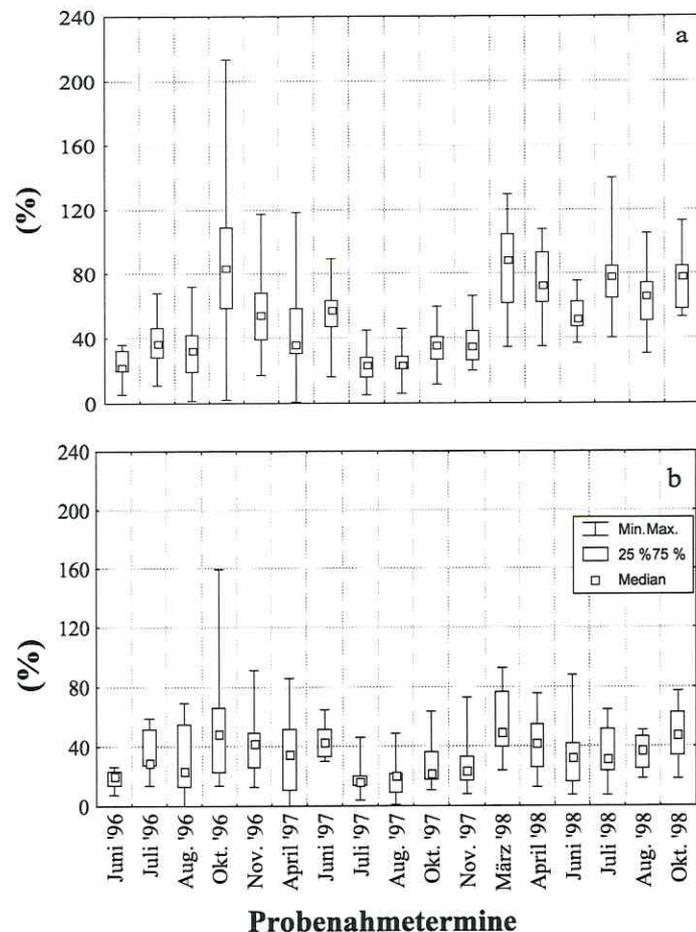


Abb. 55: $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

In den beiden untersuchten Tiefenstufen konnte ein jahreszeitlicher Trend des mikrobiell gebundenen C am $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Quotienten erkannt werden (Abb. 55). So wurden im Sommer in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) Anteile von ca. 40 % festgestellt, welche im letzten Untersuchungsjahr auf über 50 % anstiegen. In der darunter liegenden Tiefenstufe (10 bis 30 cm) lagen die Anteile im Sommer bei rund 20 %. In beiden stiegen die Anteile des mikrobiell gebundenen C am $C_{org(HWL)}$ im Herbst des jeweiligen Untersuchungsjahres an, um im Sommer des folgenden Jahres erneut abzunehmen. Die niedrigen Gehalte des mikrobiell gebundenen C in den Sommermonaten wurde auch durch diesen Quotienten widerspiegelt. Im Verlauf der drei Untersuchungsjahre kam es in beiden Tiefenstufen zu einem Anstieg des $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Verhältnisses, was eindeutig auf die Zunahme der C_{mic} -Gehalte zurückzuführen ist, da sich die $C_{org(HWL)}$ -Gehalte im Untersuchungszeitraum nicht ersichtlich veränderten (2.4.1.4.5).

Interessanterweise lagen einzelne $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Quotienten in den beiden Tiefenstufen in den Frühjahr- und Herbstmonaten der drei Untersuchungsjahre über 100 % (Abb. 55). Diese Beobachtung könnte die Hypothese stützen, wonach die mikrobielle Biomasse des Versuchstandortes zu diesen Terminen von Pilzpopulationen dominiert wurde. Diese zeichnen sich durch ein weites $(C/N)_{mic}$ -Verhältnis aus (Jenkinson, 1976; Anderson und Domsch, 1980; Campbell et al., 1991). Es ist bekannt, daß Pilze in den Zellwänden neben Cellulose auch verschiedenen Formen von Chitin (Cellulose-Chitin, Chitin-Chitosan, Chitin- β -Glucan, Chitin-Mannan) als Gerüstpolysaccharid ausbilden (Bartnicki-Garcia; 1968; Müller und Loeffler, 1992). Chitin ist ein Homopolysaccharid, zwischen dessen Glycanketten sehr starke intermolekulare Wasserstoffbrücken bestehen, an denen Hydroxy- und Amidgruppen beteiligt sind. Diese starken zwischenmolekularen Kräfte bedingen eine Unlöslichkeit von Chitin in Wasser (Jakubke und Jeschkeit, 1987), welche auch durch die thermische Reaktion nicht vollständig aufspaltbar sind. Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie ist zu vermuten, daß nicht alle Pilzhypen durch die Methode der Heißwasserextraktion, jedoch durch die Fumigation-Extraktionsmethode erfaßt wurden.

Sehr viel enger war die Beziehung von C_{mic} zum $N_{t(HWL)}$. Im allgemeinen bestanden über den gesamten dreijährigen Untersuchungszeitraum enge Korrelationen zwischen beiden Kennwerten. Diese nahmen bis zum Versuchsende zu ($r_s = 0,48^*$, August 1997 bzw. $r_s = 0,79^{***}$, Oktober 1998) (Tab. A75 bis A158).

Darüber hinaus waren deutlich positive Zusammenhänge zwischen dem Cmic und dem $N_{t(KCl)}$ der Böden nachweisbar ($r_s = 0,46^*$ bis $0,84^{***}$) (Tab. A75 bis A158). Die KCl-extrahierbare N-Fraktion hat demnach für die mikrobielle Biomasse auf diesem Standort eine große Bedeutung.

Die Beziehungen zwischen Cmic- und einzelnen Nmin-Fractionen des Bodens sind differenziert zu betrachten. Im allgemeinen bestanden keine Korrelationen zwischen Cmic und NH_4^+ -N-Gehalt des Bodens (Tab. A75 bis A158), wohingegen zum NO_3^- -N signifikante Beziehungen nachgewiesen wurden. Letztere verstärkte sich mit zunehmender Brachedauer ($r_s = 0,48^*$, August 1996 bzw. $r_s = 0,81^{***}$, Oktober 1998).

Über den ganzen Untersuchungszeitraum bestanden sehr enge Korrelationen zwischen Cmic und Nmic. Dieser Zusammenhang verstärkte sich mit zunehmender Brachedauer ($r_s = 0,60^{**}$, Juni 1996 bzw. $r_s = 0,95^{***}$, August 1998). Die Aufweitung des (C/N)mic-Verhältnisses mit zunehmender Brachedauer (Tab. 9) deutet auf eine Verschiebung der Artenzusammensetzung innerhalb der Mikroorganismengemeinschaft zugunsten von Pilzpopulationen hin (Paul und Clark, 1989; Joergensen et al., 1994; Gisi, 1997).

Tab. 9: C/N(mic) - Verhältnis in den zwei Tiefenstufen (Median, n = 20)

Tiefe (cm)	1996					1997					1998						
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug	Okt.
0-10	4,5	4,8	3,0	4,9	5,1	3,9	5,9	5,1	5,4	5,0	5,7	6,1	6,4	11,8	5,9	7,9	6,1
10-30	3,5	4,5	3,5	4,4	5,0	4,4	6,6	8,8	3,4	4,9	6,7	6,6	5,7	7,6	5,1	6,4	6,6

Ein Zusammenhang zwischen Cmic-Gehalt und dem pH-Wert des Bodens, welcher von verschiedenen Autoren beschrieben wurde (Ladd, 1985; Kowalczyk und Schröder, 1988; Gehlen und Schröder, 1989), konnte auch für diesen Sandstandort nachgewiesen werden. Besonders deutlich wird die pH-Wert-Abhängigkeit der mikrobiellen Biomasse jeweils in den Frühjahrsmonaten der Untersuchungsjahre ($r_s = 0,85^{***}$, April 1998) (Tab. A75 bis A158).

Zwischen Cmic und Basalrespiration konnte in den Frühjahrs- und Herbstmonaten der Untersuchungsjahre signifikante Korrelationen nachgewiesen werden ($r_s = 0,82^{***}$) (Tab. A75 bis A158).

3.4.2 Mikrobiell gebundener Stickstoff (Nmic) im Boden

Im Verlauf der Untersuchungen unterlag der Nmic ähnlich dem Cmic-Gehalt des Bodens sehr starken saisonalen Schwankungen. Entsprechend der Entwicklung der Cmic-Gehalte erreichten die Nmic-Gehalte in der Regel in den Sommermonaten ihre Minima und in den Herbst- und Frühjahrsmonaten ihre Maxima (Abb. 56). Dabei waren die Nmic-Gehalte in der unteren Tiefenstufe (10 bis 30 cm) geringeren Schwankungen wie in den oberen 0 bis 10 cm unterworfen (Abb. 56b).

Die mineralische N-Düngung im Frühjahr 1998 zeigte eine sehr schnelle und zum Teil auch überraschende Wirkung. Unmittelbar nach der N-Düngung wurden „negative“ Nmic-

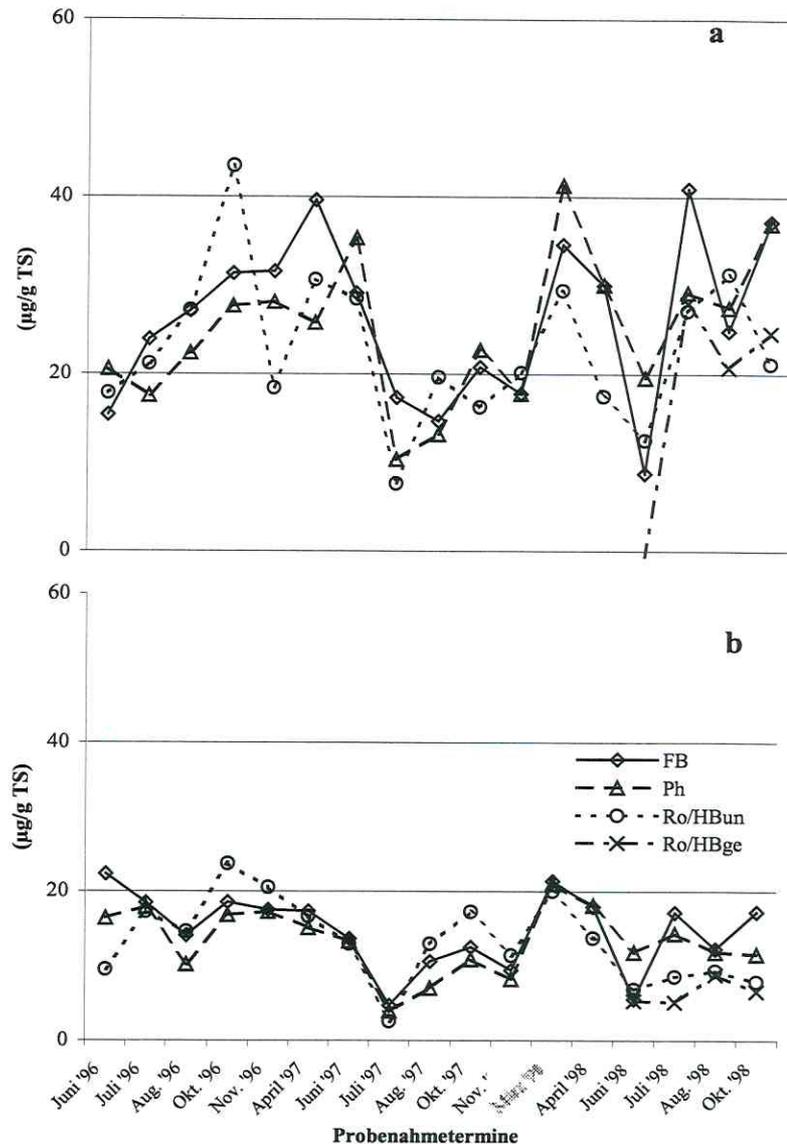


Abb. 56: Nmic-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

Als Ursache dafür kann der hohe Anteil von minerali-

schon N im Boden angesehen werden, welcher die Messung des mikrobiell gebundenen N direkt beeinflussen kann (Widmer et al., 1989; Joergensen et al., 1994). Der Nmic-Gehalt war im Juni 1998 im Boden der gedüngten Parzellen signifikant niedriger ($p \geq 0,025$) als in den ungedüngten Parzellen (Tab. A65). Ähnliche Ergebnisse konnten McAndrew und Malhi (1992) feststellen. Zum darauffolgenden Probenahmetermin konnte in der obersten Tiefenstu-

fe zwischen gedüngten und ungedüngten Parzellen kein Unterschied mehr festgestellt werden. Jedoch wurde ein schwacher Düngungseffekt im Juli 1998 in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm deutlich (Tab. A65).

Die ungedüngten Brachevarianten unterschieden sich, abgesehen von wenigen Ausnahmen, nicht voneinander (Tab. A65), so daß im folgenden die Mittelwerte aus allen Brachevarianten diskutiert werden.

Der Nmic/Nt-Quotient gibt Aufschluß über die Menge des in der mikrobiellen Biomasse immobilisierten N am Gesamt-N im Boden und damit über die Substratverfügbarkeit und die Dynamik der organischen Bodensubstanz. Die oben beschriebene Dynamik des Nmic spiegelt sich auch deutlich im Nmic/Nt-Quotienten wider, allerdings bei zum Teil extrem hohen Streuungen. Im Winterhalbjahr 1996 konnten Quotienten von bis zu 5,9 % in der Tiefenstufe von 0 bis 10 cm und von 3,6 % in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm ermittelt werden. Im Sommer 1997 sanken die Quotienten auf 1,5 % (0

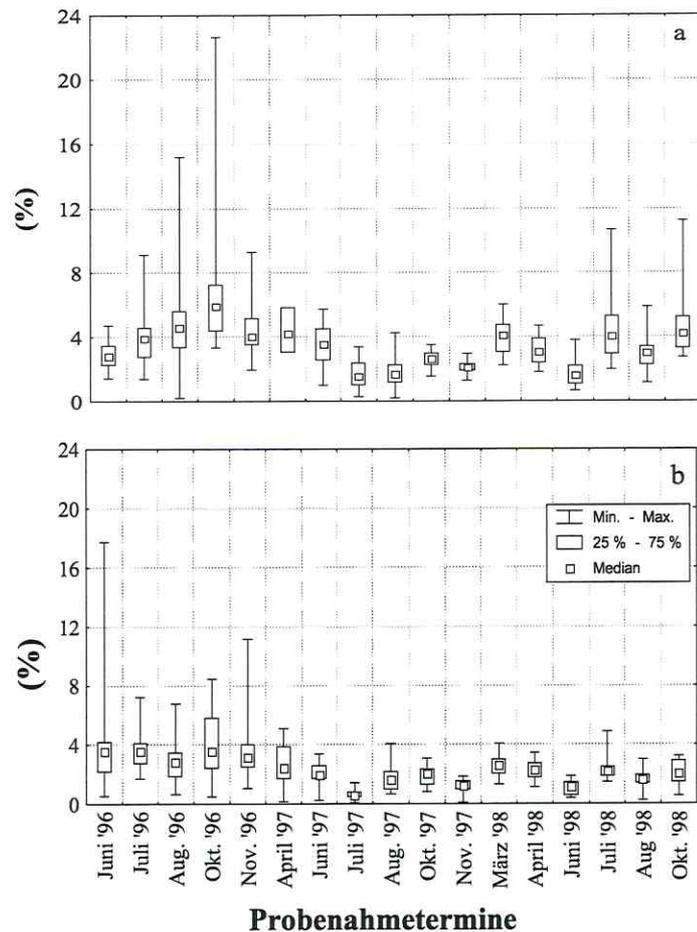


Abb. 57: Nmic/Nt-Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

Ab (Abb. 57). Die Korrelationen zwischen Nmic und Nt wurden im Ver-

lauf der Brache von $r_s = 0,52^*$ im August 1996 auf $r_s = 0,91^{***}$ im April 1998 enger. Korrespondierende Zusammenhänge zum Corg konnten 1996 nicht und in den darauffolgenden Jahren nur vereinzelt festgestellt werden. Zwischen Nmic und anderen C-Fractionen konnten nur sporadische Korrelationen aufgedeckt werden (Tab. A75 bis A158).

Ähnlich wie beim C_{mic} wirkte sich die geringe Bodenfeuchtigkeit in den Sommermonaten auf diesem Sandstandort limitierend auf die N_{mic} -Gehalte aus. Dabei wurden für den Untersuchungszeitraum signifikante Korrelationen errechnet (Tab. A75 bis A158). Der Einfluß des Bodenwassers scheint, ähnlich wie beim C_{mic} , mit zunehmender Brachedauer anzusteigen. Trat im Jahr 1996 eine Korrelation lediglich im Juli auf ($r_s = 0,84^{***}$), waren beide Kennwerte im Jahr 1998 bereits zu allen Terminen eng korreliert ($r_s = 0,91^{***}$).

Das $N_{mic}/N_{t(HWL)}$ -Verhältnis beschreibt die Relation des mikrobiell gebundenen N zum relativ schnell mineralisierbaren N. Auch anhand dieses Quotienten wird die jahreszeitliche Dynamik des N_{mic} deutlich. In der darunter liegenden Tiefenstufe wurden Anteile von maximal 85 % festgestellt, wobei auch in diesem Fall eine sehr starke Streuung der Werte sichtbar wurde. Während der Sommerdepression der mikrobiellen Biomasse nahmen die Gehalte auf 40 % (0 bis 10 cm) bzw. 16 % (10 bis 30 cm) ab. Für beide Tiefenstufen konnte innerhalb des Untersuchungszeitraumes eine Zu-

nahme des $N_{mic}/N_{t(HWL)}$ -Quotienten von 40 auf 100 % bzw. von 28 auf 64 % erkannt werden (Abb. 58). Wie aus der Abb. 58 ersichtlich wird, konnten mehrfach $N_{mic}/N_{t(HWL)}$ -Quotienten von über 100 % festgestellt werden. Dieses Ergebnis wurde bereits in Kapitel 3.4.1 für den $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Quotienten festgestellt. Auch in diesem Fall wurden höhere mikrobiellen Kennwerte zu den Herbst- bzw. Frühjahrsterminen gefunden. Damit wird die in Kapitel 3.4.1 aufgestellte Hypothese, welche von einer Hauptwachstumszeit von Bodenpilzen zu diesen Zeitpunkten, die zur verstärkten Ausbildung von chitinhaltigen, heißwasserunlöslichen Hyphen führt, bekräftigt. Diese

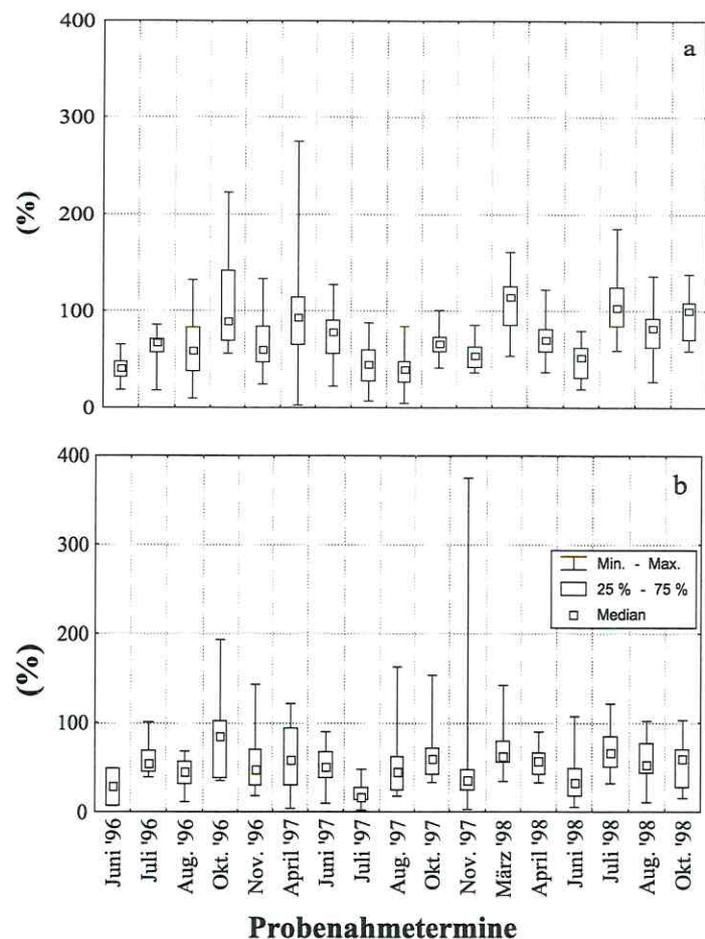


Abb. 58: $N_{mic}/N_{t(HWL)}$ -Verhältnis in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

Hypothese wird zudem durch das in diesen Böden beobachtete vergleichsweise weite (C/N)_{mic}-Verhältnis unterstützt, welches auf ein dominantes Auftreten von Pilzen innerhalb der mikrobiologischen Populationen schließen läßt (Campbell et al., 1991; Anderson und Domsch, 1980; Jenkinson, 1976). Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, daß chitinhal- tige Pilzhyphen zwar durch die Fumigations-Extraktionsmethode, jedoch nicht durch die Heißwasserextraktion erfaßt wurden.

Sehr eng waren die Wechselwirkungen des N_{mic} zu den verschiedenen untersuchten N- Fraktionen. In der Regel waren die Beziehungen zwischen N_{mic} und N_{t(KCl)} mit r_s von 0,57** (November 1996) sehr eng. Diese Korrelation verstärkte sich im Verlauf der Brache auf r_s von 0,81*** im April 1998 (Tab. A75 bis A158).

Im allgemeinen bestanden auch sehr enge Korrelationen zum NO₃⁻-N ($r_s = 0,89***$) (Tab. A75 bis A158), wohingegen zwischen N_{mic} und NH₄⁺-N nur in Ausnahmefällen korrelative Beziehungen beobachtet werden konnten ($r_s = 0,80***$, März 1998). Diese ließen jedoch kei- nen einheitlichen Trend erkennen (Tab. A75 bis A158).

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes stand der N_{mic}-Gehalt in sehr enger Bezie- hung zum pH-Wert des Bodens ($r_s = 0,85***$) (Tab. A75 bis A158).

3.4.3 Mikrobielle Basalatmung

Die mikrobielle Respiration wird als CO_2 -Abgabe durch Bakterien, Pilze, und Protozoen infolge des Abbaus von organischer Substanz definiert. Sie gilt als traditionelles Maß zur Bestimmung der biologischen Aktivität in Böden (Haber, 1959; Gisi, 1997). Die Messung der Basalatmung ist sehr einfach, allerdings bereitet die ökologische Interpretation dieses Parameters große Schwierigkeiten, da die Summe der CO_2 -Abgabe von Primärproduzenten, Konsumenten verschiedener Ordnung und Reduzenten erfasst wird. Da die CO_2 -Produktion der Reduzenten in Böden oftmals am größten ist, ergibt sich ein ungenaues Bild hinsichtlich der Aktivität der mikrobiellen Gemeinschaft (Phillipson et al., 1975; Persson et al., 1980). Dennoch wird die Basalatmung zur Bestimmung und Bewertung metabolischer Aktivitäten herangezogen, da sie einer der am häufigsten gemessenen Parameter ist (Alef, 1991).

Die Basalatmung nahm zu Beginn der Untersuchungen innerhalb von kurzer Zeit von über $0,3 \text{ mg CO}_2/\text{g TS} \cdot 24\text{h}$ im Juni 1996 auf ungefähr $0,1 \text{ mg CO}_2/\text{g TS} \cdot 24\text{h}$ im Juli 1996 ab (Abb. 59). Dieses vergleichsweise niedrige Niveau wurde schon früher in Böden unter Bracheflächen beobachtet (Tanneberg und Landgraf, 1996).

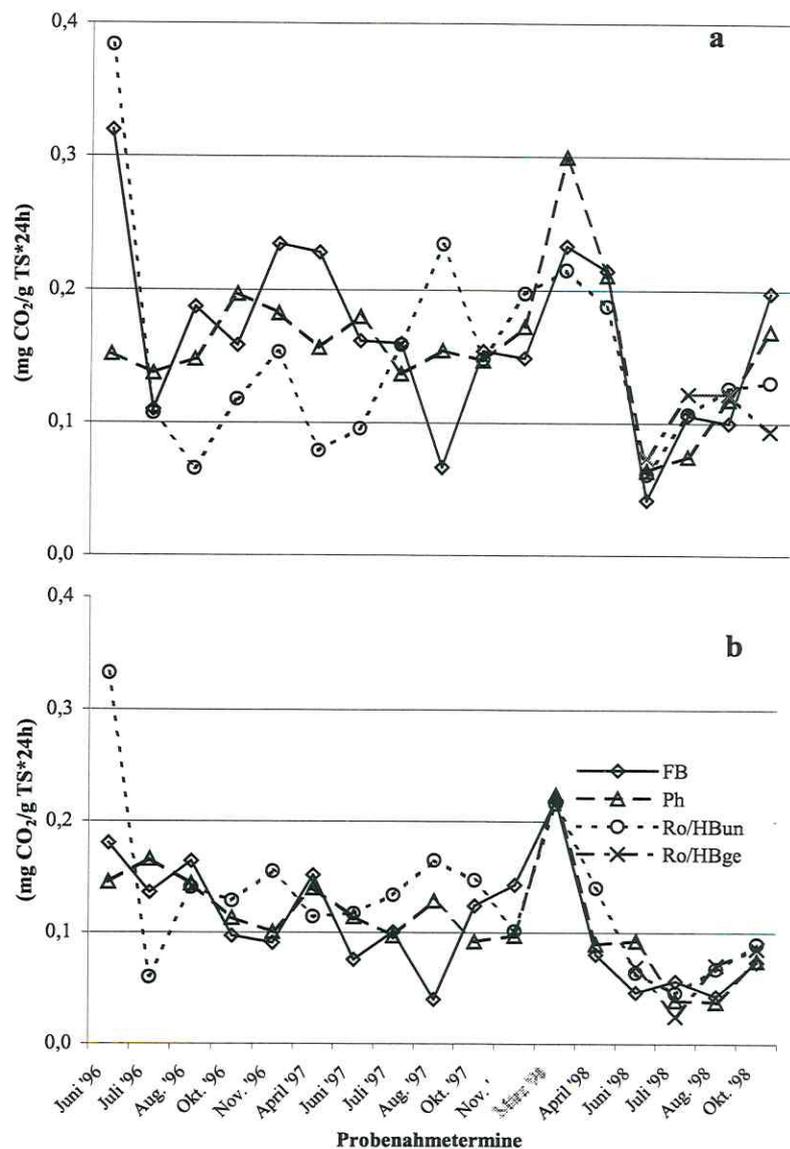


Abb. 59: Basalatmung in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

Innerhalb der drei Untersuchungsjahre kam es zu einer langsamen, aber permanenten Abnahme der Basalatmung, welche nur durch kurzzeitige Anstiege (Nov. 1996; April 1997; März und April 1998) in den Frühjahren der drei Untersuchungsjahre unterbrochen wurden. Auch die Basalatmung spiegelt in der obersten Tiefenstufe den bereits für die Gehalte an mikrobieller Biomasse beobachteten Einfluß der Sommertrockenheit wider; so wurden im Juni 1998 lediglich $0,05 \text{ mg CO}_2/\text{g TS} \cdot 24\text{h}$ festgestellt. Die Abhängigkeit der Basalatmung vom Bodenwassergehalt wurde durch die Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Spearman bestätigt ($r_s = 0,87^{***}$) und untermauert damit die von anderen Autoren beschriebenen Beobachtungen (Moore, 1986; Kim und Verma, 1992; Silvola et al., 1996).

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes traten im allgemeinen signifikante Zusammenhänge zwischen Basalatmung und Cmic ($r_s = 0,82^{***}$) auf (siehe dazu auch Kapitel 3.4.1). Zum Nmic konnten zu Beginn der Untersuchungen nur vereinzelt Korrelationen beobachtet werden ($r_s = 0,52^*$) (Tab. A75 bis A158). Mit zunehmender Brachedauer nahm diese Wechselwirkung zu, und im Jahr 1998 wurden zu allen Terminen signifikante Beziehungen zwischen Nmic und der Bodenrespiration nachgewiesen ($r_s = 0,82^{***}$) (Tab. A75 bis A158).

Zwischen den verschiedenen Brachevarianten bestanden nur kurzzeitig signifikante Unterschiede, die in Form von höheren Basalatmungsraten in den Böden der FB- und Ph-Parzellen im Vergleich zu den Böden unter der Ro/HB-Parzellen im Juni 1996 bzw. November 1996 auftraten. Diese Differenzen können auf die im Mai 1996 durchgeführten Bearbeitungsmaßnahmen auf den Flächen der FB- und Ph-Parzellen, bzw. das Pflügen der Ro/HB-Parzellen im Herbst 1996 zurückgeführt werden (Tab. A72).

Die N-Düngung im Juli 1998 führte in der Regel zu keinen signifikanten Auswirkungen auf die Basalatmung.

3.4.4 Metabolischer Quotient (q_{CO_2})

Der metabolische Quotient ist ein physiologischer Parameter zur qualitativen Erfassung der Einflüsse von verschiedenen Faktoren wie Bodenbearbeitung, Düngemittleinsatz und Kontamination von Schadstoffen auf die mikrobielle Biomasse und ein indirektes Maß für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengesellschaft (Schinner et al., 1993). Zu Beginn der Untersuchungen wurde für die oberste Tiefenstufe (0 bis 10 cm) q_{CO_2} -Werte von etwa 0,15 ($\mu\text{g CO}_2\text{-C}^{-1}\text{Cmic}^{-1}\text{h}^{-1}$) berechnet (Abb. 60). Damit lagen diese weit unter den aus der Literatur bekannten Werten für Ackerböden von 0,5 bis 3 $\mu\text{g CO}_2\text{-C}^{-1}\text{Cmic}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Schinner et al., 1993; Baum, 1994; Deubel, 1995).

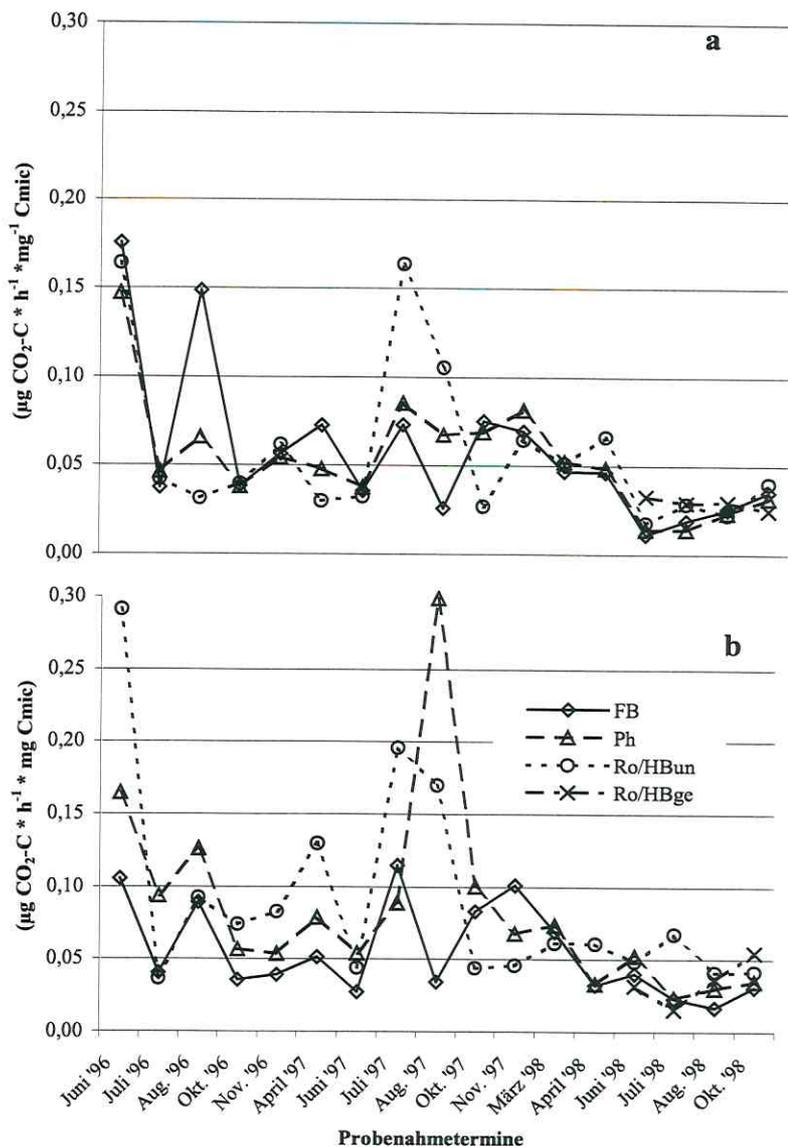


Abb. 60: Metabolischer Quotient in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b)

Die untersuchten Brachevarianten unterschieden sich in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) in der Regel nicht voneinander. Die in der darunterliegenden Tiefenstufe festgestellten Unterschiede zwischen den Brachevarianten können keiner kausalen Ursache zugeordnet werden (Tab. A74).

Die im April 1998 ausgebrachte mineralische N-Düngung bewirkte einen Anstieg des qCO_2 in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) in den Monaten Juni und Juli 1998, woraufhin er wieder die insgesamt niedrigen Ausgangswerte erreichte (Abb. 60). Dies spricht für eine erneute Einstellung der Mikroorganismengesellschaft auf einen effizienten Stoffumsatz nach applizierter N-Düngung, was auch durch die insgesamt sehr niedrigen qCO_2 -Gehalte in den Folgemonaten bestätigt wird (Schinner et al., 1993). In der darunter liegenden Tiefenstufe konnte eine signifikante Erhöhung des metabolischen Quotienten durch die mineralische N-Düngung (NH_4NO_3) erst ab August 1998 registriert werden, welcher bis zum Oktober 1998 weiter anstieg (Tab. A74). Die verzögerte Reaktion in der Tiefenstufe 10 bis 30 cm wird durch die benötigte Zeit für die Tiefenverlagerung des ausgebrachten N erklärbar.

3.5 Bodenmikrobiologische Untersuchungsgrößen in Abhängigkeit vom Bodentyp

3.5.1 Mikrobiell gebundener Kohlenstoff (Cmic) im Boden

Die bereits beschriebenen saisonalen Schwankungen (Kapitel 3.4.1) im Cmic-Gehalt des Bodens konnten auch in beiden untersuchten Bodentypen nachgewiesen werden. Dies wurde besonders in der Tiefenstufe 0 bis 10 cm deutlich (Abb. 61). Insgesamt traten in der Humosen Braunerde höhere Cmic-Gehalte auf als in der typischen Braunerde. Mit zunehmender Brachedauer nahmen die Unterschiede zwischen beiden Bodentypen zu. Die mikrobielle Biomasse stieg in der Braunerde nicht so stark an wie jene in der Humosen Braunerde, obwohl auch unabhängig vom Bodentyp mit zunehmender Brachedauer eine Zunahme der Cmic-Gehalte zu verzeichnen war (Abb. 61).

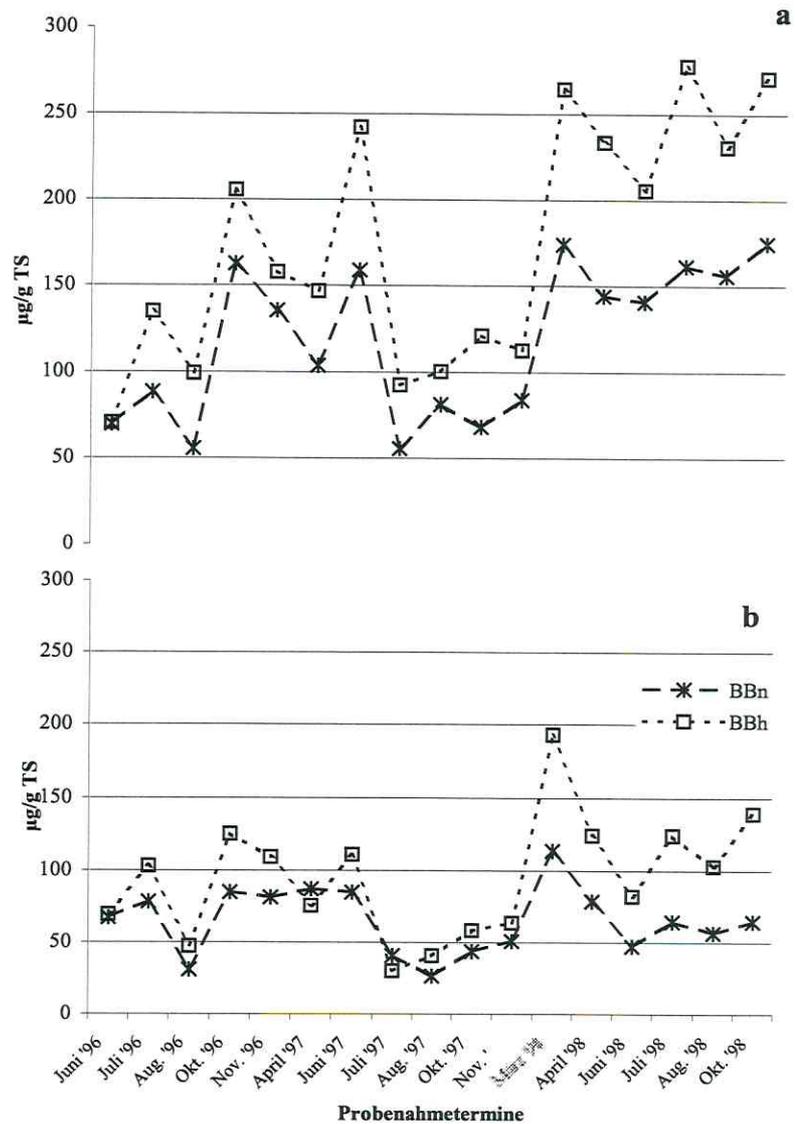


Abb. 61: Cmic-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Median der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

Die (C/N)_{mic}-Verhältnisse waren in 0 bis 10 cm Tiefe in der Humosen Braunerde wesentlich enger als in der Braunerde (Tab. 10 und 11).

Tab. 10: (C/N)_{mic}-Verhältnis in den zwei Tiefenstufen der Humosen Braunerde (Median, n = 16)

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
0-10	4,3	4,9	2,6	4,9	5,0	3,2	5,6	5,6	5,8	4,5	5,6	5,7	6,0	9,2	5,8	7,3	5,8
10-30	3,5	4,7	2,8	4,7	4,6	3,0	5,6	8,4	4,0	4,0	6,4	6,4	5,7	7,4	5,1	6,4	6,5

Tab. 11: (C/N)_{mic}-Verhältnis in den zwei Tiefenstufen der Braunerde (Median, n = 16)

Tiefe (cm)	1996					1997						1998					
	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
0-10	4,3	6,4	2,8	7,0	5,5	3,9	6,7	4,5	8,1	4,8	5,8	6,0	6,5	15,9	6,2	8,3	6,7
10-30	3,5	4,4	2,8	6,6	5,2	7,2	6,9	10,8	2,6	5,1	6,9	6,0	5,9	7,7	5,0	6,5	7,2

Diese Tendenz war in der Regel auch in 10 bis 30 cm Tiefe zu erkennen, wenngleich nicht immer so eindeutig wie in den obersten 10 cm des Bodens. Das in beiden Tiefenstufen beobachtete engere (C/N)_{mic}-Verhältnis im Boden der Humosen Braunerde läßt auf eine stärkere Besiedlung mit Bodenbakterien schließen, während die Braunerde nach den Ergebnissen von Campbell et al. (1991) vorwiegend mit Bodenpilzen besiedelt sein dürfte.

Mit zunehmender Brachedauer war in beiden Bodentypen und Tiefenstufen eine Aufweitung der (C/N)_{mic}-Verhältnisse auf Werte von 5,8 bis 6,7 (0 bis 10 cm) bzw. von 6,5 bis 7,2 (10 bis 30 cm) festzustellen (Tab. 10 und 11). Das (C/N)-Verhältnis in Bodenpilzen bewegt sich im Durchschnitt zwischen 7 und 12, jenes in Bakterien zwischen 3 und 6 (Jenkinson, 1976; Anderson und Domsch, 1980). Daher kann davon ausgegangen werden, daß im Verlauf der Brache eine strukturelle Veränderung der mikrobiellen Biomasse zu einer Dominanz von Bodenpilzen stattgefunden hat. Auf der Grundlage dieser Aussage ist die Besiedlung von Pilzen im Boden der typischen Braunerde stärker ausgeprägt als im Boden der Humosen Braunerde (Tab. 10 und 11).

3.5.2 Mikrobiell gebundener Stickstoff (Nmic) im Boden

Der Nmic im Boden der Humosen Braunerde wies in beiden Tiefenstufen mit Werten von 18 bis 48 $\mu\text{g/g}$ TS höhere Gehalte auf als in der typischen Braunerde (18 bis 27 $\mu\text{g Nmic/g TS}$) (Abb. 62). Die starke jahreszeitliche Dynamik des Nmic-Gehaltes, welche im Abschnitt 3.4.2 beschrieben wurde, war unabhängig vom Bodentyp sichtbar. Die Nmic-Gehalte in der typischen Braunerde bewegten sich auf einem insgesamt geringeren Niveau als in der Humosen Braunerde.

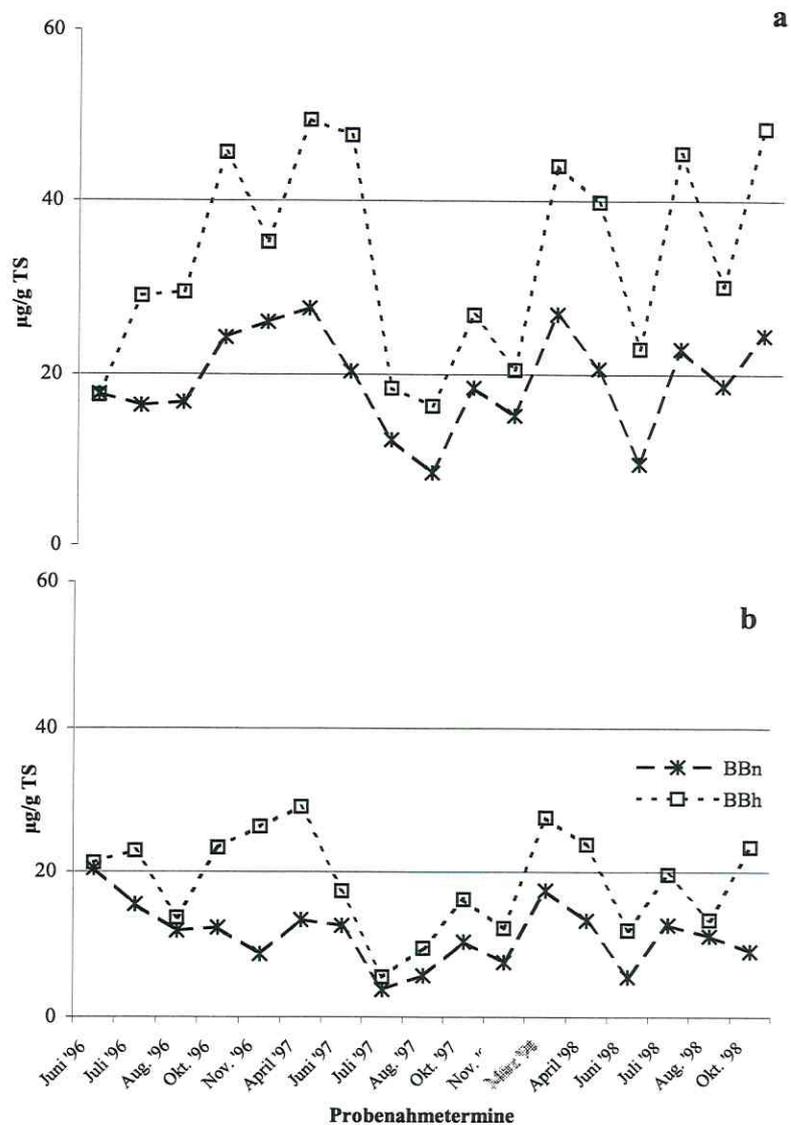


Abb. 62: Nmic-Gehalte in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Median der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

3.5.3 Mikrobielle Basalatumung

Bezogen auf die oberste Tiefenstufe (0 bis 10 cm) konnten in der Humosen Braunerde fast ausnahmslos höhere Atmungsaktivitäten nachgewiesen werden, als in der Typischen Braunerde (Abb. 63; Tab. A37). Die in Kapitel 3.5.3 beschriebene Abnahme der Basalatumung mit zunehmender Brachedauer konnte bei getrennter Betrachtung beider Bodentypen nur für die Tiefenstufe 10 bis 30 cm festgestellt werden. Vermutlich näherte sich die mikrobielle Gemeinschaft im dreijährigen Untersuchungszeitraum dem Stadium der Homeostase, welches auf diesem Standort bei einer Basalatumung von $\leq 0,1 \text{ mg CO}_2/\text{g TS} \cdot 24\text{h}$ liegen dürfte. Aus Abb.

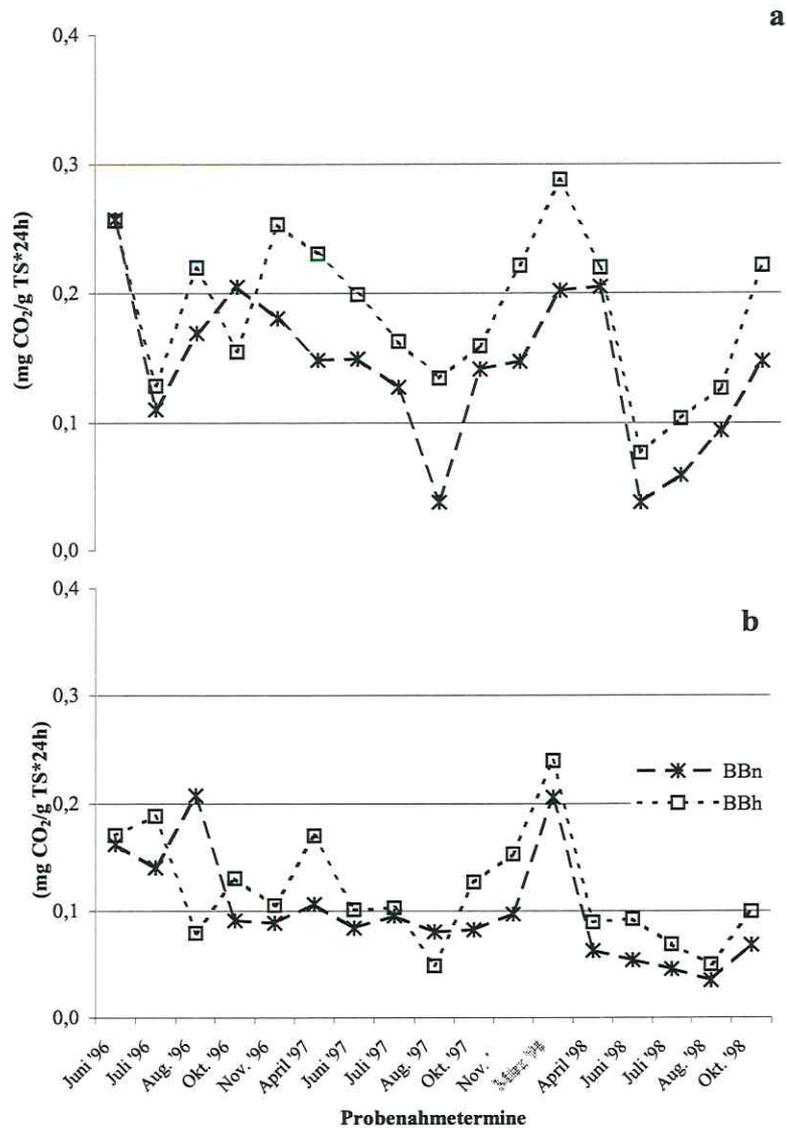


Abb. 63: Basalatumung in den Tiefenstufen 0-10 cm (a) und 10-30 cm (b), dargestellt als Median der zwei Bodentypen

die Humose Braunerde. In der Tiefe von 0 bis 10 cm wurden hingegen keine Veränderung der Basalatumung über den dreijährigen Untersuchungszeitraum festgestellt, jedoch unterlag dieser Parameter wesentlich ausgeprägteren jahreszeitlichen Schwankungen als in 10 bis 30 cm (Abb. 63a, b).

BBn = Braunerde
BBh = Humose Braunerde

3.5.4 Metabolischer Quotient (qCO₂)

In beiden Bodentiefen konnten in der typischen Braunerde oftmals höhere qCO₂-Werte als in der Humosen Braunerde festgestellt werden (Abb. 64a, b). Diese Ergebnisse waren zu mehreren Terminen (Juli 1996; Juli, August und Oktober 1997; März, April und Juni 1998) statistisch gesichert (Tab. A75).

Unabhängig vom Bodentyp wurden innerhalb des Untersuchungszeitraumes abnehmende qCO₂-Werte festgestellt. Waren es in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) am Anfang noch über 0,15 µg CO₂-C*g⁻¹ Cmic*h⁻¹, lagen die Werte am Ende der Untersuchungen bei unter 0,05 µg CO₂-C*g⁻¹ Cmic * h⁻¹ (Abb. 64a). Diese Tendenz wurde auch in der darunter liegenden Bodentiefe deutlich (Abb. 64b).

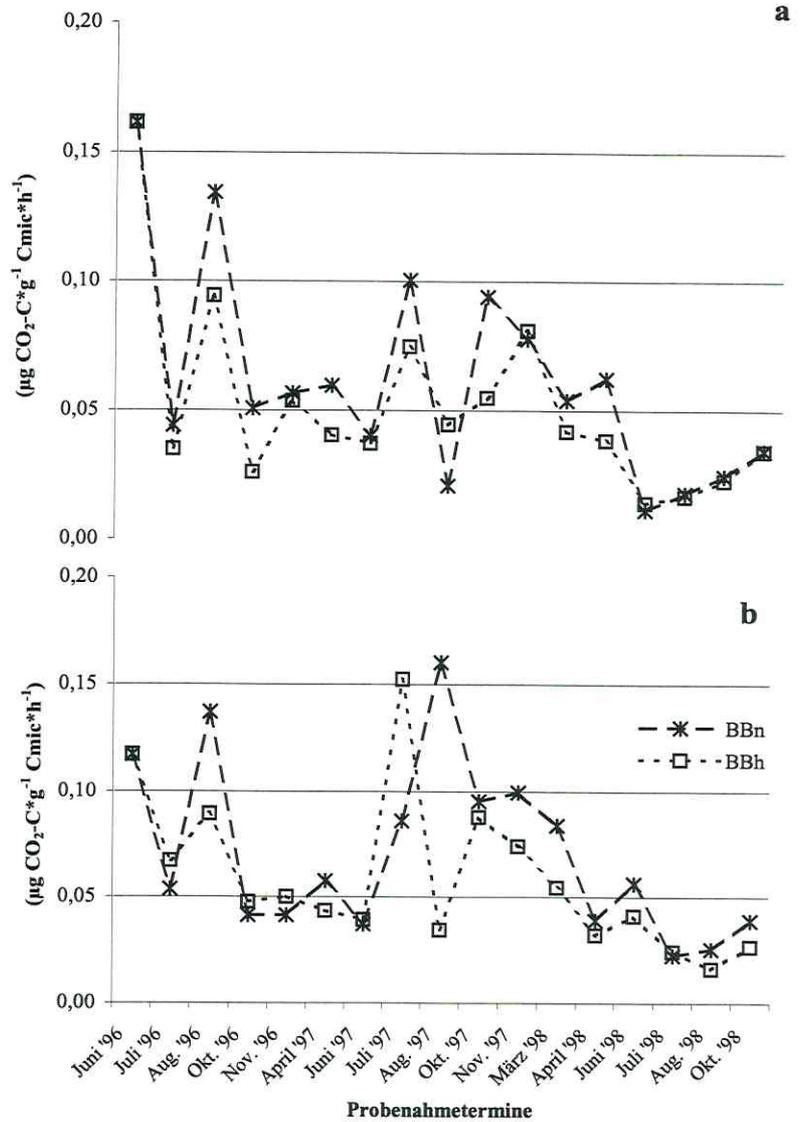


Abb. 64: Metabolischer Quotient in den Tiefenstufen 0-10 und 10-30 cm (b), dargestellt als Median der zwei Bodentypen

BBn = Braunerde

BBh = Humose Braunerde

Die Ergebnisse lassen auf einen Zusammenhang zwischen der Quantität an leicht abbaubaren organischen Substanzen und dem qCO_2 schließen. Liegen leicht verfügbare organische Substanzen in ausreichender Menge vor, nimmt der spezifische Aufwand zum Erschließen von Energie und Kohlenstoffquellen der Mikroorganismen zur Erhaltung ihrer Stoffwechselaktivitäten ab. Dies wird in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm ab Oktober 1997 deutlich (Abb. 64b). Von diesem Zeitpunkt an wurden, mit Ausnahme vom Juli 1998, in der Typischen Braunerde höhere qCO_2 -Werte festgestellt als in der Humosen Braunerde, welche in der Regel statistisch nicht abgesichert werden konnten (Tab. A74). Erhöhte Aktivitäten der Bodenmikroflora in humusarmen Böden gegenüber gut mit Humus versorgten Böden wurden schon von anderen Autoren festgestellt (Haider und Gröblichhoff, 1990; Beck, 1990; Anderson und Domsch, 1993).

3.6 Pflanzenuntersuchungen

3.6.1 Oberirdische Phytomasse

Bereits seit langer Zeit wird die Primärproduktion von Ruderalzönosen untersucht (Kling, 1914; Korsmo, 1930; Kiessling, 1963; Alkämper, 1976; Engelhard, 1980; Hegewald, 1982, Körschens et al., 1989 und Wedekind, 1990). Diese kann sehr erheblich sein, wodurch auch hohe Mengen an N aufgenommen und in der Biomasse gebunden werden können. Aufgrund der allgemein bekannten negativen Beziehung zwischen N-Aufnahme und Wasserverbrauch der Pflanzen einerseits und dem Nitrateintrag in das Grundwasser andererseits (Mundel, 1987) war die Entwicklung der pflanzlichen Biomasseproduktion und die damit verbundene N-Abschöpfung auf dem Standort Kreinitz von großem Interesse. Im ersten Untersuchungsjahr

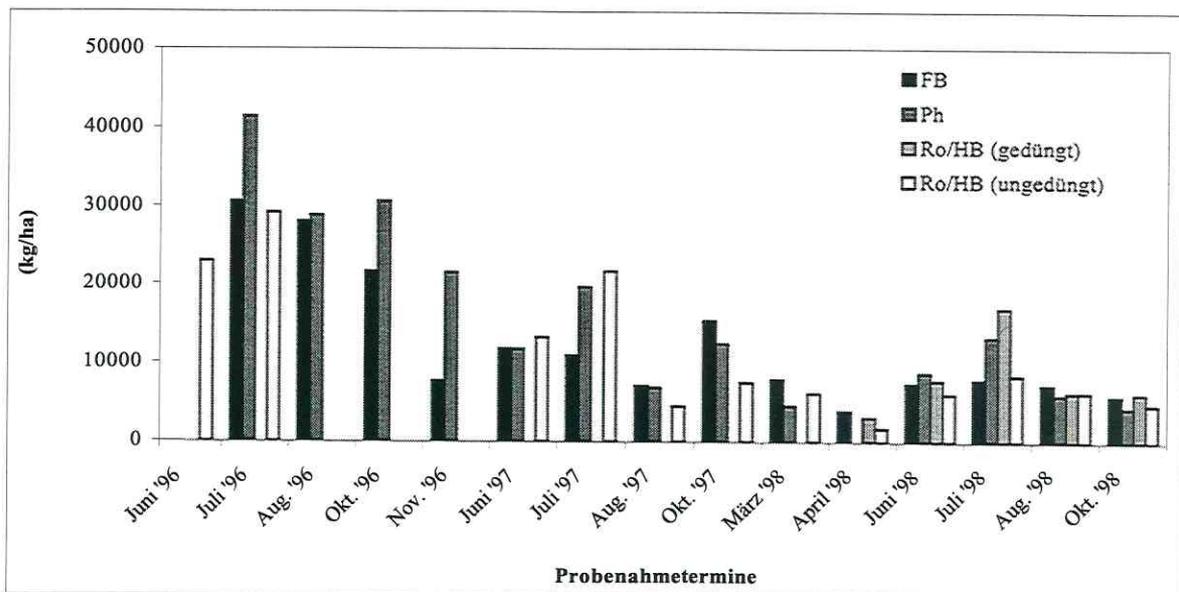


Abb. 65: Pflanzenfrischmasse der Brachevarianten

konnten auf den Phaceliaparzellen höhere oberirdische Phytomassen bezogen auf das Frischgewicht im Vergleich zur FB- und Ro/HB(un)-Variante gemessen werden (Abb. 65). 1997 wurden zu keinem Termin höhere Pflanzenmassen von Phacelia gegenüber den anderen Brachevarianten festgestellt (Abb. 65, Tab. 12) Die im März 1998 verabreichte N-Düngung führte erwartungsgemäß zu einer Förderung des Pflanzenwachstums auf den Ro/HB(ge)-Parzellen. Diese Entwicklung fand in oberirdischen Phytomassen von über 17.000 kg/ha im Juli 1998 ihren Höhepunkt und übertraf damit alle anderen Brachevarianten (Abb. 65).

Im Juli 1996 wurden auf den beiden Brachevarianten Pflanzenfrischmassen (FM) von durchschnittlich mehr als 30.000 kg/ha berechnet (Abb. 65). Daraus ergab sich für die FB-Parzellen

ein mittlerer Trockenmassevorrat (TM) von ca. 5.500 kg/ha und im Oktober 1996 von ca. 9.000 kg/ha (Abb. 67a). Mit diesen Trockenmassevorräten bewegten sich die FB-Varianten im Rahmen vergleichbarer Untersuchungen auf Dauerbrachen ohne Eingriff, welche eine Primärproduktion von 2.000 bis 15.000 kg TM/ha auf Grenzertragsstandorten, Grünlandbrachen und Magerrasen angeben (Dapper, 1966; Campino-Johnson, 1978; Wolf, 1979; Gisi et al., 1981; Schmidt, 1984; Schulz-Behrend, 1986). Auf Dauerbrachen eines Schwarzerdestandes in Bad Lauchstädt wurden Sproßphytomassen von bis zu 20.000 kg TM/ha festgestellt (Merbach und Sauerbeck, 1995). Die Primärproduktion der FB-Parzellen kann auf diesem leichten Sandstandort daher für das Jahr 1996 als relativ hoch eingeschätzt werden. Der Einfluß des Standortes wurde im Verlauf der Untersuchungen in Form einer Abnahme der oberirdischen Pflanzenmasse deutlich. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur Entwicklung der Phytomasse auf Schwarzerdeböden, auf welchen über einen zweijährigen Versuchszeitraum vergleichbare jährliche TM-Erträge verzeichnet wurden (Merbach und Sauerbeck, 1995).

Tab. 12: Vergleich der oberirdischen Pflanzentrockenmasse mittels Mann-Whitney-U-Test

Variantenvergleich	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
	1996					1997				1998					
	(%)														
FB vs Ph	n.b.	*****	†	*	†	*****	†	†	***	***	n.b.	*****	*****	†	****
FB vs Ro/HB(un)	n.b.	***	n.b.	n.b.	n.b.	†	†	*	*	†	*	†	*	†	†
FB vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	†	†	†	†
Ph vs Ro/HB(un)	n.b.	*****	n.b.	n.b.	n.b.	*****	†	†	†	†	n.b.	*	†	†	†
Ph vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	***	†	†	***
Ro/HB(un) vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	†	†	†	†

*, **, ***, ****, ***** signifikante Unterschiede bei 10; 5; 2,5; 1; 0,5 bzw. 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n.b. nicht bestimmt

Die Abnahme der Pflanzenmasseproduktion hat ihre Ursache sowohl in der Abnahme von pflanzenverfügbarem N (Kap. 2.4.1.2, 3.1.5.9 und 3.1.5.10) als auch in einer Veränderung der mittleren Artdominanz. So konnte im ersten Untersuchungsjahr *Matricaria indorata* als aspekt- und bestandsbestimmende Art festgestellt werden, gefolgt von *Chenopodium album* und *Arabidopsis thaliana*. Im zweiten Versuchsjahr hingegen wurde *Agropyron repens* als führende Art erkannt, welche von *Arabidopsis thaliana* und *Matricaria indorata* abgelöst wurde. *Chenopodium album* trat nur noch vereinzelt auf (Krumbiegel und Klotz, 1998). Ins-

gesamt kann die Pflanzengemeinschaft der FB-Parzellen pflanzensoziologisch als verarmtes *Aphano-Matricarietum* eingeschätzt werden (Krumbiegel und Klotz, 1998). In den beiden ersten Jahren der Untersuchungen dominierten die Lebensformtypen der Therophyten, welche sowohl hinsichtlich Abundanz als auch Dominanz vorherrschten. Diese machten ca. 80 % des Lebensformspektrums aus. Im zweiten Untersuchungsjahr nahm die Abundanz der Therophyten auf 65 % zugunsten der Geophyten ab (Krumbiegel und Klotz, 1998).

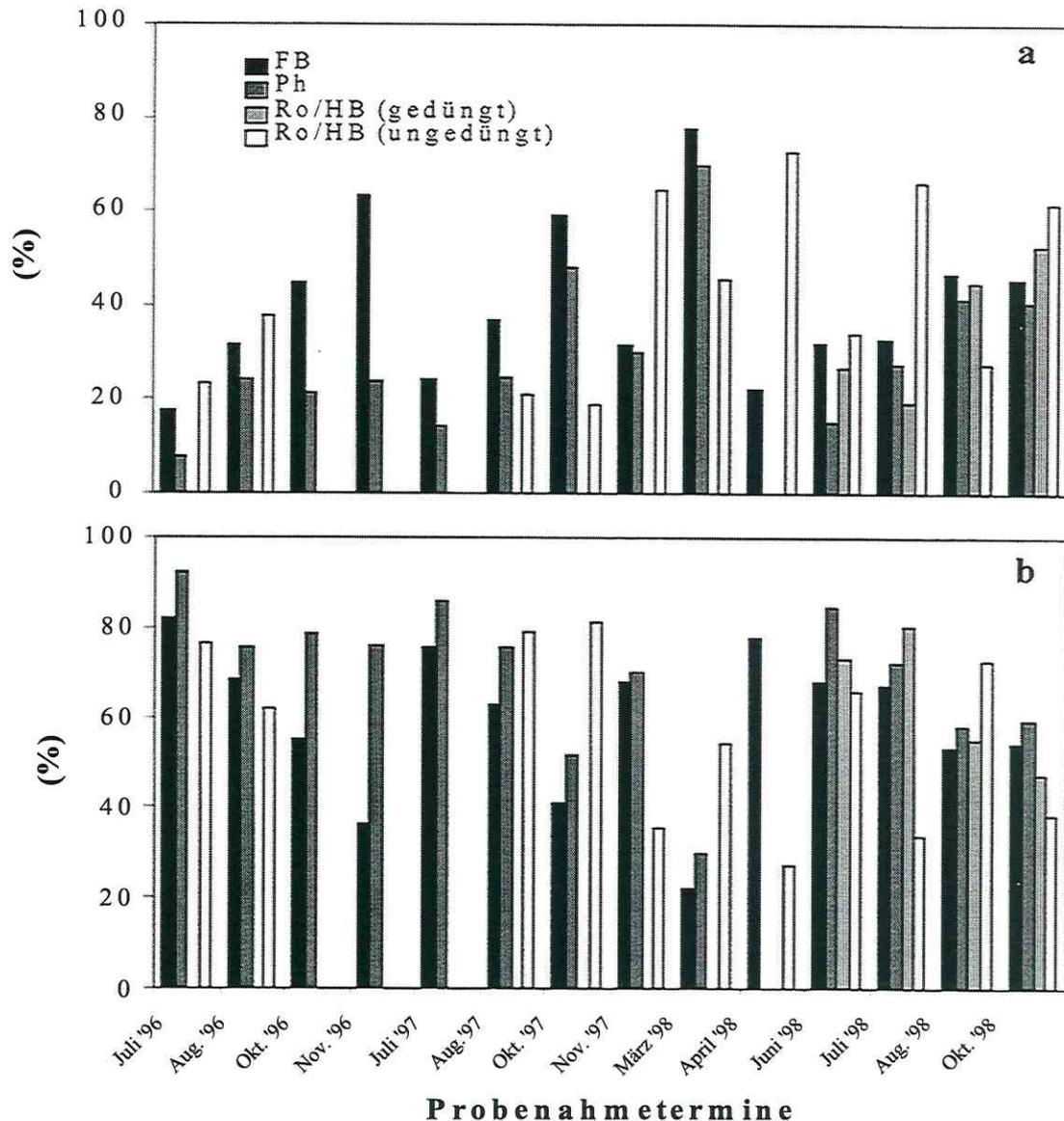


Abb. 66: Anteil der Trockensubstanz (a) und des Wassers (b) an der oberirdischen Phytomasse

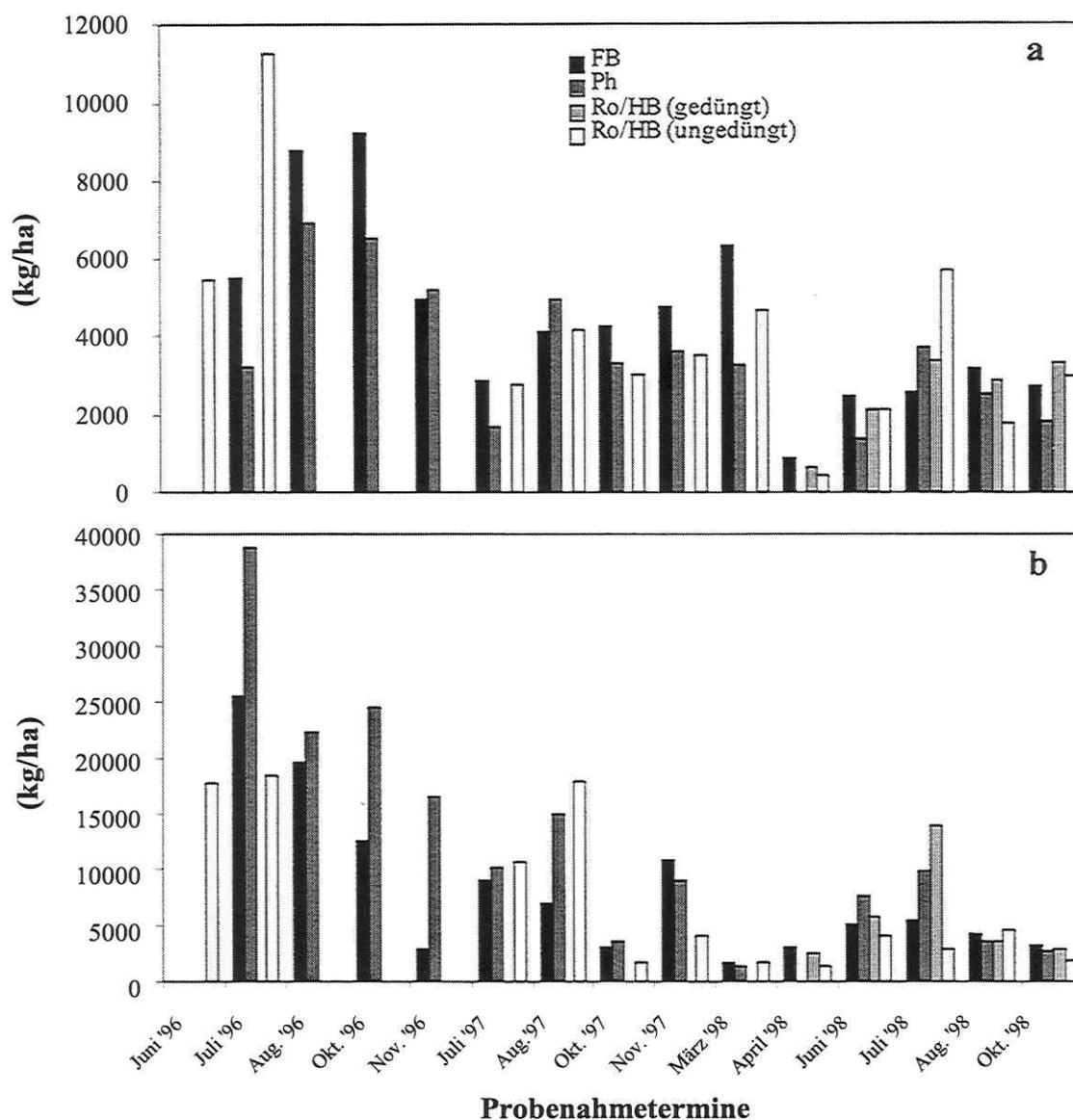


Abb. 67: Trockenmasse- (a) und Wasservorrat (b) der oberirdischen Phytomasse

Die hohen FM auf den Phacelia-Parzellen sind dem großen Wassergehalt dieser Pflanzenart zuzuschreiben. Dieser erreichte Anteile von über 90 % der Pflanzenmasse (Abb. 66b) und damit ~ 39.000 kg/ha (Abb. 67b). Deutlich geringer hingegen war der Anteil des Wassers an der Gesamtphytomasse der Pflanzengemeinschaft auf den FB-Parzellen, welcher im Mittel bei 60 % lag (Abb. 66b). Die mineralische Stickstoffdüngung führte zu einer Wachstumsförderung, welche sich einerseits in einer höheren Pflanzenmasse (Abb. 65) und andererseits in einem höheren Wassergehalt der Pflanzen auf den Ro/HB(ge)-Parzellen widerspiegelte (Abb. 66b).

Offensichtlich vermochte die Pflanzengemeinschaft der FB-Variante C in höheren Mengen aufzunehmen, als die Phaceliamonokultur. Im Oktober 1996 wurden über 4.000 kg C/ha in der oberirdischen Phytomasse der FB-Varianten nachgewiesen. Die Phacelia erreichte zu diesem Zeitpunkt lediglich 2.700 kg C/ha. Insgesamt konnte auch beim Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Phytomasse eine abnehmende Tendenz mit zunehmender Brachedauer festgestellt werden (Abb. 68). Durch die Stickstoffdüngung im Frühjahr war auch ein signifikant höherer Gesamtkohlenstoffvorrat in der Pflanzenmasse nachweisbar (Tab. 13). Dies läßt die Vermutung zu, daß das Pflanzenwachstum auf diesem Standort und zu diesem Zeitpunkt durch N limitiert war. Durch die N-Düngung wurde dieser Mangel beseitigt und im Boden vorhandener mineralischer Kohlenstoff konnte von den Pflanzen verstärkt in die Phytomasse eingebaut werden.

Trotz eines sehr großen Wasserbedarfes von Phacelia, waren bei dieser Pflanzenart nur in Ausnahmefällen (Aug. und Nov. 1996) höhere N-Vorräte nachzuweisen (Abb. 68). Dieses Ergebnis verwundert, da aufgrund des Massenflusses eine höhere N-Aufnahme durch Phacelia vermutet wurde. Auch beim Stickstoffvorrat der oberirdischen Phytomasse lagen die FB- und die Ro/HB(un)-Varianten signifikant über jenen der Ph-Parzellen (Tab. 14).

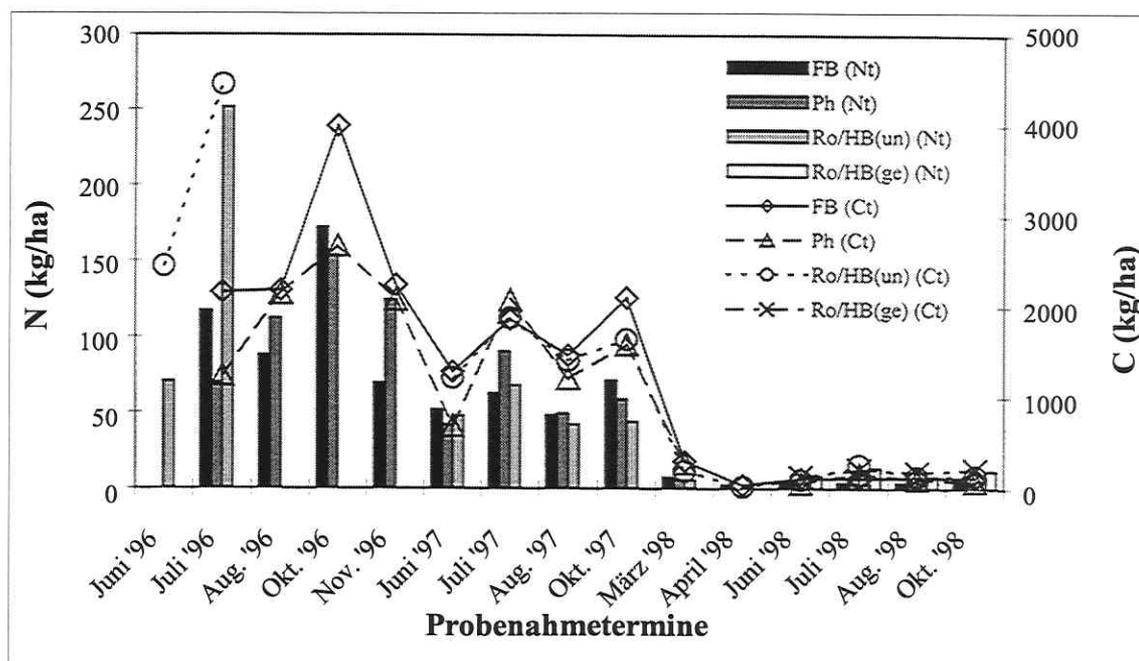


Abb. 68: C- und N-Vorrat der oberirdischen Phytomasse

Ähnlich wie bei den C-Vorräten konnte auch beim N-Vorrat der oberirdischen Phytomasse im Laufe der drei Untersuchungsjahre eine abnehmende Tendenz festgestellt werden (Abb. 68). Die mineralische Stickstoffdüngung bewirkte eine signifikante ($p \leq 0,001$) Erhöhung des N-Vorrates in den Ro/HB(ge)-Parzellen im Vergleich zu allen anderen ungedüngten Varianten. Dieser war bis zum Ende der Untersuchungen statistisch nachzuweisen (Tab. 14), durch lineare Darstellung der Medianwerte allerdings nicht deutlich sichtbar (Abb. 68).

Tab. 13: Vergleich des C-Vorrates der Brachevarianten der oberirdischen Pflanzentrockenmassen mittels Mann-Whitney-U-Test

Brachevarianten-Vergleich	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
	1996					1997					1998				
	(%)														
FB vs Ph	n.b.	*****	*****	*****	n.b.	*****	*****	†	†	*****	n.b.	*****	*****	*****	****
FB vs Ro/HB(un)	n.b.	*****	n.b.	n.b.	n.b.	***	†	*****	*****	†	**	***	†	†	†
FB vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	†	*****	*	*
Ph vs Ro/HB(un)	n.b.	*****	n.b.	n.b.	n.b.	*****	*****	*****	*****	*****	n.b.	*****	*****	*****	*****
Ph vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	*****	*****	*****	*****
Ro/HB(un) vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	*****	*****	*	†

*, **, ***, ****, ***** signifikante Unterschiede bei 10; 5; 2,5; 1; 0,5 bzw. 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n.b. nicht bestimmt

Tab. 14: Vergleich des N-Vorrates der Brachevarianten der oberirdischen Pflanzentrockenmassen mittels Mann-Whitney-U-Test

Variantenvergleich	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	Juli	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.
	1996					1997					1998				
	(%)														
FB vs Ph	n.b.	*****	*****	*****	n.b.	*****	*****	†	†	†	n.b.	*****	*****	****	****
FB vs Ro/HB(un)	n.b.	*****	n.b.	n.b.	n.b.	***	†	*****	*****	†	**	***	†	†	†
FB vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	†	*****	*	*
Ph vs Ro/HB(un)	n.b.	*****	n.b.	n.b.	n.b.	*****	*****	*****	*****	†	n.b.	*****	*****	*****	*****
Ph vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	****	****	****	****
Ro/HB(un) vs Ro/HB(ge)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	*	*	†	†

*, **, ***, ****, ***** signifikante Unterschiede bei 10; 5; 2,5; 1; 0,5 bzw. 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n.b. nicht bestimmt

Der Anteil nahm zum Juli 1996 auf 310,8 kg/ha Wurzelrockenmasse bzw. 16,4 % an der gesamten TM ab. Trotzdem wurde ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zu den noch sehr schwach entwickelten FB- und Ph-Varianten festgestellt. Der Verlauf der Wurzelbiomasseproduktion folgte dabei der Reihe Ro/HB(un) > FB > Ph. Der Anteil der Wurzelrockenmasse an der Gesamtmasse erreichte im Jahr 1996 unter der Phacelia maximal 8,6 % (Tab. 16). Bei den FB-Varianten konnte ein Anteil von 5,3 % festgestellt werden (Tab. 16). Dies kann als Hinweis auf die relativ gute Versorgung der Böden mit Nährstoffen angesehen werden, Es ist allgemein bekannt, daß Pflanzenwurzeln sowohl zum P und N als auch zum Wasser „hinwachsen“ (Drew, 1975; Schilling, 1987). Deshalb konnte im ersten Untersuchungsjahr kein großes Wurzelwachstum festgestellt werden. Im August 1997 hingegen wurden Wurzelrockenmassen auf den FB-Varianten von fast 6.600 kg/ha festgestellt. Damit erreichte die Wurzelbiomasse einen Anteil von knapp 62 % an der Gesamttrockenphytomasse.

Tab. 16: Verhältnis der Wurzelrockenmasse an der Gesamtplantrockenmasse der verschiedenen Brachevarianten

Brachevarianten	1996			1997			1998		
	Juni	Juli	Okt.	Juli	Aug.	Okt.	Juni	Juli	Aug.
	(%)								
FB	n.b.	5,34	3,24	51,10	61,70	44,67	58,70	67,80	44,61
Ph	n.b.	8,63	3,40	45,85	8,70	n.b.	46,24	29,16	34,43
Ro/HB(un)	33,83	16,40	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Zu diesem Zeitpunkt unterschieden sich die FB-Varianten hinsichtlich der Wurzelrockenmasse signifikant ($p \leq 0,001$) von den Ph-Varianten, wo TM von 470 kg/ha berechnet wurden (Tab. 15). Auch im Juli 1998 konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Wurzelmassen der FB-Variante und der Ph-Variante festgestellt werden (FB >> Ph; $p \leq 0,05$). In diesem Jahr wurde insgesamt eine geringere Wurzelmasse als im Jahr 1997 festgestellt (Tab. 15), allerdings erreichte die Wurzelmasse einen Anteil von fast 68 % an der gesamten Phytomasse (Tab. 16). Im Untersuchungszeitraum ist dies der höchste Anteil von Wurzeln an der gesamten Pflanzenmasse, was auf Dominanz von *Agropyron repens* im Jahr 1998 zurückgeführt werden kann (Krumbiegel und Klotz, 1998). Dieser Pflanzenbestand bildete eine große Anzahl von unterirdischen Ausläufern und damit auch eine große Wurzelmasse (Weymar, 1988).

Tab. 17: C-Vorrat der Wurzeln der verschiedenen Brachevarianten in den gemessenen Tiefenstufen

Brachevarianten	Tiefenstufe --(cm)--	1996			1997				1998			
		Juni	Juli	Okt.	April	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Juni	Juli	Aug.
		(kg/ha)										
FB	0-10	181,3	53,0	100,1	218,2	447,8	1084,3	2472,6	1341,9	1087,3	1889,5	886,8
	10-30	246,5	24,3	20,2	25,4	314,1	96,5	285,0	152,3	203,1	180,9	132,6
	30-60	n.b.	0,6	n.b.	4,2	23,3	51,6	65,1	23,3	142,5	144,1	79,4
	0-60	427,8	77,9	120,3	247,8	785,2	1232,4	2822,7	1517,5	1432,9	2214,5	1098,8
Ph	0-10	n.b.	105,2	84,3	n.b.	314,1	529,9	179,6	n.b.	372,2	491,8	452,8
	10-30	n.b.	48,4	4,5	n.b.	74,6	55,7	27,3	n.b.	80,6	99,0	77,8
	30-60	n.b.	4,2	n.b.	n.b.	n.b.	23,1	3,1	n.b.	32,0	45,0	48,0
	0-60	n.b.	157,8	88,8	n.b.	388,7	608,7	210,0	n.b.	484,8	635,0	578,6
Ro/HB(un)	0-10	447,9	90,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	10-30	394,4	47,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	30-60	n.b.	16,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	0-60	842,0	154,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Der C-Vorrat der unterirdischen Phytomasse unterlag im Untersuchungszeitraum einer kontinuierlichen Zunahme sowie jahreszeitlichen Veränderungen (Tab. 17). 1997 und 1998 waren in den Spätsommermonaten die höchsten C-Vorräte in den Wurzeln gespeichert. Im August 1997 erreichten diese 2.823 kg C/ha und im Juli 1998 2.214 kg C/ha (Tab. 17). Damit waren 60 bis 95 % des gesamten C-Vorrates der Pflanzenmassen in den Wurzeln akkumuliert (Tab. 18).

Tab. 20: Verhältnis des N-Vorrats der Wurzeltrockenmasse am N-Vorrat der gesamten Pflanzentrockenmasse der verschiedenen Brachevarianten

Brache-varianten	Juni	Juli	Okt.	Juli	Aug.	Okt.	Juni	Juli	Aug.
	1996			1997			1998		
(%)									
FB	n.b.	2,80	2,19	31,67	48,32	37,02	85,24	93,03	84,71
Ph	n.b.	6,51	1,95	19,78	4,41	n.b.	77,65	64,74	62,52
Ro/HB(un)	81,79	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Diese Differenzen sind zum großen Teil bedingt durch die Unterschiede in der Wurzelmasse sowie im N-Vorrat der verschiedenen Pflanzenarten (Tab. 19). Letzterer war gerade in den Jahren 1996 und 1997 in der FB-Brache signifikant höher als in der Ph-Brache ($p \leq 0,1$).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in den Wurzeln der Ruderalvegetation der FB-Parzellen wesentlich mehr C und N gespeichert waren als in der Phaceliamonokultur.

4 Zusammenfassende Diskussion und Schlußfolgerung

Bodenchemische Untersuchungsgrößen während der dreijährigen Brache

Zusammen mit dem pH-Wert dienten andere bodenchemische Kenngrößen als Begleitparameter der Untersuchungen. Letztere wurden jedoch lediglich an einem Termin des jeweiligen Untersuchungsjahres (Juli) erfaßt. Dazu wurde das Probenmaterial von zwei Teilparzellen je Tiefenstufe zu einer Mischprobe vereinigt, so daß bei der Diskussion keine Unterscheidung in Bezug auf die zwei Bodentypen möglich ist.

Der pH-Wert stieg im ersten Jahr nach Brachlegung leicht an, was im Zusammenhang mit der hohen Nitratkonzentration im Boden bis in den Herbst hinein stehen könnte (Abb. 17). Zwischen pH-Wert und NO_3^- -N-Konzentration bestand während dieses Zeitraumes eine sehr enge Korrelation. Dies kann zwei Ursachen haben. Auf der einen Seite wurden bei der Aufnahme von NO_3^- -N an der Wurzeloberfläche OH^- -Ionen abgegeben. Diese Reaktion, gefördert durch eine relativ hohe pflanzliche Biomasseproduktion im Jahr 1996, führte zu einem Anstieg der Bodenreaktion. Auf der anderen Seite sind die mikrobiologischen Komponenten der Nitrifikation zu beachten. Nach Duisberg und Buehrer (1954) und Mengel (1991) steigt die Nitrifikation mit zunehmenden pH-Wert, da die nitrifizierenden Bakterien erst ab pH-Werten von 4,1 aktiv sind. Ab dem zweiten Untersuchungsjahr war ein leichter Rückgang der Bodenreaktion auf pH 6,5 festzustellen, und verblieb bis zum Ende der Untersuchungen auf diesem Niveau. Damit konnte die von Gisi (1997) beobachtete Absenkung der Bodenreaktion mit zunehmender Brachedauer auf diesem Standort nicht bestätigt werden.

Die verschiedenen Brachevarianten übten keinen differenzierten Einfluß auf den Boden-pH-Wert aus, welcher sich im Verlauf des Untersuchungszeitraumes auf 6,5 einpegelte. Hingegen wurden in allen vier Tiefenstufen der Humosen Braunerde eine signifikant höhere Bodenreaktion im Vergleich zur Typischen Braunerde gemessen (Abb. 18).

Im Verlauf des dreijährigen Untersuchungszeitraumes kam es zu einer leichten Erhöhung der untersuchten pflanzenverfügbaren Makronährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden. Dabei erreichte $\text{P}_{(\text{DL})}$ rund 140 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 19) und $\text{K}_{(\text{DL})}$ Gehalte von 290 bis 430 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 20). Die Mg-Gehalte variierten zwischen 125 und 220 $\mu\text{g/g}$ TS (Abb. 21). Damit liegen diese im Rahmen bekannter Werte für leichte Sandstandorte (Scheffer und Schachtschabel, 1998; Blume, 1990). Der leichte Anstieg der untersuchten Makronährstoffe

im ersten Brachejahr könnte mit einer Mineralisierung dieser Elemente aus Ernterückständen und Wurzelstreu in den vorher intensiv landwirtschaftlich genutzten Böden erklärt werden.

Die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) variierte im Jahr 1996 zwischen 36 und 44 $\mu\text{eq/g TS}$ (Tab.1). Trotz hoher Streuung der Werte war im Verlauf des Untersuchungszeitraumes eine leichte Abnahme der KAK_{eff} zu erkennen. Allerdings wurde kein erhöhter Verlust von basisch wirksamen Kationen in Sandböden nach Brachlegung, wie von Stahr und Jahn (1992) beschrieben, festgestellt. Hingegen wurde mit Ausnahme der Tiefenstufe 30 bis 60 cm eine leichte Zunahme der Basensättigung beobachtet. Die Ca- und Mg-Sättigung nahm in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 cm und 10 bis 30 cm) zu und in den beiden unteren Tiefenstufen (30 bis 60 cm und 60 bis 100 cm) ab. Dies deutet auf eine Verlagerung beider Ionen in den Unterboden hin. Die gegensätzliche Entwicklung dieser Parameter zu den von Stahr und Jahn (1992) beschriebenen Ergebnissen könnte in den wesentlich geringeren Niederschlägen im mitteldeutschen Raum begründet liegen.

Die verschiedenen Brachevarianten übten keinen signifikanten Einfluß auf die KAK_{eff} aus.

Einfluß der verschiedenen Brachevarianten auf ausgewählte Untersuchungsgrößen des C-Kreislaufes

Im Boden der Untersuchungsfläche konnte anorganischer C in Form von CaCO_3 nur in wenigen Proben und auch nur in minimalen Mengen festgestellt werden (0,08 %). Es kann daher davon ausgegangen werden, daß der gemessene Ct dem Corg entspricht. Abgesehen von der Ro/HB-Variante im Jahr 1996 konnten zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine signifikanten Unterschiede im Corg-Gehalt des Bodens festgestellt werden. Im ersten Jahr wurden Corg-Gehalte von etwa 8.000 $\mu\text{g/g TS}$ in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) gemessen (Abb. 24). Dies entspricht einem C-Vorrat von rund 11.700 kg/ha. In der untersten Tiefenstufe (60 bis 100 cm) wurden hingegen erwartungsgemäß geringe Gehalte um 1.000 $\mu\text{g/g TS}$ festgestellt. Trotz der geringen Humusgehalte ergab sich jedoch, bezogen auf 40 cm Bodenmächtigkeit, ein Vorrat von etwa 5.400 kg/ha. Insgesamt ist ein deutlicher Tiefengradient zu erkennen, der durch eine Abnahme von organischer Substanz mit zunehmender Tiefe erklärt werden kann. Bezogen auf eine Tiefe von 1 m wurde ein Gesamtvorrat von 46.789 kg Corg/ha berechnet. Innerhalb der drei Untersuchungsjahre kam es zu einer leichten Zunahme des Gesamtvorrates um etwa 3.500 kg/ha. Betrachtet man dieses Ergebnis tiefenstu-

fenbezogen, so wird deutlich daß diese C-Anreicherung hauptsächlich im Anstieg der Corg-Vorräte in den obersten 10 cm des Bodens begründet liegt.

Die Corg-Gehalte im KCl-Extrakt ($C_{org(KCl)}$) widerspiegeln meiner Auffassung nach eine leicht lösliche C-Fraktion (Abb. 25). Der $C_{org(KCl)}$ unterlag großen jahreszeitlichen Schwankungen; wurden im Oberboden etwa 30 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt, so waren es in der untersten Tiefenstufe lediglich 25 $\mu\text{g/g}$ TS, was Vorräten von 35 bzw. 80 kg $C_{org(KCl)}/\text{ha}$ entspricht. Diese C-Fraktion war durch einen deutlich ausgeprägten Tiefengradienten gekennzeichnet. Zu Beginn der Untersuchungen wurde ein Gesamt-Corg(KCl)-Vorrat von über 200 kg/ha gemessen, welcher im Verlauf der drei Jahre auf 130 kg/ha abnahm. Dabei konnte die Abnahme hauptsächlich in den drei unteren Tiefenstufen festgestellt werden. In den obersten 10 cm des Bodens hingegen kam es zu einer Zunahme der $C_{org(KCl)}$ -Vorräte. Diese Tatsache läßt den Schluß eine reduzierten Tiefenverlagerung durch fehlende Bodenbearbeitung zu. Mit zunehmender Brachedauer nahm die saisonale Dynamik des $C_{org(KCl)}$ ab.

Der $C_{org(KCl)}$ betrug etwa ein Zehntel der heißwasserlöslichen C-Fraktion und hatte einen Anteil von weniger als 1 % am Corg im Oberboden und von 2 % im Unterboden (Abb. 26). Dies kann als Hinweis auf die leichte Mobilisierbarkeit und die entsprechende Möglichkeit einer Tiefenverlagerung in Sandböden angesehen werden. Zwischen $C_{org(KCl)}$ und Corg bestand während des gesamten Untersuchungszeitraumes ein sehr enges korrelatives Verhältnis. Darüber hinaus wurden enge Korrelationen zum $N_{t(KCl)}$ festgestellt. Im Verlauf der Brache kam es zu einer Aufweitung des $(C/N)_{(KCl)}$ -Verhältnisses in allen vier Tiefenstufen (von 1,1 auf 4,3 in 0 bis 10 cm; von 1,5 auf 3,4 in 10 bis 30 cm; von 1,5 auf 6,3 in 30 bis 60 cm und von 1,6 auf 8,5 in 60 bis 100 cm Tiefe). Zum Bodenwasser wurden während der niederschlagsreichen Jahreszeiten (Frühjahr und Herbst) korrelative Beziehungen nachgewiesen. Auch zur Bodenreaktion wurden bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit hochsignifikante Korrelationen nachgewiesen. Hingegen folgten die Beziehungen zu anderen untersuchten Parametern keinem einheitlichen Trend. Im Rahmen dieser Untersuchungen war es leider nicht möglich, Aussagen zur Struktur dieser C-Fraktion bzw. zur Bedeutung dieser Fraktion im C-Kreislauf zu treffen. Dazu bedarf es weiterführender Untersuchungen.

In Bezug auf den heißwasserlöslichen Kohlenstoff ($C_{org(HWL)}$) wurden keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachen festgestellt. So konnten zu Beginn der Untersuchungen in der obersten Tiefenstufe $C_{org(HWL)}$ -Gehalte von rund 350 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt werden, was einem Vorrat von rund 500 kg $C_{org(HWL)}/\text{ha}$ entspricht. Die Tiefenstufe von 60 bis 100 cm wies Gehalte von rund 50 $\mu\text{g/g}$ TS (etwa 150 kg/ha) auf (Abb. 27). Damit unterlag auch diese

C-Fraktion einem sehr stark ausgeprägten Tiefengradienten. Bezogen auf eine Tiefe von 1 m wurde ein $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Vorrat von insgesamt 1.375 kg/ha berechnet. Damit übertraf dieser Sandstandort sogar die $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte eines brachgefallenen Schwarzerdestandortes in Mitteldeutschland (Schulz, 1990). Dieses Ergebnis ist sehr erstaunlich und läßt eine starke Zufuhr von organischer Substanz (Mist, Gülle, Ernterückstände) während der vorangegangenen Jahre unter Ackernutzung vermuten. Wurde im ersten Jahr in allen Tiefenstufen eine Abnahme der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte festgestellt, konnte im Jahr 1997 ein Anstieg registriert werden. Dieses Ergebnis verwundert nicht, da eine Dynamik im $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Gehalt ein intensives Bodenmanagement voraussetzt (Leinweber, 1994). Innerhalb von drei Jahren kam es zu einer leichten Zunahme des $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ -Vorrates um 122 kg/ha bezogen auf eine Bodentiefe von 1 m. Tiefenstufendifferenziert ist diese Zunahme zum großen Teil mit einer Akkumulation von $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ in 0 bis 10 und 10 bis 30 cm Tiefe verbunden. In den beiden unteren Tiefenstufen wurde insgesamt eine Abnahme um 124 kg/ha nachgewiesen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes bestand eine ausgesprochen enge korrelative Beziehung des $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ zum $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ im Boden. Mit zunehmender Brachedauer erhöhte sich das $(\text{Corg}/\text{Nt})_{(\text{HWL})}$ -Verhältnis von 6,4 auf 8,0 in der obersten Tiefenstufe. In den darunter liegenden Tiefenstufen wurde dieser Prozeß noch deutlicher sichtbar (3,3 auf 11,5 in der Tiefenstufe 60 bis 100 cm). Dies läßt den Rückschluß auf eine schnellere Mineralisierung und Tiefenverlagerung des $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ im Boden im Gegensatz zum $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ zu. Enge korrelative Beziehungen des $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$ zu verschiedenen N-Fractionen im Boden sind bereits aus anderen Untersuchungen bekannt (Körschens et al., 1990; Schulz, 1990). Auch auf diesem Standort wurden signifikante Korrelationen zu den folgenden N-Fractionen sichtbar: $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$, $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$, NH_4^+ -N und NO_3^- -N.

Zum Gesamt-Kohlenstoffgehalt des Bodens konnten während des gesamten Untersuchungszeitraumes signifikante Beziehungen nachgewiesen werden. Das $\text{Corg}_{(\text{HWL})}/\text{Corg}$ -Verhältnis beschreibt den Anteil des leicht abbaubaren Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoffgehalt (Deubel, 1995). Im Durchschnitt der Flächen nahm der heißwasserlösliche C einen Anteil von rund 4 % am Corg ein, wobei im Oberboden eine starke Variation der Einzelwerte auffiel (Abb. 28). Dieser Anteil wurde bis in 1m Bodentiefe festgestellt. Damit konnte für diesen leichten Sandstandort ein ähnliches C-Nachlieferungsvermögen wie für einen Parabraunerdestandort in der Leipziger Tieflandsbucht nachgewiesen werden (Deubel, 1995). Nach Körschens et al. (1990) setzt sich diese leicht abbaubare C-Fraktion aus einfachen organischen Verbindungen sowie leicht depolymerisierbare Kohlenwasserstoffen zusammen. Letztere sind

dabei aus Kohlenhydraten aufgebaut, welche ihren Ursprung in der mikrobiellen Biomasse sowie in Wurzelexudaten und -lysaten haben (Körschens et al., 1990; Leinweber et al., 1994). Insgesamt bestanden zwischen $C_{org(HWL)}$ und C_{mic} nur mäßig enge Beziehungen. Jedoch konnten vor allem im letzten Jahr der Untersuchungen einige Korrelationen zwischen den beiden Parametern beobachtet werden. Daraus kann geschlußfolgert werden, daß die Bedeutung des $C_{org(HWL)}$ für die Ernährung der mikrobiellen Biomasse im Verlauf der Brache zugenommen hat.

Einfluß der verschiedenen Brachevarianten auf ausgewählte Untersuchungsgrößen des N-Kreislaufes

Der Gesamtstickstoff im Boden (N_t) wies zu Beginn der Untersuchungen Gehalte von rund 600 $\mu\text{g/g}$ TS in der obersten Tiefenstufe auf. Der N_t unterlag einem deutlichen Tiefengradienten, da in der untersten Tiefenstufe (60 bis 100 cm) lediglich rund 100 $\mu\text{g/g}$ TS gemessen wurden (Abb. 29). Auf Grundlage dieser Gehalte wurde für 1 m Bodentiefe ein N_t -Vorrat von 4.198 kg/ha berechnet. Die verschiedenen Brachevarianten hatten keinen Einfluß auf die N_t -Gehalte im Boden.

Im Verlauf von drei Jahren kam es zu einer leichten Zunahme des N_t -Vorrates um rund 1.400 kg/ha, bezogen auf 1 m Bodentiefe. Die Erhöhung des Vorrates konnte hauptsächlich in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) beobachtet werden. Diese Zunahme läßt sich einerseits mit der Inhomogenität des Bodens und andererseits mit atmogenen N-Einträgen erklären. Die im Frühjahr 1998 durchgeführte mineralische N-Düngung war im Juni desselben Jahres in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) nachweisbar. Zum folgenden Probenahmetermin konnte der Einfluß der N-Düngung nicht mehr erkannt werden.

Beim Norg konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten festgestellt werden. Zu Beginn der Untersuchungen waren in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) Gehalte von über 600 $\mu\text{g/g}$ TS (ca. 940 kg/ha) und in der untersten Tiefenstufe rund 100 $\mu\text{g/g}$ TS (< 800 kg/ha) nachzuweisen (Abb. 30). Damit ergab sich für diese N-Fraktion ein abnehmender Tiefengradient. Zum ersten Probenahmetermin im Juni 1996 wurde ein Norg-Vorrat von 4.066 kg/ha berechnet. Im Verlauf der Untersuchungen nahm der Norg in allen Tiefenstufen signifikant zu. So konnte im Oktober 1998 eine Erhöhung des Norg-Vorrates um 1.508 kg/ha auf 5.574 kg/ha festgestellt werden. Der Norg erreichte zu Beginn der Untersuchungen Anteile von 97 % am N_t in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm),

welche innerhalb von sechs Wochen auf 99 % anstiegen und im Verlauf der Untersuchungen dieses Niveau hielten. Der Norg-Anteil am Nt nahm in allen vier Tiefenstufen zu, wenngleich mit einer zeitlichen Verzögerung. Der Norg der untersten Tiefenstufe (60 bis 100 cm) erreichte erst im Jahr 1997 einen Anteil von 99 % am Nt (Abb. 31). Vergleichbare Anteile findet man in Angaben anderer Autoren (Gisi, 1997; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die mineralische N-Düngung schlug sich bei dieser N-Fraktion signifikant nieder. Erklären läßt sich die Zunahme der Norg-Fraktion vermutlich mit einer raschen mikrobiellen Resynthese der mineralischen Verbindungen oder mit der Bildung von Chinon-NH₂-Brücken (Beese et al., 1995).

Der Gesamtstickstoff des KCl-Extraktes ($N_{t(KCl)}$) setzt sich aus den Fraktionen Ammoniumstickstoff (NH₄⁺-N), Nitratstickstoff (NO₃⁻-N) und organischem KCl-extrahierbaren Stickstoff ($N_{org(KCl)}$) zusammen. Die KCl-Extraktion wird zu den milden Extraktionsverfahren gerechnet (Stanford, 1982). Diese Verfahren lassen gegenüber den sogenannten „mittelstarken“ und „intensiven“ Extraktionsverfahren mittels KMnO₄-Lösung bzw. 6 N HCl-Lösungen (Keeney, 1982; Stevenson, 1982; Kohl, 1989; Stanford, 1982; Hoffmann, 1991; Schlichting, 1998; Appel und Mengel, 1998) Informationen über das Mineralisierungsvermögen der Böden innerhalb einer Vegetationsperiode zu (Werner, 1986; Fox, und Piekeler, 1978; Stanford, 1982; Verstraeten, et al., 1970). Nach Angaben von He et al. (1988) und Jenkinson, (1968) wird milden Verfahren auch eine größere Selektivität bei der Erfassung des in der mikrobiellen Biomasse inkorporierten Stickstoffs zugeschrieben. Zur Abschätzung der N-Dynamik in Böden nach anthropogenen Eingriffen wie Düngung, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge/Fruchtartenwahl scheint die $N_{t(KCl)}$ -Fraktion von großem Interesse zu sein. Zu Beginn der Untersuchungen wurde im Boden der Ro/HB-Parzellen signifikant geringere $N_{t(KCl)}$ -Gehalt festgestellt als in den anderen Brachevarianten, was auf eine Abschöpfung des mineralischen N durch die Roggenkultur hindeutet. Im folgenden Untersuchungsverlauf waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Brachevarianten feststellbar. Diese N-Fraktion unterlag einem nur schwach ausgeprägten Tiefengradienten. Innerhalb der ersten sechs Wochen nach Versuchsbeginn wurde in allen vier Tiefenstufen eine starke Abnahme der $N_{t(KCl)}$ -Gehalte um über 50 % festgestellt. Dieses Niveau wurde über den gesamten Verlauf der Untersuchungen gehalten. Am Anfang der Untersuchungen waren in 1 m Bodentiefe 172 kg $N_{t(KCl)}$ /ha gespeichert und im Oktober 1998 lediglich 56 kg/ha (Abb. 32). Die Reduktion der $N_{t(KCl)}$ -Gehalte im Boden wurde hauptsächlich durch die starke Abnahme der

NO_3^- -N-Gehalte hervorgerufen. Nachweisbar war auch eine Abnahme des Anteils des $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ am Nt von anfänglich 3 % auf etwa 1 % am Ende der Untersuchungen.

Bei dem $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ handelt es sich um eine milde salzlösliche Fraktion. Dies wird deutlich, wenn man die relativen Anteile des Ammonium- (15 bis 60 %) und Nitratstickstoffs (18 bis 40 %) am $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ beobachtet. Beide Fraktionen können in sandigen Substraten sehr mobil sein (Hartmann, 1998). Diese beiden mineralischen N-Fractionen prägten während des gesamten Untersuchungszeitraumes die Dynamik der $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion. Dem NO_3^- -N ist dabei die dominierende Funktion zuzuordnen.

Die Fraktion des naßchemisch extrahierbaren organischen Stickstoff wird in der Literatur sehr kontrovers diskutiert (Kuhlmann et al., 1986; Nemeth, 1985; Houba et al., 1986; Nemeth et al., 1987; Mählhop, 1987; Appel und Steffens, 1988; Ziegler, 1988; Kohl und Werner, 1986; Olf und Werner, 1988; Hoegen, 1992). Appel (1991) beschrieb die durch CaCl_2 -extrahierbare organische N-Fraktion weniger als einen N-Vorrat, sondern vielmehr als eine Durchgangsfraktion, welche sich im Fließgleichgewicht der Transformationsprozesse im Boden zwischen Immobilisation und Mineralisation befindet. Auch aktuelle Untersuchungen ordnen den CaCl_2 -extrahierbaren Norg in die Gruppe der leicht mineralisierbaren Stickstofffraktionen ein (Appel, 1998; Appel und Mengel 1998). Jedoch ist die stoffliche Zusammensetzung dieser Fraktion bis heute weitestgehend ungeklärt. Nemeth et al. (1986) vermuten, daß sich der $\text{Norg}_{(\text{CaCl}_2)}$ hauptsächlich aus Amino-N zusammensetzt. Diese Vermutung wurde durch Untersuchungen von Leinweber und Schulten (1997) durch die Charakterisierung der Hydrolysate als Aminosäure-N, Aminosucker-N und NH_3 -N bestätigt. Anderen Untersuchungen zufolge besitzen freie Aminosäuren jedoch nur einen Anteil von ca. 2 bis 8 % an der $\text{Norg}_{(\text{CaCl}_2)}$ -Fraktion (Recke et al., 1990). Ulschner-Peetz und Neumann (1990) konnten bei Untersuchungen von drei verschiedenen Bodenarten nur 0,3 bis 1,3 % des Norg-N als „freie Aminosäuren“ charakterisieren. Bei diesen Untersuchungen wurde zudem festgestellt, daß in Abhängigkeit von der Bodenart zwischen 25 und 90 % dieser N-Fraktion als Protein-N vorliegen. Auch nach der Hydrolyse verbleiben Stickstoffverbindungen in den Hydrolyserückständen. Dieser unbekannte N besteht nach Schnitzer und Ivarson (1982) aus nicht identifizierbaren hydrolysierbaren N, nicht hydrolysierbaren N und zu 50 % aus NH_3 -N. Somit kann der unbekannte N zwischen 30 bis 60 % des gesamten Bodenstickstoffs ausmachen (Leinweber und Schulten, 1997). Neuere Untersuchungsmethoden, welche auf der Kombination von physikalischer Trennung der organischen Bodensubstanz (OBS), naßchemischen Verfahren und Pyrolyse gekoppelt mit Massenspektrometrie, Feldionisationsmassenspektrometrie, Gas-

chromatographie/Massenspektrometrie der naßchemisch nicht zu erfassenden Anteile beruhen, führten zu weiterführenden Aussagen. Danach konnte der bisher unbekannt organische Stickstoff strukturell den Heterozyklen, Nitrilen, Amino-N/Aminen und dem α -Amino-N mit typischen Aminosäuremuster zugeordnet werden (Leinweber und Schulten, 1997). Dennoch besteht bei der Untersuchung dieser N-Fraktion weiterer Forschungsbedarf (Leinweber und Schulten, 1997; Appel und Mengel, 1998).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse empfiehlt Hoegen (1992) die Entwicklung eines verbesserten N-Prognosesystems für die Landwirtschaft unter Berücksichtigung der löslichen Norg-Fraktion. Olf und Werner (1993) betrachten die Entwicklung eines solchen Prognosesystems jedoch skeptisch. Siepen und Werner (1995) konnten einen engen Zusammenhang zwischen den CaCl_2 -extrahierbaren Norg-Gehalten und der Stickstoffnachlieferung in Böden nachweisen und empfehlen deshalb die Anwendung eines sogenannten Norg-Konzeptes auf Standorten mit hohem Mineralisierungspotential und auf grundwassersensiblen Böden. Die Eignung des CaCl_2 -extrahierbaren Norg-Gehaltes zur Prognose des Düngungsbedarfs wurde in vielen Studien geprüft und unterschiedlich gewertet (Barekzai et al., 1991; Wodsak und Werner, 1991; Appel, 1991; Olf, 1992; Hoegen, 1992; Siepen und Werner, 1995).

Eine enge Korrelation zwischen dem Norg-Gehalt im Boden und der N-Nachlieferung wurde nur teilweise bestätigt (Kohl und Werner, 1986; Olf und Werner, 1988).

Die Untersuchungen der Böden mittels KCl-Extraktion ergaben eine vergleichbare Häufigkeitsverteilung der Norg-Gehalte mit den aus der Literatur bekannten Gehalten, welche mittels CaCl_2 extrahiert wurden (Ortseifen und Werner, 1993; Siepen und Werner, 1995). Aus diesem Grund wird der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt in der nachfolgenden Diskussion dem CaCl_2 -extrahierbaren Norg-Gehalt gleichgesetzt. Die Fraktion des KCl- bzw. CaCl_2 -extrahierbaren organischen Stickstoffes gilt als die Fraktion, welche einen fließenden Übergang zum mineralischen Stickstoff darstellt und als unmittelbar korrespondierende N-Fraktion zum N_{min} im Boden angesehen wird (Appel, 1991).

Generell wird in der Literatur eine enge Korrelation zwischen dem mittels verschiedener Methoden (HCl, EUF, CaCl_2 - bzw. K_2SO_4) extrahierten Norg-Gehalt und der mikrobiellen Biomasse aufgeführt (Ivarson und Schnitzer 1978; Kohl und Werner, 1986; Nemeth et al., 1996; Rheinaben, 1988; Olf und Werner, 1989; Olf und Beck, 1990). Eindeutig belegt ist auch der Zusammenhang zwischen der nachlieferbaren Norg-Fraktion und der Witterung einerseits (Olf und Werner, 1989) und der Bodenart andererseits (Kohl und Werner 1989).

Zu Beginn der Untersuchungen wurden in der obersten Tiefenstufe $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte von 5 bis 6 $\mu\text{g/g}$ TS festgestellt (Abb. 34). Nach den Einstufungskriterien für den CaCl_2 -extrahierbaren Norg konnte dieser Standort als hoch versorgt eingestuft werden (Ortseifen und Werner, 1993; Siepen und Werner, 1995). Die Häufigkeitsverteilung der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte wies eine große jahreszeitliche Dynamik auf (Abb. A6 bis A), was entsprechend der Ergebnisse anderer Autoren als Standortspezifität gewertet wird (Hoegen, 1992; Kohl und Werner, 1986; Ols, 1992; Appel, 1991).

Abgesehen vom Anfangszeitraum der Untersuchungen, wo die Einflüsse der Bodenbearbeitung noch sichtbar waren, konnten zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine signifikanten Unterschiede im $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt der Böden herausgestellt werden. Im Laufe der Untersuchungen kam es zu einer stetigen Abnahme der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte. So wurde innerhalb von drei Jahre ein Abnahme von rund 28 kg/ha, bezogen auf 1 m Tiefe berechnet. Korrelationen zur mikrobiellen Biomasse konnten lediglich zu den Frühjahrs- und Herbstterminen, dann allerdings hochsignifikant herausgestellt werden. Die Beziehung zur Basalatmung war auf die selben Zeiträume begrenzt, allerdings wurden hier negative Korrelationen gefunden.

Auch der Ammoniumstickstoff (NH_4^+ -N) unterlag sehr starken jahreszeitlichen Schwankungen, welche schon von anderen Autoren beschrieben wurden (Mengel, 1991; Schmidt et al., 1985; Asmus, 1994). So wurde eine Zunahme der NH_4^+ -N-Gehalte in den Herbstmonaten und eine Abnahme in den Sommermonaten registriert (Abb. 37). Sehr gut ließ sich diese Dynamik am NH_4^+ -N-Anteil des $\text{Nt}_{(\text{KCL})}$ herausstellen. So wurden Frühjahreswerte von bis zu 45 % und Sommerwerte von 18 % am $\text{Nt}_{(\text{KCL})}$ festgestellt. Innerhalb der dreijährigen Brachedauer wurde eine Abnahme des NH_4^+ -N-Vorrats um knapp 7 kg/ha, bezogen auf 1 m Tiefe ermittelt. Damit wurde auf diesem Standort eine ausgewogene Dynamik sichtbar. Die engen korrelativen Beziehungen zwischen den NH_4^+ -N-Gehalten und der mikrobiellen Biomasse in den Böden, die auch für diese Untersuchungsfläche nachgewiesen werden konnte, erklärte sich aus der Rolle der Mikroorganismen bei der Mineralisierung und ist wohlbekannt (Gisi, 1997; Mengel, 1991; 1996; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die NH_4^+ -N-Konzentration im Boden wurde in entscheidendem Maße durch den Wassergehalt des Bodens beeinflusst (Hanschmann, 1983; Gisi, 1997; Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die von Schmidt et al., 1985; Mengel, 1991; Mengel, 1996; Scheffer und Schachtschabel, 1998 bekannten Korrelationen des NH_4^+ -N-Gehaltes im Boden zum pH-Wert wurden bestätigt.

Zu Beginn der Untersuchungen wurden im Boden unter der Roggenkultur signifikant niedrigere Nitratstickstoffgehalte (NO_3^- -N) im Vergleich zu den anderen Varianten ermittelt (Abb. 38). Während im Boden der Bracheparzellen ein NO_3^- -N-Vorrat von rund 150 kg/ha bezogen auf 1 m Tiefe festgestellt wurde, waren es im Boden unter Roggen lediglich 36 kg/ha. Der NO_3^- -N-Vorrat der Brachevarianten wurde jedoch innerhalb weiterer sechs Wochen abgeschöpft. Diese Abnahme wurde, wenn auch zeitlich verzögert, bis in eine Tiefenstufe von 1 m festgestellt. Aus diesen Ergebnissen kann vermutet werden, daß ein nicht geringer Teil des NO_3^- -N in größere Tiefenstufen verlagert und letztendlich ausgewaschen wurde, da unter Sandböden mit einer großen Versickerungsrate gerechnet werden muß (Böttcher und Strebel, 1985; Mengel und Pilbeam, 1992; Hartmann, 1998). Knappe und Keese (1997) berichten von einem anfänglich vergleichbar hohen Nitrataustrag (80 bis 200 mg/l) nach dem Brachfallen einer vorher intensiv landwirtschaftlich genutzten Fläche. Für ein Auswaschen des NO_3^- -N spricht auch die vorrangige Abnahme der Nitratvorräte innerhalb des Untersuchungszeitraumes in den beiden unteren Tiefenstufen (30 bis 60 und 60 bis 100 cm). Die NO_3^- -N-Vorräte nahmen innerhalb von drei Jahren um knapp 100 kg/ha bezogen auf 1 m Tiefe ab, das sind knapp 88 % des anfänglich festgestellten Vorrates. Während der Sommermonate konnte eine leichte Erhöhung festgestellt werden, was durch vergleichsweise hohe Temperaturen und einer damit einhergehenden verstärkten Nitrifizierung erklärt werden könnte (Spörl, 1981; Franko, 1989). Der gebildete NO_3^- -N unterliegt nicht dem sofortigen pflanzlichen Entzug und kann damit im Boden akkumuliert werden (Stahr, 1992).

Insgesamt wiesen die NO_3^- -Werte eine große Variationsbreite auf. Dieser Effekt verstärkte sich mit zunehmender Tiefe. Dies kann einerseits durch den inhomogenen Untergrund, andererseits durch die natürliche Streuung dieses Parameters, bedingt durch unterschiedlich vorherrschende Bedingungen, welche die Nitrifizierung beeinflussen, erklärt werden (Anlauf et al., 1989; Widmer und Richter, 1989; Dahiya et al., 1984; 1985; Aufhammer et al., 1989). Der Nitrat-N-Gehalt korrelierte zu allen Zeitpunkten signifikant mit der Bodenreaktion, was durch eine starke pH-Wertabhängigkeit von nitrifizierenden Bakterien erklärt werden kann (Mengel, 1991; Schmidt, 1985; Gisi, 1997). Seit langer Zeit ist die Abhängigkeit der Nitratbildung und damit der Nitratgehalte im Boden von der Feuchtigkeit bekannt (Sabey und Johnson, 1971; Campbell et al., 1974; Stanford und Epstein, 1974; Schmidt et al., 1985; Franko, 1989; Mengel, 1991; Yilmaz, 1997; Gisi, 1997). Auch auf diesem Sandstandort konnten zu fast allen Terminen signifikante Zusammenhänge zwischen dem NO_3^- -N-Gehalt und der Bodenfeuchtigkeit ermittelt werden. Sehr deutlich wurde die Beziehung zwischen dem Nitratgehalt im

Boden und der mikrobiellen Biomasse. Dabei konnte mit zunehmender Brachedauer auch eine Zunahme der signifikanten Korrelationen verzeichnet werden. Mit Ausnahme vom Zeitraum zu Beginn der Untersuchungen wurden zwischen den verschiedenen Varianten und dieser N-Fraktion keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Von dem im Juni 1996 im Boden vorliegenden mineralischen N-Vorrat von 132 kg/ha (NH_4^+ -N: 17,6 kg/ha, NO_3^- -N: 114,4 kg/ha) konnten von der oberirdischen Phytomasse bis zum Juli 1996 unterschiedlich große Mengen aufgenommen werden. Dabei wurde folgende Reihenfolge deutlich: Ph (70 kg/ha) < FB (117 kg/ha). Bis zum Oktober 1996 wurden insgesamt 172 kg/ha (FB) bzw. 154 kg/ha (Ph) von den Pflanzen aufgenommen. Die jeweilige Pflanzengemeinschaft stellt auf diesem Standort eine sehr wichtige N-Senke für den mineralisch gebundenen N im Boden dar, wobei die Phacelia trotz eines sehr hohen Wasserbedarfes und einer vermuteten intensiven Tiefendurchwurzelung nicht die gleiche N-Aufnahmeleistung besitzt wie die Pflanzengemeinschaft der Sukzessionsbrache.

Lediglich zu Beginn der Untersuchungen wurden bei der heißwasserlöslichen N-Fraktion ($\text{N}_{\text{t(HWL)}}$) signifikante Unterschiede beobachtet. Die $\text{N}_{\text{t(HWL)}}$ -Fraktion war starken Schwankungen unterworfen, welche hauptsächlich in den oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) sichtbar wurden. Dabei trat eine deutliche jahreszeitliche Dynamik des $\text{N}_{\text{t(HWL)}}$ mit Minimumwerten im Sommer und Maxima im Herbst bzw. Frühjahr auf. Trotz dieser Schwankungen konnte eine Abnahme der $\text{N}_{\text{t(HWL)}}$ -Gehalte mit zunehmender Brachedauer nachgewiesen werden (Abb. 40). Dies wird besonders bei der Betrachtung der Vorräte sichtbar. Wurden zu Beginn noch rund 890 kg/ha, bezogen auf 1 m Tiefe festgestellt, waren es am Ende der Untersuchungen lediglich rund 148 kg/ha. Damit kam es innerhalb der dreijährigen Brache bei der $\text{N}_{\text{t(HWL)}}$ -Fraktion zu der deutlichsten Abnahme innerhalb aller untersuchten C- und N-Fractionen des Bodens. Dies ist auch als Ursache für die Aufweitung des $(\text{C/N})_{\text{HWL}}$ -Verhältnisses zu sehen. Man kann also davon ausgehen, dass der leicht mineralisierbare N innerhalb des Untersuchungszeitraumes umgesetzt wurde, ohne dass ein vergleichbarer Nachschub aus der organischen Substanz stattfand. Deutlich wurde weiterhin, dass der heißwasserextrahierbare N in allen Tiefenstufen wesentlich größere Anteile am Nt einnahm als der KCl-extrahierbare organische N (Abb. 42). Der $\text{N}_{\text{t(HWL)}}$ kann daher nicht als das von Olf und Werner (1993) beschriebene Pendant zum CaCl_2 - bzw. KCl-extrahierbaren Norg betrachtet werden. Schon 1979 wurde von Bronner und Bachler beschrieben, dass mit dieser Extraktion auch die mikrobielle Biomasse des Bodens erfasst wird. Dies wird in neueren Arbeiten (Lein-

weber et al., 1995) bestätigt, in welchen davon ausgegangen wird, daß der $N_{t(HWL)}$ stärker mit der mikrobiellen Biomasse als mit der organischen Bodensubstanz und den mineralischen Bestandteilen des Bodens korreliert. Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse gilt dies jedoch nur bedingt für den brachgefallenen Sandstandort Kreinitz. Während der $N_{t(HWL)}$ innerhalb des Untersuchungszeitraumes drastisch abnahm, konnte sowohl für den mikrobiell gebundenen C als auch N eine Zunahme der Vorräte beobachtet werden. Nach Bronner und Bachler (1979) und Leinweber et al. (1995) besteht die Fraktion des $N_{t(HWL)}$ aus Aminostickstoff, ammoniakalischen Verbindungen und heterozyklischen N-Verbindungen, welche ihren Ursprung in der mikrobiellen Biomasse der Böden und den Wurzelexudaten und -lysaten haben. Demzufolge müßte der $N_{t(HWL)}$ aus ($N_{org(KCl)}$, N_{mic}) zusammengesetzt sein. Diese Aussage traf jedoch nicht für die beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) zu. Während in den Sommermonaten durch die Zusammensetzung von KCl-extrahierbaren organischen N und N_{mic} nie die $N_{t(HWL)}$ -Gehalte erreicht wurden, waren in den Frühjahrs- und Herbstmonaten höhere Gehalte zu verzeichnen. Bei der Berechnung des $N_{mic}/N_{t(HWL)}$ -Quotienten wurde festgestellt, daß der N_{mic} in den Frühjahrs- und Herbstmonaten bereits höhere Gehalte erreichte als der $N_{t(HWL)}$, eine Aussage, welche schon unter 3.1.6.1 für den $C_{mic}/C_{org(HWL)}$ -Quotienten getroffen wurde. Pilze bilden in den Zellwänden neben Cellulose auch verschiedenen Formen von Chitin als Gerüstpolysaccharid aus (Cellulose-Chitin, Chitin-Chitosan, Chitin- β -Glucan, Chitin-Mannan) (Müller und Loeffler, 1992). Chitin ist ein Homopolysaccharid, zwischen dessen Glycanketten sehr starke intermolekulare Wasserstoffbrücken, an denen Hydroxy- und Amidgruppen beteiligt sind, bestehen. Diese starken zwischenmolekularen Kräfte bedingen eine Unlöslichkeit von Chitin in Wasser (Jakubke und Jeschkeit, 1987). Dies scheint möglich, da im Boden der Untersuchungsfläche aufgrund des relativ weiten C/ N_{mic} -Verhältnis eine starke Besiedlung mit Pilzen vermutet wird (Campbell et al., 1991; Anderson und Domsch, 1980; Jenkinson, 1976). Daher wird die Möglichkeit in Betracht gezogen, daß diese Pilzhyphen nicht durch die Heißwasserextraktion, jedoch durch die Fumigations-Extraktionsmethode erfaßt wurden. Man kann allerdings davon ausgehen, daß auf diesem Standort innerhalb der N-Verbindungen eine vielseitige Dynamik herrscht, durch welche sich die prozentuale Zusammensetzung des $N_{t(HWL)}$ nicht pauschalisieren läßt.

In den Abbildungen 40 bis 42 wird die Entwicklung der untersuchten N-Fractionen über den Untersuchungszeitraum von 1996 bis 1998 in der Tiefenstufe von 0 bis 10 cm dargestellt. Besonders deutlich wird die Abnahme der $N_{t(HWL)}$ - und $N_{t(KCl)}$ -Fraktionen. Der mikrobiell gebundene Stickstoff nahm hingegen um fast 100 % zu.

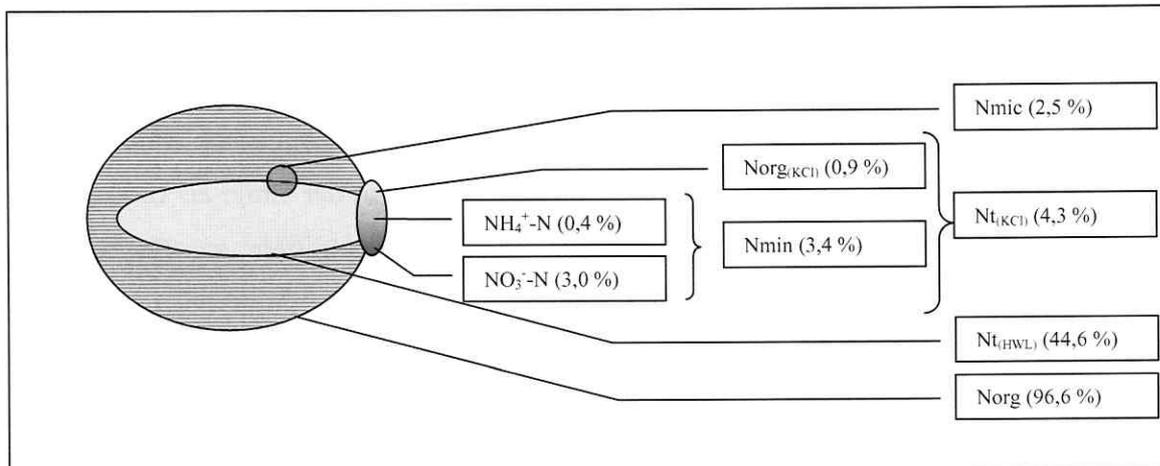


Abb. 69: Darstellung der untersuchten N-Fractionen im Boden im Juni 1996 in 0 bis 10 cm Tiefe

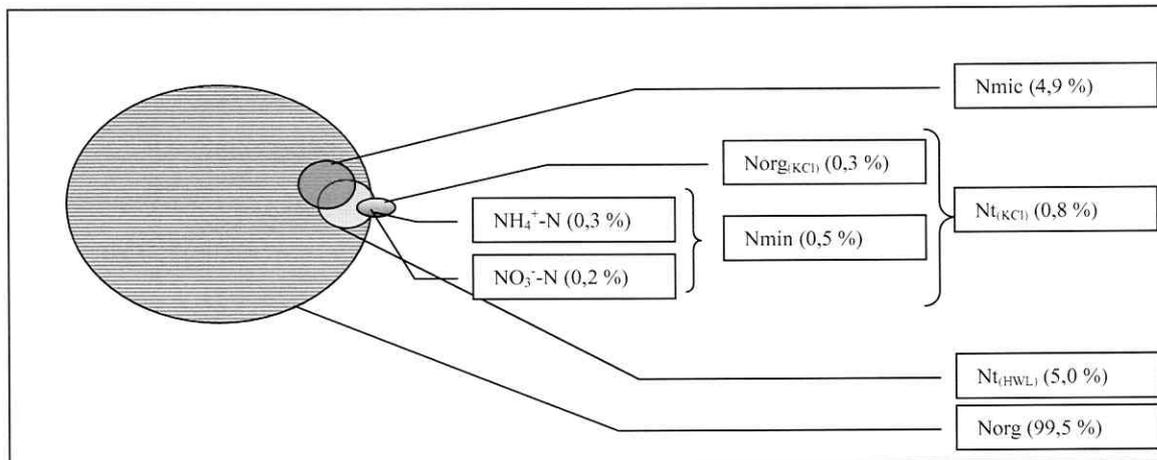


Abb. 70: Darstellung der untersuchten N-Fractionen im Boden im April 1997 in 0 bis 10 cm Tiefe

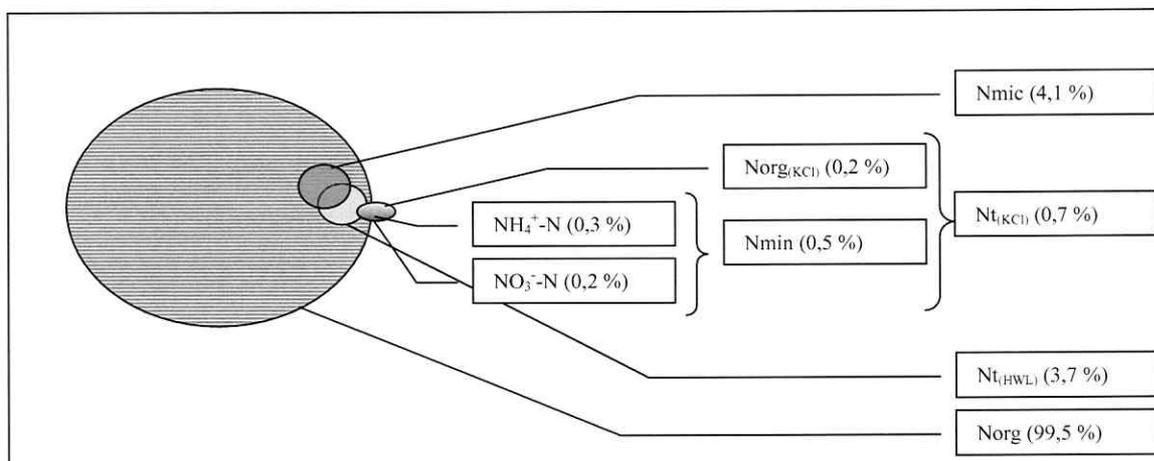


Abb. 71: Darstellung der untersuchten N-Fractionen im Boden im März 1998 in 0 bis 10 cm Tiefe

Mikrobielle Untersuchungsgrößen während der dreijährigen Brache

Die mikrobielle Biomasse repräsentiert einen geringen Teil der organischen Substanz, die sehr labil ist und einer sehr starken Dynamik unterliegt. Daher gilt der Cmic als Indikator für veränderte Umwelteinflüsse, Bodenbearbeitung, Einsatz von Düngemitteln, etc. (Insam et al., 1989; Brookes, 1995; Leita et al., 1999). Der Cmic besitzt sehr viele Funktionen im Ökosystemkompartiment Boden, so der Regulation der Nährstoffverfügbarkeit sowie der Erschließung von Nährstoffquellen zur Pflanzenernährung, welche zur Produktivität von Ökosystemen und seiner Wechselwirkung zum CO₂ der Atmosphäre beitragen (Cheng und Virginia, 1993). Viele Studien belegen die Wechselwirkung der mikrobieller Biomasse und der Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen (Jenkinson und Ladd, 1981; Houot und Chaussod, 1995).

Der Cmic war durch eine ausgeprägte jahreszeitliche Dynamik mit Maxima während der Frühjahrs- und Herbstmonate und Minima während der Sommermonate gekennzeichnet (Abb. 53). Trotz der saisonalen Variationen wurde im Laufe der dreijährigen Untersuchungen eine Zunahme des Cmic um 296 kg/ha, bezogen auf 30 cm Bodentiefe verzeichnet. Das beruht wahrscheinlich auf einer Anreicherung von abgestorbenen Wurzeln und organischen C-Verbindungen in den oberen Tiefenstufen, die zu einer Stimulierung der mikrobiellen Biomasse in den oberflächennahen Tiefenstufen führt (Kandeler und Böhm, 1996; Kandeler et al., 1999). Dieser Effekt der Steigerung der mikrobiellen Biomasse ohne Düngung wurde schon öfter beschrieben (Lovell et al., 1995). Abgesehen vom Anfang der Untersuchungen, an dem die Bodenbearbeitung der einzelnen Parzellen noch nachweisbar war, konnten zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine signifikanten Unterschiede im Cmic Gehalt herausgestellt werden.

Joergensen (1993) gibt für Ackerböden einen mittleren Cmic-Gehalt von 270 µg/g TS an. Diese konnten im Boden des Standortes Kreinitz zu keinem der Untersuchungstermine erreicht werden. Allerdings wurden auch schon bei früheren Untersuchungen auf Sandböden im Naturpark Dübener Heide ähnlich geringe Cmic-Werte gefunden (Tanneberg und Landgraf, 1996). Der enge Zusammenhang zwischen dem Cmic und dem Gesamtgehalt an organischen Substanzen ist allgemein bekannt (Anderson und Domsch, 1986). Beck et al. (1993) gibt für Ackerböden einen Quotienten von 1 bis 5 % an. Bei anderen Autoren findet man ein sehr weites Spektrum zwischen 0,27 % bis 7,0 % (Jenkinson und Ladd, 1981; McGill et al., 1986; Woods und Schumann, 1986; Insam et al., 1989). Nach Joergensen et al. (1993) kann ein

Cmic/Corg-Verhältnis von $< 1 \%$ als sicherer Hinweis auf eine Reduzierung des C-Umsatzes betrachtet werden. Danach kann man die Aussage treffen, daß auf diesem Standort in den Sommermonaten ein verminderter C-Umsatz durch Trockenheit auftrat (Abb. 54). Aussagen, daß in den Böden von Bracheflächen ein verminderter C-Umsatz stattfindet (Manzke et al., 1993; Machulla und Klose, 1996) konnte auf dem leichten Sandstandort Kreinitz nicht bestätigt werden, da der Cmic/Corg-Quotient mit zunehmender Brachedauer anstieg. Von verschiedenen Autoren (Haider, 1993; Bosatta und Ågren, 1994; Jenkinson und Ladd, 1981; Beck, 1984; Insam und Domsch, 1988) wurde beschrieben, daß die mikrobielle Biomasse schneller auf veränderte Bedingungen reagiert als der Humusgehalt des Bodens. Dies widerspiegelte sich in der jahreszeitlichen Dynamik des Cmic/Corg-Verhältnisses, welcher vom Cmic geprägt war. Die Anteile schwankten zwischen 0,9 % zu Beginn und 2,3 % am Ende der Untersuchungen. Insgesamt wurde ein Anstieg mit zunehmender Brachedauer deutlich. Die jahreszeitliche Dynamik des Cmic/Corg-Verhältnisses auf diesem leichten Sandstandort widerspricht damit den von Deubel (1995) beschriebenen Ergebnissen zur Cmic/Corg-Entwicklung auf einem Braunerdestandort bei Leipzig (Seehausen); während dort zwischen Frühjahr und Sommer kaum Unterschiede sichtbar wurden, konnte im Herbst eine Abnahme festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wurde auf der Versuchsfläche in Kreinitz eine Zunahme des Cmic/Corg-Verhältnisses mit zunehmender Brachedauer deutlich, woraus man ableiten kann, daß auf einem Sandstandort der korrelative Zusammenhang zwischen der mikrobiellen Biomasse und dem Bodenwassergehalt deutlicher ausgeprägt ist als auf einem lehmreichen Braunerdestandort. Bodenwasser ist als limitierender Faktor anzusehen (Ladd, 1985; Joergensen et al., 1994) und nicht das Angebot an organischem Stoffen (Sparling, 1985). Die Abnahme der Cmic-Gehalte während der Sommermonate kann in folgenden Faktoren begründet sein: 1) in der mikrobiellen Artenzusammensetzung und ihrem physiologischen Status (Wachstumsrate, Alter), 2) Temperatur-Bodenwasser-Wechselbeziehung, 3) Bodentextur (Mikroporenverhältnisse), Gehalt an organischer Bodensubstanz und Kationenaustauschkapazität) und 4) Verhältnisse während der Wiedervernässung (Kieft et al., 1987; van Geste, 1991; 1992; Joergensen et al., 1994). Dies wurde auch durch die anhaltenden Korrelationen zwischen dem Cmic und dem Bodenwassergehalt bestätigt. Deutlich wurde auch, daß der Einfluß des Wassers im Boden mit zunehmender Brachedauer zunahm.

Das Cmic/Corg_(HWL)-Verhältnis gibt Aufschluß über die Relation zwischen dem mikrobiell aktiven C zum potentiell abbaubaren C-Pool (Deubel, 1995). Während der ersten beiden Jahre wurden keine Korrelationen zwischen diesen beiden C-Fractionen gefunden. Erst im letzten

Untersuchungsjahr konnten statistisch gesicherte Korrelationen ermittelt werden. Daraus könnte man vermuten, daß der $Corg_{(HWL)}$ auf diesem Standort für die mikrobielle Biomasse von eher untergeordneter Bedeutung war, dessen Einfluß erst im letzten Jahr wuchs. Das $Cmic/Corg_{(HWL)}$ -Verhältnis nahm im Verlauf der Brachedauer bis auf 80 % im Oktober 1998 zu (Abb. 55). Damit wurde an einem Herbsttermin ein wesentlich höheres $Cmic/Corg_{(HWL)}$ -Verhältnis festgestellt, als auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche bei Leipzig (Deubel, 1995). Erstaunlich war die Tatsache, daß in beiden Tiefenstufen zu den Frühjahrs- und Herbstterminen einzelne $Cmic/Corg_{(HWL)}$ -Verhältnisse von über 100 % ermittelt wurden. Dies könnte ein Hinweis auf die Ausbildung chitinhaltiger Pilzhyphen sein. Offensichtlich ist der Cmic während der Sommermonate auf diesem Sandstandort ein wichtiger Bestandteil des $Corg_{(HWL)}$ (Bronner und Bachler, 1979; Schulz, 1990; Körschens et al., 1990; Leinweber et al., 1995). Während des Winterhalbjahres wurde der Anteil des Cmic höher als der $Corg_{(HWL)}$, was jahreszeitliche Veränderungen in der Zusammensetzung des $Corg_{(HWL)}$ -Fraktion vermuten läßt. In der Literatur wurden bisher kaum Aussagen zu diesem Quotienten getroffen. Deubel (1995) stellte leider nur die Werte von einem Herbsttermin vor, welche keinerlei Hinweise zur Dynamik des $Cmic/Corg_{(HWL)}$ -Quotienten zulassen.

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes wurden enge Korrelationen des Cmic zum Nitratstickstoff gefunden, welche sich auch auf die Beziehung zum $Nt_{(KCl)}$ erstreckten, dessen Hauptbestandteil Nitrat ist. Damit scheint Nitrat auf diesem Standort für den Stoffwechsel der Mikroorganismen eine wesentlich größere Rolle als der $Nt_{(HWL)}$ zu spielen, zu dem nur sporadische Korrelationen herausgestellt werden konnten. Die Korrelationen zum Nmic waren den ganzen Untersuchungszeitraum hinweg sehr eng, allerdings konnte man auch hier mit zunehmender Brachedauer eine zunehmende Signifikanz erkennen. Auch das $(C/N)mic$ -Verhältnis wurde mit zunehmender Brachedauer weiter. Dies deutet auf eine Verschiebung der Artenzusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft in Richtung einer Abnahme der Individuenzahlen von Bakterien hin (Gisi, 1997; Paul und Clark, 1989; Joergensen et al., 1994).

Zwischen Cmic und pH-Wert bestand während des gesamten Untersuchungszeitraumes ein enger Zusammenhang (Ladd, 1985; Kowalczyk und Schröder, 1988; Gehlen und Schröder, 1989). Hier wurden besonders zu den Frühjahrsterminen hochsignifikante Korrelationen errechnet. Zur Bodenrespiration konnten hauptsächlich in den Frühjahrs und Herbstmonaten Korrelationen nachgewiesen werden.

Mikrobiell gebundener Stickstoff gilt als besonders empfindlicher Parameter auf Veränderungen im Ökosystem Boden. So wurde von Smith und Paul (1990) festgestellt, daß die Umsatzzeit von N durch die mikrobielle Biomasse um das zehnfache schneller ist, als die N-Aufnahme durch die Pflanzen. Desweiteren reagiert der Nmic empfindlicher als der Cmic auf entsprechende Umwelteinflüsse (Joergensen, 1994). Allerdings konnte kein Einfluß der verschiedenartigen Brachen auf diesen Parameter beobachtet werden. Zu Beginn der Untersuchungen wurden Nmic Gehalte von rund 20 µg/g TS (rund 28 kg/ha) in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) festgestellt (Abb. 56). In der darunter liegenden Tiefenstufe (10 bis 30 cm) waren die Nmic-Gehalte ähnlich, so daß ein Gesamt-Nmic-Vorrat von 75 kg/ha bezogen auf 20 cm Bodentiefe berechnet wurde. Der Nmic war sehr starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, die denen des Cmic ähnelten, allerdings wesentlich deutlicher sichtbar wurden. Innerhalb des dreijährigen Untersuchungszeitraumes konnte dennoch eine leichte Abnahme der Nmic-Gehalte festgestellt werden, was sich bis zum Ende der Untersuchungen im Oktober 1998 auf einen Verlust des Nmic-Vorrates von knapp 13 kg/ha bezogen auf 20 cm Bodentiefe belief. Diese Abnahme des Nmic, verbunden mit der Zunahme des Cmic erklärt die Aufweitung des (C/N)_{mic}-Verhältnisses und deutet auf die bereits erwähnten strukturellen Veränderungen innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaft mit zunehmender Brachedauer auf diesem leichten Sandstandort hin.

Mit zunehmender Brachedauer nahm auch die Häufigkeit der Korrelationen zwischen Nmic und N_t zu und erreichte höhere Signifikanzgrade. Der Nmic/N_t-Quotient gibt Aufschluß über die Menge des in der mikrobiellen Biomasse immobilisierten N am Gesamt-N im Boden, über dessen Substratverfügbarkeit und über die Entwicklung der organischen Bodensubstanz. Auch hier wurde die jahreszeitliche Dynamik des Nmic deutlich widerspiegelt (Abb. 57). Korrelationen zum C_{org} konnten nur vereinzelt aufgezeigt werden. Somit trifft die Hypothese von Smith (1994) und Sparling (1985), daß die mikrobielle Biomasse hauptsächlich C-limitiert ist, zumindest für diesen brachgefallenen Sandstandort nicht zu. Es wurden auch signifikante Korrelationen zum Bodenwasser und Bodenreaktion herausgestellt, welche mit zunehmender Brachedauer an Bedeutung gewannen. Vergleichbare Entwicklungen gab es für die Bodenrespiration.

Der metabolische Quotient gilt als ein physiologischer Parameter zur qualitativen Erfassung von Umwelteinflüssen auf die mikrobielle Biomasse und als indirektes Maß für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft (Schinner et al., 1993). Viele Autoren verwendeten den qCO₂ als Streßindikator (Odum, 1985; Anderson und Domsch, 1990; Fließ-

bach et al., 1994; Valsecchi et al., 1995; Deubel, 1995; Anderson und Domsch, 1993; Dilly und Munch, 1998). Andere Autoren hingegen stellten die Aussagekraft des qCO_2 in Frage, da er weder Störungen noch die Entwicklung eines Ökosystems widerspiegelt (Wardle und Ghani, 1995).

Der Einfluß der verschiedenen Brachevarianten auf den metabolischen Quotienten folgte über den dreijährigen Untersuchungszeitraum keinem einheitlichen Trend (Abb. 60). Jedoch kann auf diesem Standort mit einer unterdurchschnittlich niedrigen mikrobiellen Biomasse und einer unterdurchschnittlich geringen Basalatmung von einem effizienten Umsatz der Mikroorganismen ausgegangen werden, was durch die vergleichsweise niedrigen qCO_2 -Quotienten bestätigt wird (Schinner et al., 1993).

Einfluß der mineralischen N-Düngung auf ausgewählte Untersuchungsgrößen des C- und N-Kreislaufes

Die im Frühjahr 1998 durchgeführte mineralische N-Düngung führte zu einer signifikanten Absenkung der Bodenreaktion, hervorgerufen durch die Nitrifikation und nachfolgenden NO_3^- -Auswaschung, in allen vier untersuchten Tiefenstufen im Boden auf pH-Werte von < 6 und bestätigt damit Ergebnisse von anderen Autoren (Abb. 17) (v. Lützwow, 1993; Deubel, 1995; Scheffer und Schachtschabel, 1998).

Die mineralische N-Düngung im Frühjahr 1998 schlug sich in einer Erhöhung der austauschbaren H^+ -Ionen-Konzentration von $0,34 \mu eq/g$ Boden (10 bis 30 cm) bzw. $0,26 \mu eq/g$ Boden (30 bis 60 cm) nieder (Tab. 4). Damit wurde die von anderen Autoren beschriebene Hypothese der pH-Wertabnahme durch NH_4^+ -Ioneneinfluß im Boden untermauert (v. Lützwow, 1993; Deubel, 1995; Scheffer und Schachtschabel, 1998).

Ein statistisch abgesicherter Einfluß der Düngung auf die untersuchten C-Fractionen konnte, mit Ausnahme des mikrobiell gebundenen C, nicht herausgestellt werden. Bei dieser C-Fraktion führte die mineralische N-Düngung im Oberboden (0 bis 10 cm) zu signifikant niedrigeren C_{mic} Gehalten (Abb. 53). Auch andere Autoren berichteten über eine Depression der mikrobiellen Biomasse infolge steigender anorganische N-Düngung (Soderstrom et al., 1983; Ritz und Robinson, 1988; McAndrew und Malhi, 1992; Smolander et al., 1994). Hingegen fanden Lovell und Hatch (1998) keinen Effekt der N-Düngung auf den mikrobiell gebundenen Kohlenstoff. Ein Anstieg der mikrobiellen Biomasse nach anorganischer

N-Düngung wurde hingegen von Mahmood et al. (1997), Shen et al. (1989) und Insam et al. (1991) berichtet.

Die in eigenen Untersuchungen beobachtete Abnahme der Cmic-Gehalte kann in einen Absterben von Vertretern der mikrobiellen Gemeinschaft infolge der geringeren Verfügbarkeit von C durch die mineralische N-Düngung liegen, wie sie nach Langzeitversuchen beschrieben wurde (Haider, 1975; Dilly und Munch, 1998). Die mikrobielle Biomasse im Boden der gedüngten Parzellen konnte sich bis zum nächsten Probenahmetermin erholen, blieb allerdings gegenüber den anderen Brachevarianten auf niedrigeren Niveau. Die mineralische N-Düngung schlug sich in signifikant höheren $N_{org(KCl)}$ -Gehalten nieder. So stieg der Anteil am $N_{t(KCl)}$ von 32 % im April 1998 auf 73 % im Juni 1998. Dieser Anteil nahm bis Jahresende auf 88 % zu. Nach der Düngung wurden auch, im Gegensatz zu den ungedüngten Parzellen, sehr enge Korrelationen zu den mineralischen N-Fractionen nachgewiesen.

Die durchgeführte N-Düngung wurde sehr deutlich, aber nur kurzfristig im Boden registriert. So konnten beim N_t , N_{org} und $N_{t(KCl)}$ im Juni 1998 in den beiden oberen Tiefenstufen (0 bis 10 und 10 bis 30 cm) signifikant höhere Werte festgestellt werden, während beim $N_{org(KCl)}$ dieser Effekt bis zum August 1998 nachvollziehbar war (Abb. 29 bis 34). Beim $N_{t(HWL)}$ konnte der Düngungseffekt in den beiden oberen Tiefenstufen mit einer zeitliche Verzögerung festgestellt werden. Wurde in der obersten Tiefenstufe (0 bis 10 cm) schon im Juni eine Erhöhung der $N_{t(HWL)}$ -Werte sichtbar, konnte die in der Tiefenstufe von 10 bis 30 cm erst im Juli 1998 erkannt werden. In den beiden unteren Tiefenstufen (30 bis 60 und 60 bis 100 cm) hingegen wurde kein düngungsgebundener Einfluß sichtbar (Abb. 40).

Die NH_4^+ -N-Gehalte nahmen nach erfolgter Düngung lediglich in der obersten Tiefenstufe sprunghaft zu. Nach sechs Wochen konnte allerdings kein Effekt mehr im Boden festgestellt werden, was sich mit Aussagen aus der Literatur deckt (Abb. 37). In diesen Versuchen wurde der NH_4^+ -N innerhalb von 20 Tagen nitrifiziert (Beese et al., 1995). Wahrscheinlich bewirkte die Düngung eine drastische Reduzierung der mikrobiellen Gemeinschaft, was durch eine negative Korrelation zum mikrobiell gebundenen N sichtbar wurde. Danach kam es wahrscheinlich zur Ausbildung einer neuen Mikroorganismengemeinschaft mit nitrifizierenden Bakterien, da die NH_4^+ -N-Gehalte im Boden der gedüngten Parzellen signifikant unter den NH_4^+ -N-Gehalten der ungedüngten Parzellen lagen. Diese Möglichkeit ist schon länger bekannt (Mahn, 1988; Berg und Rosswell, 1985). Auch Trollenier (1990) konnte mit steigender mineralischer N-Düngung eine deutliche Vermehrung von Rhizosphärenbakterien fest-

stellen, was von Olfs (1992) durch eine Zunahme der mikrobiellen Biomasse mit Nmin-Dünger im Gefäßversuch bestätigt wurde. Die durchgeführte Düngung war bis in die unterste Tiefenstufe (60 bis 100 cm) nachvollziehbar. Damit scheint auch eine Auswaschung in das Grundwasser möglich (Hartmann, 1998), was allerdings im Rahmen dieser Untersuchungen nicht festgestellt werden konnte.

Auch die Nitratgehalte nahmen nach applizierter N-Düngung in der obersten Tiefenstufe signifikant zu, allerdings war das applizierte NO_3 innerhalb von sechs Wochen im Boden nicht mehr nachweisbar (Abb. 38). In den unteren Tiefenstufen konnte hingegen kein Düngungseffekt ermittelt werden. Interessant ist der schon beim NH_4^+ -N beobachtete Effekt (3.1.5.9) einer wahrscheinlichen Umstrukturierung der mikrobiellen Gemeinschaft, was durch negative Korrelationen zwischen dem NH_4^+ -N und dem C_{mic} bzw. N_{mic} nach der Düngung festgestellt wurde. Danach konnten keine Korrelationen zwischen den Nitratgehalten und der mikrobiellen Biomasse mehr festgestellt werden.

Die Pflanzen der mit NH_4NO_3 gedüngten Parzellen nahmen signifikant mehr Stickstoff auf als jene auf den ungedüngten Parzellen (Tab. 14). Dabei wurde mit 14 kg N/ha im Juli 1998 fast die doppelte N-Menge durch die oberirdische Phytomasse aufgenommen als auf den ungedüngten Parzellen (FB: 4 kg N/ha < Ph: 8 kg N/ha). Dennoch fällt auf, daß nach zweijähriger Brache die Pflanzen von den ausgebrachten 100 kg N/ha lediglich bis zu 14 % aufzunehmen vermögen. Sie stellen auf Sandböden nach vorhergegangener Brache eine wichtige N-Senke dar, vermögen allerdings nicht, den größten Teil des ausgebrachten Stickstoffs zu binden. Da auch die mikrobielle Biomasse nachweislich nicht in der Lage war, den applizierten mineralischen N zu verwerten, unterlag dieser höchstwahrscheinlich einer Tiefenverlagerung. Dieser Problematikist für alle leichten Standorte bei Wiedereinführung der landwirtschaftlichen Produktion nach vorhergegangener Brache unbedingt Beachtung zu schenken.

Die mineralische N-Düngung im Frühjahr zeigte eine sehr schnelle und zum Teil auch überraschende Wirkung auf den mikrobiell gebundenen N. Unmittelbar nach der N-Düngung wurden „negative“ N_{mic} -Gehalte im Boden festgestellt (Abb. 56). Als Ursache dafür kann der hohe Anteil von mineralischen N im Boden sein, welcher die Messung des mikrobiell gebundenen N direkt beeinflussen kann (Widmer et al., 1989; Joergensen et al., 1994). Der N_{mic} -Gehalt war im Juni 1998 im Boden der gedüngten Parzellen signifikant niedriger als in den

ungedüngten Parzellen (McAndrew und Malhi, 1992). Nach sechs Wochen konnten keine düngungsbedingten Unterschiede mehr erkannt werden.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im Jahr 1996 wurde ein Ackerschlag nordöstlich von Riesa als Versuchsfläche ausgewählt. Nach einer Feinkartierung wurden die Versuchsparzellen mit drei verschiedenen Brachetypen angelegt. In den Jahren 1996 bis 1998 wurden diese während der Vegetationsperiode in sechswöchigem Abstand beprobt. Dabei wurden Bodenproben bis in eine Tiefe von 100 cm, unterteilt in vier Tiefenstufen (0 bis 10, 10 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm) entnommen. Dieser Boden wurde auf seine Gehalte an verschiedenen C- und N-Fractionen untersucht. Aufgrund der Bedeutung der Bodenmikroorganismen als Quelle und Senken von C und Nährstoffen, wurden auch mikrobiologische Parameter erfaßt. Desweiteren wurden sowohl unter- als auch oberirdische Pflanzenmassen entnommen und auf ihre C- und N-Gehalte untersucht.

Ziel dieser Arbeit war es, die Vorräte, Bindungsformen und Dynamik des organischen und anorganischen Bodenstickstoffes nach Auflassen der ackerbaulichen Nutzung auf einem leichten Sandstandort Nordostsachsens zu bestimmen und zu quantifizieren. Es wurden die Auswirkungen gezielter Maßnahmen zur Abschöpfung des mineralisierten Stickstoffes in Form verschiedenartiger Bracheverfahren (Selbstbegrünung, bzw. Aussaat von Phacelia) untersucht.

Folgende Resultate wurden erzielt:

- 1 Auf der Untersuchungsfläche wurden zwei repräsentative Bodentypen ausgeschieden. Auf den Hängen im Osten und Westen dominierte der Bodentyp Braunerde. In der Mitte der Fläche, welche eine kleine Senke bildet, wurde der Bodentyp der Humosen Braunerde kartiert.
- 2 Im Boden der Humosen Braunerde wurde in allen vier untersuchten Tiefenstufen höhere C-Gehalte (C_{org} , $C_{org(HWL)}$ und $C_{org(KCl)}$) festgestellt als in der Braunerde. Auch die Gehalte an organischen N-Fractionen (N_t , $N_{t(HWL)}$, $N_{t(KCl)}$ und $N_{org(KCl)}$) waren im Boden der Humosen Braunerde signifikant höher als in der Braunerde.
- 3 Im Gegensatz dazu konnten bei den mineralischen N-Fractionen (NH_4^+ -N und NO_3^- -N) zwischen den beiden untersuchten Bodentypen kaum relevante Unterschiede in den untersuchten Tiefenstufen festgestellt werden.

- 4 Der pH-Wert veränderte sich innerhalb des dreijährigen Untersuchungszeitraumes kaum. Zwischen den verschiedenen Brachevarianten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Im Boden der Humosen Braunerde war die Bodenreaktion in allen vier Tiefenstufen signifikant höher als im Boden der Braunerde.
- 5 Bei den untersuchten Pflanzennährstoffen ($P_{(DL)}$, $K_{(DL)}$ und Mg) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Brachevarianten festgestellt. Insgesamt nahmen die Gehalte dieser Makronährstoffe innerhalb der drei Jahre im Boden leicht zu. Dies könnte durch die Mineralisierung der 1996 angefallenen relativ hohen Phytomassen erklärt werden.
- 6 Es konnten keine Unterschiede bezüglich der KAK_{eff} im Boden der verschiedenen Brachevarianten herausgestellt werden. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes kam es zu einer Abnahme der KAK_{eff} um $6 \mu eq/g$ im Oberboden (0 bis 30 cm) und $26 \mu eq/g$ im Unterboden (60 bis 100 cm). Von einer Tiefenverlagerung von Ca und Mg-Ionen kann ausgegangen werden.
- 7 Der Corg entspricht auf dieser Fläche dem Ct. Es konnten keine Unterschiede im Corg-Gehalt zwischen den verschiedenen Brachevarianten festgestellt werden. Der Corg-Gehalt folgte einem deutlichen Tiefengradienten. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes kam es zu einer geringfügigen Zunahme des Corg-Vorrates um 3.500 kg/ha (0 bis 100 cm).
- 8 Der $Corg_{(HWL)}$ erreichte Ausgangsgehalte von $350 \mu g/g$ TS (0 bis 10 cm). Bezogen auf eine Bodentiefe von 100 cm konnte ein $Corg_{(HWL)}$ -Vorrat von 1375 kg/ha festgestellt werden. Beim Vergleich mit Angaben aus der Literatur wurde festgestellt, daß dieser Standort sehr hoch mit organischer Substanz versorgt ist. Die $Corg_{(HWL)}$ -Vorräte erreichten Größenordnungen, welche sonst auf Schwarzerdestandorten angetroffen wurden. Dies läßt vermuten, daß dieser Standort vor dem Brachfallen langjährig im Übermaß mit organischer Substanz wie Mist, Gülle oder Jauche versorgt wurde. Innerhalb von drei Jahren kam es zu einer leichten Zunahme des $Corg_{(HWL)}$ -Vorrates um 122 kg/ha (0 bis 100 cm). Auch bezüglich der $Corg_{(HWL)}$ -Fraktion wurde ein stark ausgeprägter Tiefengradient erkannt.

- 9 Die $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion unterlag einem ausgeprägten Tiefengradienten sowie einer ausgesprochen starken jahreszeitlichen Dynamik. Die Gehalte der $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Fraktion waren bedeutend geringer als die der heißwasserlöslichen C-Fraktion. Bezogen auf eine Bodentiefe von 100 cm wurde ein $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ -Vorrat von 200 kg/ha festgestellt, welcher im Verlauf der dreijährigen Untersuchungen um 69 kg/ha abnahm. Diese C-Fraktion scheint damit aus leichter ab- und umbaubaren C-Verbindungen zu bestehen als der $\text{Corg}_{(\text{HWL})}$. Dies macht den $\text{Corg}_{(\text{KCl})}$ als Maß für den kurzfristig nachlieferbaren C im Boden für weitere Untersuchungen sehr interessant.
- 10 Die verschiedenen Brachevarianten unterschieden sich nicht hinsichtlich des Nt-Gehaltes im Boden. Es wurden Ausgangsgehalte von über 5.000 kg/ha (0 bis 100 cm) festgestellt. Diese nahmen innerhalb des Untersuchungszeitraumes um knapp 80 kg/ha ab und repräsentieren den allgemeinen Trend der untersuchten N-Fraktionen im Boden.
- 11 Die Norg-Gehalte der Böden verschiedener Brachevarianten unterschieden sich nicht voneinander. Zu Beginn der Untersuchungen erreichte der Norg einen Anteil von 97 % am Nt, um innerhalb sehr kurzer Zeit auf 99 % anzusteigen, ein Niveau, welches bis zum Versuchsende erhalten blieb. Auch die Norg-Vorräte nahmen über den dreijährigen Untersuchungszeitraum mit 68 kg/ha leicht ab.
- 12 Der $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ spiegelt sehr deutlich die Dynamik der anorganischen N-Fraktionen und des $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ wider und verdient deshalb bei zukünftigen Untersuchungen größere Beachtung. Diese N-Fraktion unterlag auf dieser Fläche keinem Tiefengradienten. Hingegen unterlag der $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ in der Ro/HB-Variante im Vergleich zu den anderen Brachevarianten einer hohen Abschöpfung durch den Roggen im Jahr 1996. Abgesehen von diesem Unterschied zu Beginn der Untersuchungen konnten zwischen den verschiedenen Brachevarianten keine signifikanten Unterschiede im $\text{Nt}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt herausgearbeitet werden.
- 13 Der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt ist mit dem aus der Literatur bekannten CaCl_2 -extrahierbaren Norg vergleichbar. Mit einem Ausgangsgehalt von 5 bis 6 $\mu\text{g/g}$ TS im Oberboden (0 bis 10 cm) konnte dieser Boden als hoch versorgt eingeschätzt werden. In Bezug auf die Häufigkeitsverteilung dieses Parameters konnte eine große jahreszeitliche

Dynamik erkannt werden. Die verschiedenen Brachevarianten beeinflussten den $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalt der Böden nicht. Unter dreijähriger Brache kam es zu einer stetigen Abnahme der $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$ -Gehalte von 11,4 kg/ha auf 9,9 kg (0 bis 10 cm). Daraus läßt sich schlußfolgern, daß die Umsatzrate der unter Brache angefallenen organische Substanz länger als drei Jahre beträgt.

- 14 Der NH_4^+ -N zeigte einen ausgesprochenen jahreszeitlichen Gang. Auch bei dieser N-Fraktion konnten keine Unterschiede zwischen den einzelnen Brachevarianten herausgearbeitet werden. Hingegen konnten die allgemein bekannten Korrelationen zum Bodenwassergehalt ($r_s = 0,46^*$ bis $0,80^{***}$) und zur Bodenreaktion ($r_s = 0,55^*$ bis $0,76^{***}$) auch auf diesem Sandstandort bestätigt werden.
- 15 Die NO_3^- -N-Gehalte im Boden nahmen innerhalb von sechs Wochen nach Versuchsbeginn von 20 $\mu\text{g/g}$ TS auf 1 $\mu\text{g/g}$ TS in den obersten 10 cm ab. Diese Abnahme war bis in die Tiefenstufe von 60 bis 100 cm zu beobachten, wenngleich mit einer zeitlichen Verzögerung von sechs Wochen. Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnten keine signifikanten Unterschiede im NO_3^- -N-Gehalt festgestellt werden. Eine Ausnahme bildete die NO_3^- -N-Abschöpfung durch den Roggen zu Beginn der Untersuchungen. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes nahm der NO_3^- -N-Vorrat um 6,4 kg/ha (0 bis 10 cm) ab, wobei sich diese Abnahme hauptsächlich auf das erste Untersuchungsjahr beschränkte.
- 16 Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnten in Bezug auf die $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ -Gehalte im Boden keine signifikanten Unterschiede herausgearbeitet werden. Dagegen konnte ein deutlicher Tiefengradient herausgestellt werden. Diese N-Fraktion unterlag in Folge der dreijährigen Brache einer kontinuierlichen Abnahme. So nahmen die Anfangsvorräte von 177 kg/ha um 29 kg (0 bis 10 cm) ab. Damit einher ging eine Abnahme des $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ am Nt von 7,6 % zu Beginn der Untersuchungen auf 4,5 % zum Ende der Untersuchungen. Der $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ entspricht nicht dem $\text{Norg}_{(\text{KCl})}$, da ersterer wesentlich größere Anteile am Nt einnimmt als letzterer. Signifikante Korrelationen traten zwischen dem $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ und der Bodenreaktion ($r_s = 0,54^*$ bis $0,83^{**}$), und dem Bodenwassergehalt ($r_s = 0,52^*$ bis $0,85^{**}$) auf. Die Zusammensetzung des $\text{Nt}_{(\text{HWL})}$ scheint einer starken jahreszeitlichen Schwankung zu unterliegen.

- 17 Der Cmic-Gehalt bewegte sich auf einem vergleichsweise geringen Niveau und war sehr starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Abnahme der Cmic-Gehalte in den Sommermonaten ist aus den zu diesem Zeitraum auf diesem Sandstandort herrschenden niedrigen Bodenwassergehalten erklärbar, da zwischen beiden Kennwerten enge Korrelationen festgestellt wurden ($r_s = 0,45^*$ bis $0,85^{***}$). Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnten im Verlauf des Untersuchungszeitraumes keine signifikanten Unterschiede herausgearbeitet werden. Die Beziehung zwischen dem Cmic und dem $Corg_{(HWL)}$ scheint auf diesem Standort von untergeordneter Bedeutung zu sein, da zwischen beiden Parametern in der Regel keine Korrelationen auftraten. In den Frühjahrs- und Herbstmonaten der Untersuchungsjahre konnten vereinzelt höhere Cmic- als $Corg_{(HWL)}$ -Gehalte festgestellt werden. Dieses Ergebnis unterstützt einerseits die Hypothese der jahreszeitlich fluktuierenden Zusammensetzung des $Corg_{(HWL)}$. Andererseits kann vermutet werden, daß zu diesem Zeitraum im Boden viele Pilzhyphen vorhanden waren, welche verschiedene Formen von Chitin in ihre Zellwände einbauen. Dieses Chitin ist durch einen Heißwasseraufschluß nicht extrahierbar. Innerhalb von drei Jahren kam es unter Brache zu einer Zunahme des Cmic-Vorrates um 229 kg/ha (0 bis 30 cm).
- 18 Im Gegensatz dazu kam es im Verlauf des Untersuchungszeitraumes zu einer Abnahme des Nmic-Vorrates um 46 kg/ha (0 bis 30 cm). Damit einher ging eine Aufweitung des (C/N)_{mic}-Verhältnisses, was auf eine Verschiebung innerhalb der Mikroorganismengemeinschaft zugunsten von Pilzpopulationen hindeutet. Diese Hypothese stützt die Vermutung des verstärkten Vorhandenseins von Pilzhyphen in den Frühjahrs- und Herbstmonaten, der Hauptwachstumszeit von Pilzen. Desweiteren wurden zum selben Zeitpunkt $Nmic/Nt_{(HWL)}$ -Verhältnisse von über 100 % erkannt, was die getroffene Aussage unterstützt. Zwischen den verschiedenen Brachevarianten konnte kein signifikanter Unterschied in bezug auf den Nmic im Boden festgestellt werden, welcher sich insgesamt auf sehr niedrigem Niveau bewegte.
- 19 Die mikrobielle Basalatmung bewegte sich auf sehr niedrigem Niveau und war einer jahreszeitlichen Dynamik unterworfen, welche jener der mikrobiellen Biomasse folgte. Daraus ergab sich ein niedriger metabolischer Quotient, welcher für einen effizienten Umsatz von organischen Substanzen durch die mikrobielle Organismengemeinschaft dieses Bodens spricht.

- 20 Die im Mai 1998 applizierte mineralische Stickstoffdüngung spiegelte sich sowohl in den anorganischen als auch den organischen N-Fractionen des Bodens wider. Daraus wurde geschlußfolgert, daß dieser mineralische Stickstoff innerhalb sehr kurzer Zeit in organische N-Fractionen überführt wurde.
- 21 Durch die Düngung kam es wahrscheinlich zu einer Abnahme mit anschließender Verschiebung der Artenzusammensetzung innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaft in diesem Sandboden, was sich durch insgesamt niedrigere Cmic und Nmic-Gehalte in den Böden der gedüngten Parzellen im Vergleich zu jenen in Böden der ungedüngten Varianten ausdrückte.
- 22 Durch die hohen Nmin-Hintergrundgehalte in den Böden der gedüngten Varianten muß die Genauigkeit der Nmic-Bestimmung mit der CFE-Methode angezweifelt werden. Dieses Problem wurde durch negative Nmic-Gehalte nach N-Düngung deutlich.
- 23 Erstaunlich war die Tatsache, daß nach erfolgter anorganischer N-Düngung auf den Kontrollparzellen, welche räumlich direkt neben den gedüngten Parzellen lagen, signifikant höhere N-Gehalte aller untersuchten N-Fractionen in Bezug auf die ungedüngten Parzellen festgestellt wurden. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte in der lateralen Verlagerung von Bodenwasser und der darin gelösten Ionen in Sandböden liegen. Dieses Phänomen, welches nach Gernandt (1998) eine Folge der sogenannten Luftokklusion ist, sollte nach den Erkenntnissen dieser Studie in Zukunft verstärkte Aufmerksamkeit erlangen.
- 24 Die oberirdische Phytomasse nahm im Verlauf der drei Untersuchungsjahre deutlich ab. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes konnten signifikant höhere Pflanzenfrischmassen der Phaceliapartellen herausgestellt werden. Dies ist auf den hohen Wassergehalt dieser Pflanzenart zurückzuführen. Insgesamt konnte in den Pflanzen der FB- und der Ro/HB-Partellen höhere C- und N-Gehalte als in den Ph-Varianten festgestellt werden.
- 25 Bedingt durch eine Veränderung der mittleren Artdominanz und durch eine Abnahme von pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden nahm der Anteil der Wurzel-

masse an der Gesamtphytomasse innerhalb von drei Jahren von 5,3 % auf 68 % zu. Dabei konnten signifikant höhere Wurzelmassen unter FB- als unter Ph-Parzellen herausgestellt werden.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden.

Auf leichten Sandstandorten ist ein brachfallen landwirtschaftlicher Flächen für unterschiedlich kurze Zeiträume fragwürdig. Auf diesen Standorten kommt es innerhalb sehr kurzer Zeit zu einer Abnahme des mineralischen Stickstoffs. Da dieser nicht in organische N-Fractionen oder in die mikrobielle Biomasse eingebaut wird, kann davon ausgegangen werden, dass er der Auswaschung unterliegt. Falls aus agrarpolitischen Gründen dennoch ein Sandstandort brachgelegt wird, müssen folgende Kriterien Berücksichtigung finden:

- Die organische und anorganische Düngung dieser Flächen sollte rechtzeitig abgesetzt werden.
- Jegliche Bodenbearbeitung während der Brache muß vermieden werden,
- Eine sofortige Begrünung der Flächen ist anzustreben, wobei eine Abschöpfung des N durch Nutzpflanzen als sinnvollste Lösung betrachtet wird.

Bedingt durch die Brache wurde eine signifikante Abnahme aller untersuchten organischen N-Fractionen festgestellt. Dadurch wurden die Vorteile einer langjährigen standortgemäßen landwirtschaftlichen Landbewirtschaftung innerhalb von nur einem Brachejahr aufgehoben. Die in diesem Zeitraum fortschreitende Abnahme des Vorrates verschiedener organischer N-Fractionen stellt die Kontinuität der N-Nachlieferung nach Wiederbewirtschaftung solcher Flächen in Frage. Durch mineralische N-Düngung kann diesem Effekt entgegengewirkt werden, allerdings muß der hohen N-Auswaschungsgefahr bei der Berechnung der Düngergaben auf diesen leichten Sandstandorten Rechnung getragen werden.

Aus den genannten Gründen ist eine kontinuierliche, an den Standort angepaßte, extensive Landbewirtschaftung dem Auflassen solcher Standorte vorzuziehen.

Die Begrünung mit Phacelia führte nicht dazu, daß größere Mengen an N und C gebunden wurden als auf Flächen mit natürlicher Sukzession. Deshalb und aufgrund des finanziellen Mehraufwandes ist einer Begrünung mit Phacelia auf Rotationsbrache von Sandstandorten nicht sinnvoll. Jedoch besitzt Phacelia weiterhin Bedeutung als landwirtschaftliche Zwischenfrucht, da diese Pflanze während der Blüte eine Nahrungsquelle für eine Vielzahl von Insekten bietet.

Literaturverzeichnis

- Alkämper, J. (1976): Einfluß der Verunkrautung auf die Wirkung der Düngung. Pflanzenschutz-Nachrichten BAYER 29, 191-235
- Anlauf, R., Kersebaum, K. C. und J. Richter (1988): Gebietsmodellierung des Nitrat-austrags im Winterhalbjahr, *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 57, 13-18
- Anderson, T.-H. und K. H. Domsch (1986): Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. *Proceedings of the IV. International Symposium on Microbial Ecology*, Ljubljana, Yugoslavia, 467-471
- Anderson, T.-H. und K. H. Domsch (1989): Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol 21, 471-479
- Anderson, T.-H. und K. H. Domsch (1990): Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* Vol 22, 251-255
- Anderson, T.-H. und K. H. Domsch (1993): The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 25, No. 3: 393-395
- Anlauf, R., Staschke, G. Richter, M. und J. Richter (1989): Räumliche Variabilität von Nitratgehalten und Transportparametern. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 59, 99-100
- Appel, T. (1991): Der Stickstoffumsatz in Sandböden und seine Bedeutung für die Prognose des Pflanzenverfügbaren Stickstoffs sowie des N-Düngerbedarfs von Getreide, untersucht mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) und $CaCl_2$ -Extraktion. *Gießener Bodenkundliche Abhandlungen*, Band 9
- Appel, T. (1998): Non-biomass soil organic N – the substrate for N mineralization flushes following soil drying-rewetting and for organic N rendered $CaCl_2$ -extractable upon soil drying. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 30, No. 10/11, pp. 1445-1456
- Appel, T. und K. Mengel (1998): Prediction of mineralizable nitrogen in soil on the basis of an analysis of extractable organic N. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 161, 433-452
- Asmus, F. (1994): N-Dynamik und -Verlagerung in diluvialen sandigen Ackerböden bei verschiedenen Formen der Flächenstilllegung. *VDLUFA-Schriftenreihe* 38, Kongreßband 1994, 171-174

- Aufhammer, W., Federolf, K.-G., Kempf, H., Kübler, E. und H. Stützel (1989): Variabilitätsursachen und Aussagemöglichkeiten der Nmin-Methode. *Landwirtsch. Forschung* 42: 281-292
- Bach, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 93.
- Beck, Th. (1984): Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden: 2. Mitteilung: Beziehungen zum Humusgehalt. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 147, 467-475
- Beck, Th. (1990): Der Einfluß langjähriger Bewirtschaftungsweise auf bodenmikrobiologische Eigenschaften. *KALI- Briefe* 20 (1), 17-29
- Behm, R. (1988): Untersuchungen zur Bestimmung der leicht umsetzbaren N- und C-Anteile im Heißwasserextrakt des Bodens - Kurzmitteilung. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, Vol. 32, 333-335
- Berg, P. und T. Rosswall (1985): Ammonium oxidizer numbers, potential and actual oxidation rates in two swedish arable soils. *Biol. Fert. Soils* 1: 131-140
- Beese, F., R. Rackwitz und K. Knief (1995): Steuerung der Zersetzungsdynamik organischer Substanzen zur Reduktion der N-Belastung des Grundwassers und der Atmosphäre. Einzelbericht zum Teilprojekt 4 In: *Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes*. Teubner Verlagsgesellschaft
- Beudert, G. (1994): Schwebstoff-, Nährstoff- und Herbizideintrag, insbesondere von Straßen und Hochflächen, Zwischenrepräsentation des BMFT-Verbundprojektes „Prognosemodell für die Gewässerbelastung durch Stofftransport aus kleinen ländlichen Einzugsgebieten“, Inst. für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe
- Blagodatskaya, E. V. und T.-H. Anderson (1998): Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal to-bacterial ratio and $q\text{CO}_2$ of microbial communities in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol 30, 1269-1274
- Bosatta, E. und G. Ågren (1994): Theoretical analysis of microbial biomass dynamics in soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 26, 1: 143-148
- Böttcher, J. und O. Strebel (1985): Die mittlere Nitratkonzentration des Grundwassers in Sandgebieten in Abhängigkeit von der Bodennutzung. *Wasser + Boden* 8/85: 383-387
- Breteler, H. und A. L. Smit (1974): Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nitrate in wheat. *Neth. J. agric. Sci.* 22: 73-81

- Bronner, H. und W. Bachler (1979): Der hydrolyisierbare Stickstoff als Hilfsmittel für die Schätzung des Stickstoffnachlieferungsvermögens von Zuckerrüben. *Landwirtsch. Forsch.* 32, 255-261
- Brookes, P. C. (1995): The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 19: 269-279
- Büning, H. und Trenkler, G. (1980): *Nichtparametrische statistische Methoden*. Berlin
- Campbell, C. A., Stewart, D. W., Nichlaichuk, W. und V. O. Biederbeck (1974): Effects of growing season soil temperature, moisture and $\text{NH}_4\text{-N}$ on soil nitrogen. *Canad. J. Soil Sci.*, Ottawa 54:403-412
- Campbell, C. A., Biederbeck, V. O., Zentner, R. P. und G. P. Lafond (1991): Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71: 363-376
- Campini-Johnson, I. (1979): Einfluß der Nutzungsintensität auf Kompartimente von Grünlandökosystemen. Diss., Gießen
- Coleman, D. C. (1973): Soil carbon balance in a successional grassland. *Oikos* 24: 195-199
- Dahiya, I. S., Anlauf, R., Kersebaum, K. C. und J. Richter (1985): Spatial variability of some nutrient constituents of Alfisol from loess. II. Geostatistical analysis. *Z. Pflanzenern Bodenk.* 148, 268-277
- Dahiya, I. S., Kersebaum, K. C. und J. Richter (1984): Spatial variability of some nutrient constituents of an Alfisol from loess. I. Geostatistical analysis. *Z. Pflanzenern Bodenk.* 147, 695-703
- Dapper, H. (1966): Zur Stoffproduktivität der Großen Brennesserl (*Urtica dioica* L.) an einem Ruderalstandort. *Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg* 103: 54-64
- Delwiche, C. C. (1983): Cycling of elements in the biosphere. In „Inorganic plant nutrition“, *Encycl. Plant Physiol. New Series*, Vol. 15 A. Läuchli u. R. L. Bielecki (eds.) S. 212-238. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio
- Deubel, W.-D. (1995): Einfluß verschiedener Ackerflächenverhältnisse, Düngungsmaßnahmen und Fruchtarten auf die mikrobielle Biomasse des Bodens und Beziehungen zur Reproduktion der organischen Substanz. Diss. Landw. Fak. Uni Halle
- Dilly, O. und J.-C. Munch (1998): Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. *Biol. Fertil. Soils* 27: 374-379
(eds) *Soil biochemistry*, vol 4, Dekker, New York, pp 195-244

- Drew, C. M. (1975): Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytol.*- (Oxford) 75: 479-490
- Engelhard, M. (1980): Nährstoffaufnahme durch Unkrautarten im Vergleich zu Getreidepflanzen. Dipl.-Arb. Gießen
- Eijsackers, H.J.P. und T. Hamers (Ed.) (1993): Integrated soil and sediment research: A basis for proper protection. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London
- Feldschätzungsbuch (1937): Anlage 3 der Reichsbodenschätzung der Gemeinde Kreinitz, Tagesabschnitt VII, 20-23; Finanzamt Sachsen, Außenstelle Döbeln
- Franko, U. (1989): C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanzen im Boden. Diss. B, AdL, Berlin
- Fließbach, A., Martens, R. und H. H- Reber (1994): Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1201-1205
- Gehlen, P. und D. Schröder (1989): Variabilität mikrobiologischer Eigenschaften von Böden aus gleichem Substrat und ähnlicher Bewirtschaftung. *KALI- Briefe* 19 (7), 545-556
- Gernandt, P. (1998): Räumliche Differenzierung der Sickerwasserströme in Sandboden-Modellen. *Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 88, 363-366
- Gisi, U. und J. J. Oertli (1981): Ökologische Entwicklung im Brachland verglichen mit Kulturwiesen. IV.-Veränderungen im Mikroklima. *Acta Oecologia/Oecologia Plantarium* 2: 233-249
- Gisi, U. (1997): Bodenökologie. Thieme Verlag, Stuttgart
- Haider K., Martins, J. P. und Z. Filip (1975): Humus biochemistry. In. Paul EA, McLaren AD
- Haider, K. und F.-F. Gröblichhoff (1990): Biochemische Umsetzungen und Humusbildung in Böden unterschiedlicher Bewirtschaftung. *Kali-Briefe* 20(1): 31-48
- Haider K. (1993): Biochemische Prozesse der Bildung und der Dynamik von Huminstoffen im Boden. *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit*, - Hamburg, Berlin: Parey Bd. 4. Humushaushalt. – (Berichte über Landwirtschaft: Sonderheft; N. F., 206), 45-62
- Hanschmann, A. (1983): Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit auf die Mineralisierung von Bodenstickstoff. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, 27, 297-305
- Harres, H.-P. und M. Sauerwein (1994): Nichtparametrische Verfahren als „saubere“ Statistik. Dargestellt am Beispiel von Schwermetallbelastungen auf Südsardinien. *Geoökodynamik* 15, 2, 133-150

- Harter, H. L., Owen, D. B., Odeh, R. E., Davenport, J. M. and Pearson, N. S. (Eds.; 1973-88): Selected Tables in Mathematical Statistics, Vol. 1-11. Institute of Mathematical Statistics and American Mathematical Society; pp. 403,..., 371) Providence, Rhode Island
- Hartmann, I. (1998): Die Ermittlung der Stickstoffdynamik nach Grünlandumbrüchen mit inversen numerischen Verfahren. Diss., Universität Hohenheim, Inst. f. Bodenkunde und Standortslehre
- Hartung, J. (1995): Statistik; Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenburg, München
- Hauter, R. und K. Mengel (1987): Measurement of pH at the root surface of red clover (*Trifolium pratense*) grown in soils differing in proton buffer capacity. *Biol. Fert. Soils* 5: 295-298
- Hegewald, H.-B. (1977): Artenzusammensetzung und Nährstoffgehalt des Unkrautes im Körnermais. *Angew. Bot.* 56: 279-281
- Hoegen, B. (1992): Chemische und mikrobiologische Charakterisierung der leicht mobilisierbaren organischen Stickstofffraktion (Norg) des Bodens unter besonderer Berücksichtigung begüllter Böden. Diss. Bonn
- Hoffmann, G. (1991): Die Untersuchung von Böden. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch), Bd. 1, VDLUFA-Verlag: Darmstadt, 4. Aufl.
- Holloway, J.M., Dahlgren, R.A., Hansen, B. und W. H. Casey (1998): Contribution of bedrock nitrogen to high nitrate concentrations in stream water. *Nature*, Vol. 395, 785-788
- Houba, V. J. G., Novozamsky, I., Huybregts, A. W. M. und J. J. van der Lee (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil* 96, 433-437
- Insam, H., Parkinson, D. und K.-H. Domsch (1989): Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil. Biol. Biochem.* 21: 211-221
- Insam, H. und K.H. Domsch (1988): Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology* 15, 177-187
- Insam, H., Mitchell, C. C. und J. F. Dormaar (1991): Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. *Soil. Biol. Biochem.* 23: 459-464

- Isermann, K. (1993): Nährstoffbilanzen und aktuelle Nährstoffversorgung der Böden in Berichte über Landwirtschaft, 207. Sonderheft, Verlag Paul Parey Hamburg Berlin, S. 15-55
- Ivarson und Schnitzer (1979): The biodegradability of the „unknown“ soil nitrogen. *Can. J. Soil Sci.* 59, 59-67
- Jakubke, H.-D. und H. Jeschkeit (1987): Chemie. 5. Auflage, Brockhaus leipzig
- Jahn, R., Billen, N., Lehmann, A. und K. Stahr (1993): Bodenerhaltung durch Extensivierung und Flächenstilllegung. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 72, 55-58
- Jenkinson, D. und J. N. Ladd (1981): Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. *Soil Biochemistry* 5, 415-471
- Joergensen, R. G. (1993): Die Messung der mikrobiellen Biomasse mit der CHCl_3 -Fumigations-Extraktions-Methode in kontaminierten Böden. *ECOINFORMA* 2, 385-396
- Joergensen, R. G., Meyer, B. und T. Mueller (1994): Time-course of the soil microbial biomass under wheat: a one year field study. *Soil Biol. Biochem.* Vol 26, 987-994
- Joergensen, R. G. (1995): Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 104
- Keeney, D. R. (1982): Nitrogen-availability indices. In: A. L. Page, R. H. Miller und D. R. Keeney (Hrsg.) „Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties“, 711-732; *Agronomy Monograph No 9*, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA
- Kieft, L. T., Soroker, E. und M. K. Firestone (1987): Microbial biomass response to a rapide increase in water potential when dry soil is wetted. *Soil Biology a. Biochemistry* 19: 119-126
- Kiessling, L. (1963): Untersuchungen über den Nährstoffgehalt von Ackerunkräutern und Getreidepflanzen in verschiedenen Entwicklungsstadien. *Meded. Landbouwgesc.* Gent 28: 1087-1096
- Kim, J. und S. B. Verma (1992): soil surface CO_2 flux in a Minnesota peatland. *Biogeochem.* 18: 37-51
- Kirkby, E. A. und K. Mengel (1967): Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42: 6-14
- Klimaatlas der DDR (1953): Meteorologischer und hydrologischer Dienst der DDR. Akademie-Verlag, Berlin

- Kling, M. (1914): Über die chemische Zusammensetzung einiger Unkräuter sowie deren Wert als Futter- und Düngemittel. Mitt. Lw. Stat. Speyer 85: 433-470
- Knappe, S. und U. Keese (1997): Lysimeteruntersuchungen zur Wirkung von Flächenstilligungsmaßnahmen auf den Stickstoff- und den Wasserhaushalt von vier Bodenformen. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 85, II, 937-940
- Kohl, A. (1989): Zur Bedeutung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs bei der Prognose des N-Düngerbedarfs von Zuckerrüben unter besonderer Berücksichtigung der mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) erfaßbaren N_{org} -Fraktion. Diss. Bonn
- Kohl, A. und W. Werner (1986): Untersuchung zur saisonalen Veränderung der EUF-N-Fraktionen und zur Charakterisierung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs durch Elektro-Ultrafiltration (EUF). VDLUFA- Schriftenreihe 20, Kongreßband 1986, 333-341
- Kohl, A. und W. Werner (1989): Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher methodischer Ansätze zur Prognose des mobilisierbaren Stickstoffs. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongreßband 1988, Teil II, 1-14
- Köhn, M. (1928): Z. Pflanzenern., Bodenk. A 11, 50
- Kolmogoroff, A. N. (1941): Confidence limits for an unknown distribution function. Ann. Math. Statist. 12, 461-463
- Köpke, U. (1993): Nährstoffmanagement durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen in Berichte über Landwirtschaft, 207. Sonderheft, Verlag Paul Parey Hamburg Berlin, S. 181-204
- Körschens, M., Franko, U., Klimanek, E. M., Schulz, E., Siewert, C., Eich, D., Wrankmore, U., Wedekind, I. und A. Pfefferkorn (1989): Modell und Parameter des Einflusses der Wurzelentwicklung der Hauptfruchtarten auf die C- und N-Dynamik des Bodens. F/E-Bericht, FZB Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt, AdL der DDR
- Korsmo, E. (1930): Unkräuter im Ackerbau der Neuzeit. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Kowalczyk, Th. und D. Schröder (1988): Beeinflussung bodenmikrobiologischer Parameter durch Bodeneigenschaften auf Standorten mit geringen Unterschieden im Corg-Gehalt. Kali-Briefe (Büntehof) 19 (5), 335-344
- Krauss, M. (1994): N-Nachwirkung von Brache bei unterschiedlicher Begrünung, Bayer. Landwirtschaftl. Jhb. SuB Heft 03/94, S.III-3-6

- Krumbiegel, A. und S. Klotz (1998): Einfluß von Brachflächen auf die Biodiversität – Möglichkeiten des Managements und der Schaffung naturnaher Biozönosen.
Abschlußbericht an das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
- Kucera, C. L. und D. R. Kirkham (1971): soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri, *Ecology* 52: 912-915
- Ladd, J. N. (1985): Soil enzymes. In: Vaughan, D. and R. E. Malcolm (Hrsg.): Soil organic matter and biological activity.-Development in Plant and Soil Sciences 16, 175-221, Martinus Nijhoff/W. Junk Publishers, Dordrecht-Boston-Lancaster
- Lehmann, E. L. (1975): Nonparametrics, Statistical Methods Based on Ranks. San Francisco.
- Lehn, J. und H. Wegman (1992): Einführung in die Statistik. Teubner, Stuttgart
- Leinweber, P., Schulten, H.-R. und M. Körschens (1995): Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biol. Fertil. Soils* 20: 17-23
- Leinweber, P und H.-R. Schulten (1997): Untersuchungen des unbekanntes organischen Stickstoffs im Boden.
- Leita, L., de Nobili, M., Mondini, C., Muhlbachova, G., Marchiol, L., Bragato, G. und M. Contin (1999): Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial-biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. *Biol Fertil Soils* 28 : 371–376, Springer-Verlag
- Liebe, F., Welp, G. und G. W. Brümmer (1997): Anorganische Schadstoffe in Böden Nord rheinwestfalens. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 85, 741-744
- Lovell, R. D. und D. J. Hatch (1998): Stimulation of microbial activity following spring applications of nitrogen. *Biol. Fertil. Soils* 26: 28-30
- Lovell, R. D., Jarvis, S. C. und R. S. Bardgett (1995): Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil. Biol. Biochem.* 27: 969-975
- Machulla, G. und S. Klose (1996): Teilprojekt IV.1 Dynamik abiotischer und biotischer Bodenprozesse bei der Renaturierung intensiv genutzter Agro-Ökosysteme In: Abschlußbericht Forschungsverbundprojekt REGNAL, 173-191
- Mahn, E.-G., Braun, U., Germershausen, K., Helmecke, K., Kästner, A., Machulla, G., Prasse, J., Rosche, O., Sternkopf, G. und W. Wittsack (1988): Zum Einfluß mehrjährigen unterschiedlichen Stickstoffangebotes auf die zönotischen Strukturen eines Agro-Ökosystems. *Arch. Nat. schutz Landsch.forsch.*, Berlin 28:4, 215-243

- Mann, H. B. und D. R. Whitney (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statist.* 18, 50-60
- Manzke, F., Beck, Th. und E. M. Klimanek (1993): Mikrobiologische und bodenchemische Parameter bei unterschiedlicher Bodennutzung. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 72, 601-604
- McAndrew, D. W. und S. S. Malhi (1992): Long-term N fertilization of a solonchic soil: effects on chemical and biological properties. *Soil Biol. Biochem.* Vol 24, 619-623
- McGill, W. B.; Cannon, K. R. Robertson, J. R. und F. D. Cook (1986): Dynamics of microbial biomass and watersoluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. of Soil Sci.* 66: 1-19
- Meißner, R., Seeger, J., Rupp, H. und P. Schonert (1993): Der Einfluß der Flächenstilllegung und Extensivierung auf den Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser. *Vom Wasser* 81, 197-215
- Mählhop, R. (1987): Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der EUF-Methode. *VDLUFA-Schriftenreihe* 24, 105-115
- Meiweis, K.-J., König, M., Khanna, K., Prenzel, J. und Ulrich, B. (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung von Waldböden. *Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen, Bd. 7, S. 1-67.*
- Mengel, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. G.-Fischer Verlag Jena
- Mengel, K. (1996): Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant and Soil* 181: 83-93
- Mengel, K. und D. Pilbeam (1992): Nitrogen Metabolism of Plants. Oxford University Press
- Mengel, K. und H. Schmeer (1985): Effect of straw, cellulose and lignin on the turnover and availability of labelled ammonium nitrate. *Biol. Fert. Soils* 1: 175-181
- Merbach, I und G. Sauerbeck (1995): N-Dynamik von Segetalzönosen auf Lößschwarzerde unter besonderer Berücksichtigung ihrer Streu. Einzelbericht zum Teilprojekt 5 In: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. Teubner Verlagsgesellschaft
- Moore, T. R. (1986): Carbon dioxide evolution from subarctic peatlands in eastern Canada. *Arct. Alpine Res.* 18: 189-193
- Moschrefi, N. (1967): Modelluntersuchungen über die Ursachen, Größen und Wirkungen der Wasserbewegung im Boden bei ungesättigten Feuchtezustand. Diss., Inst. f. Bodenk. Univ. Göttingen

- Müller, E. und W. Loeffler (1992): Mykologie: Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner. 5. Auflage, Thieme Verlag
- Mundel, G. (1987): Beziehungen zwischen dem Stickstoffentzug durch das Erntegut sowie der Evapotranspiration und dem Nitrateintrag in das Grundwasser verschiedener entwässerter Niederungsböden (Lysimeterversuche). Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 31: 177-186
- Nemeth, K., Bartels, H. und M. Vogel (1986): Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF – 1. Teil. Zuckerind. 111, 932-937
- Odum, E. P. (1985): Trends expected in stressed ecosystems. Bioscience 35: 419-422
- Olf, H.-W. (1992): Charakterisierung des N-Umsatzes im Boden durch mikrobiologische und chemische Parameter und Bedeutung dieser Kenngrößen für die Ableitung von N-Düngebedarfsprognosen. Diss. Bonn
- Olf, H.-W. und W. Werner (1989): Veränderungen extrahierbarer „Norg“-Mengen unter dem Einfluß variierter C/N-Verhältnisse und Biomasse. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongreßband 1988, Teil II, 15-26
- Ortseifen, U. und W. Werner (1993): Endbericht zu Forschungsvorhaben: „Entwicklung und Überprüfung eines N-Düngungskonzeptes unter Einbeziehung des N-Nachlieferungspotentials der Böden in die Nmin-gestützte Düngungsempfehlung im Einzugsgebiet des Frischhofsbaches“. Agrikulturchemisches Institut, Bonn
- Paul, E. A. und F. E. Clark (1989): Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego, Calif.
- Phillipson, J., Putman, R. J., Steel, J. und S. R. J. Woodell (1975): Litter input, litter decomposition and the evolution of carbon dioxide in a beech woodland. Wytham Woods, Oxford. Oecologia 20: 203-217
- Persson, T., Bååth, E., Clarholm, M., Lundkvist, H., Söderström, B. E. und B. Söhlenius (1980): Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a Scot pine forest. In: Persson, T. (ed) structure and function of northern coniferous forests – an ecosystem study. Ecol. Bull (Stockholm) 33: 419-459
- Raderschall, R. (1993): Austräge von Nitrat und weiteren Nährstoffen aus landwirtschaftlich genutzten Böden in das Gewässersystem der Hunte. Dissertation Fachbereich Biologie, Universität Oldenburg
- Raich, J. W. und K. J. Nadelhoffer (1989): Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. Ecology 70: 1346-1354

- Renger, M. und G. Wessolek (1992): Qualitative und quantitative Aspekte zur Nitratverlagerung. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 68, S. 111-114
- Rheinhaben, W. von (1988): Beziehungen zwischen der EUF-Norg-Fraktion und chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden. In: EUF-Symposium '88 „Kostensenkung und Umweltschutz“, Band II, 469-483; Süddeutsche Zucker-AG Mannheim
- Recke, H., Nemeth, K. und M. Vogel (1990): Zusammensetzung der EUF-Norg-Fraktionen bei 20°C und 80°C in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. *VDLUFA-Schriftenreihe 32, Kongreßband 1990*, 329-355
- Reekie, E.G. und R.E. Redmann (1987): Growth and maintenance respiration of perennial root systems in a dry grassland dominated by *Agropyron dasystachyum* (HOOK.) *Scribn. New Phytol.* 105, 595-603
- Richter, G. M. und J. Richter (1991): Verlagerung und Abbau von Nitrat in der ungesättigten Zone unterhalb des Wurzelraumes. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 66/II, 1003-1006
- Ritz, K. und D. Robinson (1988): Temporal variation in soil microbial biomass C and N under a spring barley crop. *Soil. Biol. Bioch.* 20: 625-630
- Rothmaler, W. (1981): *Exkursionsflora Band 2 Gefäßpflanzen*. Volk und Wissen Berlin
- Schmalz, B. und B. Lennartz (1999): Untersuchungen zur Variabilität eines Wasserflusses in einem Sandmodell. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 91/I, 242-245
- Sabey, B. R. und D. D. Johnson (1971): Effect of soil moisture tension on nitrate accumulation in Drummer silty clay loam. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison 35: 848-850
- Sachs, L. (1997): *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden*. 8. Aufl. Springer, Berlin
- Sauerbeck, D. (1993): Strategien für einen umweltschonenden Düngereinsatz, In: *Berichte über Landwirtschaft*, 207. Sonderheft, Verlag Paul Parey Hamburg Berlin, S. 170-181
- Sauerwein, M. (1993): *Statistische Modellbildung geographischer Daten mittels nichtparametrischer und multivariater Verfahren*. Eine interdisziplinäre Untersuchung am Beispiel von Schwermetallbelastungen auf Südsardinien. Staatsexamensarbeit, Technische Hochschule Darmstadt
- Scheffer, B. und H. Kuntze (1991): Nährstoffaustrag aus einem grundwassernahen Sandboden bei Mineral- und Gülledüngung. *DVWK Schriften* 93, S. 3-73
- Scheffer, B. und P. Schachtschabel (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 14. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart
- Schilling, G. (1987): *Pflanzenernährung und Düngung*. Deutscher Landwirtschaftsverlag

- Schinner, F. und R. Sonnleitner (1996): Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik
Band II Bodenbewirtschaftung, Düngung und Rekultivierung. Springer-Verlag Berlin
Heidelberg
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. und R. Margesin (1993): Bodenbiologische Arbeits-
methoden. 2. Auflage, Springer Verlag
- Schmidt, W. (1984): Der Einfluß des Mulchens auf die Entwicklung von Ackerbrachen –
Ergebnisse aus 15jährigen Dauerbeobachtungsflächen. *Natur und Landschaft*
59: 47-55
- Schmidt, W.-D., Kretzschmar, R., Neuhaus, H., Scheffer, B. und W. Walther (1985): Boden-
nutzung und Nitrataustrag: Literaturlauswertung über die Situation bis 1984 in der
Bundesrepublik Deutschland. DVWK-Schriften, Bd. 73, Verlag P. Parey
- Schneider, U. (1991): Messungen von Denitrifikations- und Nitratauswaschungsverlusten
in einem landwirtschaftlich genutzten Wassereinzugsgebiet. Dissertation der Land-
wirtschaftliche Fakultät der Universität zu Bonn
- Schnitzer, M. und K. C. Ivarson (1982): Different form of nitrogen in particle-size fractions
separated from two soils. *Plant and soil* 69, 383-389
- Schulten, H.-R., Sorge-Lewin, C. und M. Schnitzer (1997): Structure of "unknown" soil
nitrogen investigated by analytical pyrolysis. *Biol. Fertil. Soils* 24: 249-254
- Schulz-Behrend, V. (1986): Der Stickstoffhaushalt eines Ruderalstandortes als Grundlage der
Beurteilung von Ökosystem-Veränderungen. Diss. Bremen
- Schwertmann, U. (1998): Chemische Eigenschaften der Böden. In: Scheffer und Schacht-
schabel Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, 87-133
- Shen, S. M., Hart, P. B. S., Powelson, D. S. und D. S. Jenkinson (1989): The nitrogen cycle in
the Broadbalk wheat experiment: ¹⁵N-labelled fertilizer residues in the soil and in the
soil microbial biomass. *Soil. Biol. Biochem.* 21: 529-533
- Silvola, J., Alm, J., Ahlholm, U., Nykänen, H. und P. Martikainen (1996): The contribution of
plant roots to CO₂ fluxes from organic soils. *Biol. Fertil. Soils* 23: 126-131
- Smiley, R. W. (1974): Rhizosphere pH as influenced by plants, soil and nitrogen fertilizers.
Soil Sci Amer. Proc. 38: 795-799
- Smith, J. L. und E. A. Paul (1990): The significance of soil microbial estimations. In: *Soil
Biochemistry* (J. M. Bollag and G. Stotsky, Eds.), Vol. 6: 357-396, Marcel Dekker,
New York

- Smolander, A., Kurka, A., Kitunen, V. und E. Malkonen (1994) Microbial biomass C and N, and respiratory activity in soil of repeatedly limed and N- and P- fertilised spruce stands. *Soil. Biol. Biochem.* 26: 957-962
- Soderstrom, B., Baath, E. und B. Lundgren (1983): Decrease in soil microbial activity and biomass owing to nitrogen amendments. *Can. J. Microbiol.* 29: 1500-1506
- Sommer, M., Jahn, R. und K. Stahr (1993): Bodenkundliche Aspekte der Flächenstilllegung. In: Zusammenfassender Bericht zum Forschungsprojekt „Begleitforschung zur Flächenstilllegung“. Im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg
- Schwäbisch Haller Agrarkolloquium (1994): Für eine umweltfreundliche Bodennutzung, Bodenfunktionen und Bodenfruchtbarkeit. Robert Bosch Stiftung, Bleicher Verlag Gerlingen
- Siebner, C. S., Becker, K.-W. und Meyer, B. (1997): Beobachtungen zum dispersiven Wasser- und Soluttransport in Sandböden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 85, I, 167-170
- Siegel, S. (1985): Nichtparametrische statistische Methoden. Fachbuchhandlung f. Psychologie, Eschborn
- Siepen, A. und W. Werner (1995): Zur Bedeutung des CaCl_2 -Norg-Wertes als Kriterium des N-Nachlieferungspotentials von Sandböden – Untersuchungen zur Optimierung der Nmin-gestützten Düngungsempfehlung zu Mais im nördlichen Münsterland. Forschungsberichte der Landw. Fak. der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Heft Nr. 29
- Sinowski, W. und K. Auerswald (1993): Geostatistik und Bodenkartierung – ist eine Synthese möglich? *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 85, 777-780
- Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F. und A. Bresinsky (1991): Strassburger Lehrbuch der Botanik G. Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York
- Sneyd, J. (1995): Alternative Nutzpflanzen. Ulmer, Stuttgart
- Sommer, M., Jahn, R. und K. Stahr (1993): Bodenkundliche Aspekte der Flächenstilllegung, Zusammenfassender Bericht zum Forschungsprojekt „Begleitforschung zur Flächenstilllegung im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg

- Sontheimer, H. und U. Rohmann (1986): Anforderungen an ein wirksames Grundwasserschutzkonzept zur Vermeidung der Nitratbelastung auf der Basis von Bodengrenzwerten für Nitrat und damit gekoppelten Ausgleichsleistungen an die Landbewirtschaftler. Bericht der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe
- Sparling, G. P. (1985): The soil biomass. In: Vaughan, D. and R. E. Malcolm (Hrsg.): Soil organic matter and biological activity.-Development in Plant and Soil Sciences 16, 224-262, Martinus Nijhoff/W. Junk Publishers, Dordrecht-Boston-Lancaster
- Sparling, G. P. (1992): Ration of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Aust. J. Soil. Res. 30: 195-207
- Spörl, S. und J. Garz (1981): Zur Abhängigkeit der N-Nachlieferung in Ackerböden von Feuchtigkeit und Temperatur. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin 25: 213-218
- Stahr, K. und R. Jahn (1992): Auswirkung der Flächenstilllegung auf Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie Bodenstruktur repräsentativer Ackerstandorte Baden-Württembergs, Abschlußbericht des Forschungsprojektes Begleitforschung zur Flächenstilllegung - Projektbereich Bodenkunde - im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg
- Stanford, G. und E. Epstein (1974): Nitrogen mineralization – water relations in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 38:103-107
- Stanford, G. (1982): Assessment of soil nitrogen availability. In F. J. Stevenson (Hrsg.) „Nitrogen in agricultural soils“, 651-688, Agronomy Monograph No 22, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA
- Stein, A. (1993): Modelling spatial variability of soil pollution variables with geostatistics for environmental purposes. In: Eijsackers & Hamers 1993, 431-434
- Stevenson, F. J. (1982): Organic forms of soil nitrogen. In F. J. Stevenson: Nitrogen in agricultural soils, Agronomy 22, Madison, Wisconsin, USA, pp 67-122
- Strebel, O., Böttcher, J., Eberle, M. und R. Aldag (1988): Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151, 341-347
- Tanneberg, H. und D. Landgraf (1996): Teilprojekt V.1 Bodenökologische Kennzeichnung von Ackerstandorten im Naturpark Dübener Heide. In: Abschlussbericht Forschungsverbundprojekt REGNAL, 255-265

- Turyabahika, F., Wais, S. und K. Stahr (1995): Versuch einer regionalen Betrachtung der N-Mineralisierung in Ackerböden des Kraichgaus. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 76, S.951- 954
- Trolldenier, G.(1988): Fortschritte der Bodenbiologie. *Kali-Briefe* 20 (1) 1-15
- Ulschner-Peetz, C. und K.-H. Neumann (1990): Untersuchungen zur molekularen Charakterisierung der EUF-Norg-Fraktion in verschiedenen Böden. *VDLUFA-Schriftenreihe* 32, Kongreßband, 853-859
- Valsecchi, G. Gigliotti, C. und A. Farini (1995): Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 20: 253-259
- van Gestel, M., Ladd, J. N. und M. Amato (1991): Carbon and nitrogen mineralization from two arable soils of contrasting texture and microaggregate stability: influence of sequential fumigation, drying and storage. *Soil Biology & Biochemistry* 23: 313-322
- van Gestel, M., Ladd, J. N. und M. Amato (1992): Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biology & Biochemistry* 24: 103-111
- van der Ploeg, R. R. und B. Huwe (1988): Die Bedeutung von herbstlichen Nmin-Werten für die winterlichen Nitratausträge.
- von Lützwow, M. (1993): Jahreszeitliche Fluktuation der mikrobiellen Biomasse und ihres Stickstoffgehaltes in konventionell und biologisch-dynamisch bewirtschafteten Parabraunerden der Friedberger Wetterau. *Diss. Uni Giessen, Fachb. Agrarwiss.*
- Wardle, D. A. und A. Ghani (1995): A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 27, No. 12: 1601-1610
- Wedekind, I. (1990): Unkrautbewirtschaftung als Beitrag zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und zur Stabilisierung der Agrobiozönose. *Tag.-Ber., AdL, Berlin* 295: 291-294
- Weinzierl, W. (1992): Ermittlung, Bewertung und Darstellung der potentiellen Nitratauswaschungsgefahr landwirtschaftlich genutzter Böden im Maßstab 1:25 000. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 68, S. 139-141
- Welp, G., Liebe, F., Helfrich, H.-P. und G. W. Brümmer (1997): Anorganische Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.* 85, 393-396
- Welte, E. (1979): Über den Nährstoffeintrag in Grundwasser und Oberflächengewässer aus Boden und Düngung. -236 S., Hrsg. *VDLUFA, Darmstadt*

- Weyers, M. und D. Schröder (1988): Nitrataustrag im Wasserschutzgebiet Dockendorf in Abhängigkeit von Bodenform und Nutzung. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 57, S. 125-130
- Weymar, H. (1988): *Lernt Pflanzen kennen – Exkursionsführer zum Bestimmen mitteleuropäischer Pflanzen*. 5. Auflage; Neumann Verlag Leipzig Radebeul
- Widmer, P., Brookes, C. und L. C. Parry (1989): Microbial biomass nitrogen measurements in soils containing large amounts of inorganic nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* Vol 21, 865-867
- Widmer, P. und J. Richter (1989): Räumliche Variabilität mikrobiell gebundenen Stickstoffs und Kohlenstoffs. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 59, S. 635-638
- Wolf, G. (1979): Veränderungen der Vegetation und Abbau der organischen Substanz in aufgegebenen Wiesen des Westerwaldes. *Schr. Reihe Vegetationskde.* 13: 1175-1185
- Woods, L. E. und G. E. Schumann (1986): Influence of soil organic matter concentration on carbon and nitrogen activities. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1241-1244
- Yilmaz, G., Kleber, M. und K. Stahr (1997): Stickstoffumsatz in einer Lößlandschaft. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 85 II, 1075-1078

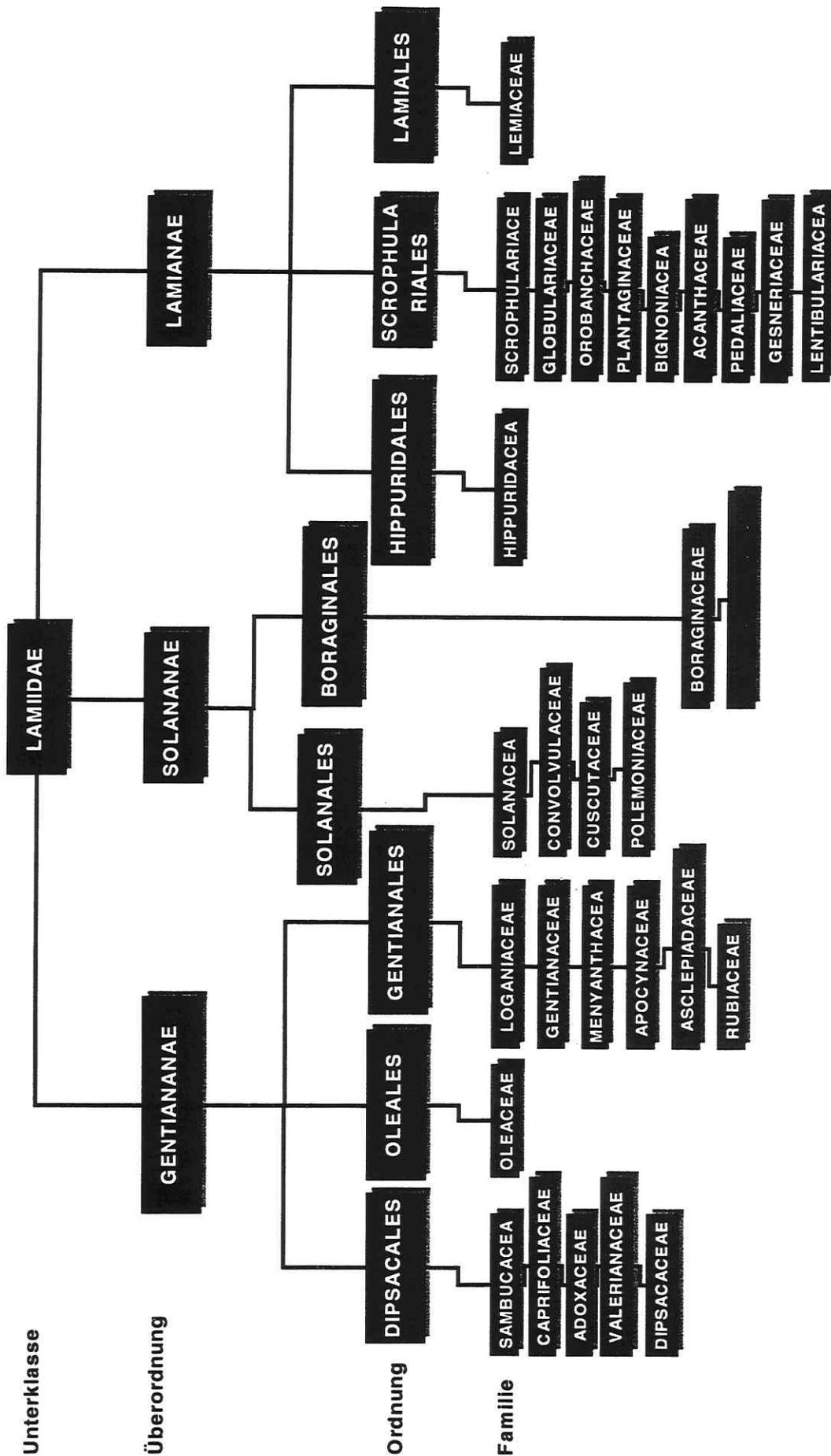


Abb. A.1: Hierarchische Stellung der Phacelia in der botanischen Klassifikation (Quelle: Sitte et al., 1991)

Tab. A1/1: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe (cm)	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
A1	0-17	rAp	Ls2	10YR 3/2		Braunerde
	17-53	Bv	fS	10YR 4/3		
	53-100	ilC	gS	10YR 5/4		
A2	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	30-35	Bv	Sl2	10YR 3/6 + 5YR 2,5/1		
	35-100	ilC(v)	Su3	10YR 4/4		
A3	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	30-50	Bv	Sl2	7,5YR 5/6		
	50-100	ilC	mS	10YR 6/6		
A4	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/3		Braunerde
	30-50	Bv	Sl2	7,5YR 3/3		
	50-100	ilC	gS	10YR 5/6		
A5	0-33	rAp	Sl3	10YR 3/3		Braunerde
	33-48	Bv	Sl2	10YR 4/2 + 10YR 5/6		
	48-100	ilC	mS	10YR 6/6		
A6	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	30-44	Bv	Sl2	10YR 4/2	gebändert	
	44-100	lCs	mS	10YR 6/4+ 5YR4/3		
A7	0-33	rAp	Sl2	10YR 4/2		Braunerde
	33-46	Bv	Sl2	10YR 4/3	gebändert	
	46-100	ilC	mS	10YR 6/6+ 7,5YR 4/6+ 5YR5/6		
A8	0-35	rAp	Sl2	10YR 3/3		Braunerde
	35-46	Bv	mS	7,5YR 4/6		
	46-100	ilC	mS	10YR 6/8		
A9	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	30-38	Ah-Bv	mS	10YR 4/3	gebändert, Kon- kretionen	
	38-60	Bv	mS	7,5YR 4/6		
	60-100	ilC	Su2	7,5YR 5/6		
A10	0-5	rAp	Su2	10YR 3/1		Humose Braunerde
	5-72	Ah-Bv	mS	10YR 6/6	Stauschicht	
	72-100	II ilCv	mS+sL	10YR 5/6 + 10YR 6/6		
B1	0-24	rAp	Su2	10YR 3/3		Braunerde
	24-78	Bv	mS	7,5YR 4/6		
	78-100	ilC	mS	10YR 5/6		
B2	0-23	rAp	Su2	10YR 3/2		Braunerde
	23-38	Bv	Su2	10YR 3/3	gebändert	
	38-100	ilC	fS	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6		
B3	0-20	rAp	Su2	10YR 3/2		Braunerde
	20-37	Bv	Su2	10YR 3 /4		
	37-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B4	0-28	rAp	Su2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	28-42	Ah-Bv	Su2	10YR 3 /6	Konkretionen, gebändert	
	42-100	ilC	mS	10YR 5/6 + 7,5YR 5/6		

Tab. A1/2: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
B5	0-27	rAp	Su2	10YR 3/3	gebändert	Braunerde
	27-37	Bv	Su2	5YR 5/6		
	37-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B6	0-27	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	27-34	Bv	Su2	7,5YR 4/6		
	34-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B7	0-30	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	30-38	Bv	Su2	7,5YR 4/3		
	38-100	ilC	mS	10YR 6/6 + 7,5YR 4/6		
B8	0-23	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	23-33	Bv	Su2	10YR 4/3		
	33-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B9	0-25	rAp	Su2	10YR 3/3		Braunerde
	25-37	Bv	Su2	10YR 4/3		
	37-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B10	0-22	rAp	Su2	10YR 3/2	Lehmlinsen	Braunerde
	22-30	Bv	Su2	10YR 4/4		
	30-53	ilC	Su2	7,5YR 4/6		
	53-100	II ilC	Su2	7,5YR 6/6		
B11	0-24	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	24-100	ilC	mS	10YR 6/6		
B12	0-22	rAp	Su2	10YR 3/2		Braunerde
	22-52	Bv	Su2	10YR 4/3		
	52-100	ilC	mS	10YR 7/6		
C1	0-24	rAp	Su2	10YR 3/2		Braunerde
	24-38	Bv	Su2	10YR 4/4		
	38-57	II ilCv	mS	10YR 4/6		
	57-100	II ilCv	mS	10YR 5/4		
C2	0-32	rAp	Su2	10YR 3/3		Braunerde
	32-55	Bv	Su2	7,5YR 4/6		
	55-75	ilCv	Su2	10YR 5/6		
	75-89	II ilCv	Ls3	10YR 5/6		
89-100	III ilCv	mS	10YR 6/6			
C3	0-20	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	20-33	Bv	Su2	10YR 4/3		
	33-65	ilCv	Su2	7,5YR 4/6		
	65-100	II ilCv	mS	10YR 6/6		
C4	0-17	rAp	Su2	10YR 3/2	gebändert	Humose Braunerde
	17-32	Ah-Bv	Su2	10YR 4/3		
	32-52	Bv	Su2	7,5YR 4/4		
	52-100	ilCv	mS	10YR 5/4 + 7,5YR 5/6		
C5	0-24	rAp	Su2	10YR 4/3	gebändert	Humose Braunerde
	24-40	Ah-Bv	Su2	10YR 4/3		
	40-78	ilCv	Su2	7,5YR 4/4		
	78-100	II ilCv	mS	10YR 5/6		
C6	0-24	rAp	Su2	10YR 3/3	gebändert	Braunerde
	24-38	Bv	Su2	10YR 4/2		
	38-77	ilCv	Ls2	7,5YR 5/4		
	77-100	II ilCv	mS	7,5YR 6/6		
C7	0-29	rAp	Su2	10YR 4/2		Humose Braunerde
	29-50	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/4		
	50-89	ilCv	Su2	10YR 4/6		
	89-100	II ilCv	mS	10YR 5/6		

Tab. A1/3: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
C8	0-26	rAp	Su2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	26-49	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/4		
	49-100	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
C9	0-30	rAp	Su2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	30-50	Ah-Bv	Su2	10YR 4/3		
	50-95	ilCv	Ls3	10YR 5/4		
	95-100	II ilCv	mS	7,5YR 5/6		
C10	0-30	rAp	Su2	10YR 4/2	Lehmlinsen	Humose Braunerde
	30-45	Ah-Bv	Su2	10YR 4/4		
	45-75	ilCv	Su2	10YR 5/4		
	75-100	II ilCv	mS	10YR 5/4 + 7,5YR 5/6		
C11	0-25	rAp	Su2	10YR 4/3	gebändert	Braunerde
	25-33	Bv	Su2	7,5YR 4/6		
	33-66	ilCv	Su2	10YR 4/4		
	66-71	II ilCv	Ls3	7,5YR 4/6		
	71-100	III ilCv	mS	10YR 4/6 + 7,5YR 4/6		
C12	0-32	rAp	Su2	10YR 3/3	Lehmlinsen	Braunerde- Pseudogley
	32-49	Ah-Bv-Sw	Su2	7,5YR 5/4		
	49-61	Bs-Sd	Su2	7,5YR 4/4		
	61-100	ilCv	mS	7,5YR 5/6		
C13	0-38	rAp	Su2	10YR 3/4	Lehmlinsen	Braunerde- Pseudogley
	38-59	Ah-Bv-Sw	Su2	10YR 5/4		
	59-82	Bs-Sd	Su2	7,5YR 4/6		
	82-100	ilCv	mS	7,5YR 4/4		
C14	0-25	rAp	Su2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	25-54	Ah-Bv	Su2	7,5YR 3/2		
	54-100	ilCv	mS	7,5YR 4/4		
D1	0-15	rAp	Su2	10YR 2/2	Konkretionen	Braunerde
	15-25	Bv	Su2	10YR 3/2		
	25-48	ilCv	mS	10YR 4/4		
	48-100	II ilCv	mS	10YR 4/4		
D2	0-30	rAp	Su2	10YR 3/3	Steinschicht	Humose Braunerde
	30-48	Ah-Bv	Su2	7,5YR 3/3		
	48-60	Bv	Su2	7,5YR 4/4		
	60-82	IlCv	Ls3	10YR 4/3		
	82-100	II ilCv	Ls2	10YR 5/6		
D3	0-20	rAp	Su2	10YR 3/4		Humose Braunerde
	20-50	Ah-Bv	Su2	10YR 5/4		
	50-90	ilCv	Su2	7,5YR 4/6		
	90-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/4		
D4	0-23	rAp	Su2	10YR 4/3		Humose Braunerde
	23-36	Ah-Bv	Su2	10YR 3/3		
	36-90	ilCv	Su2	7,5YR 4/6		
	90-100	II ilCv	mS	7,5YR 5/6		
D5	0-26	rAp	Su2	10YR 4/2	gebändert	Humose Braunerde
	26-45	Ah-Bv	Su2	10YR 3/3		
	45-60	ilCv	Lt2	7,5YR 4/6		
	60-100	II ilCv	mS	7,5YR 5/6 + 7,5YR 4/6		

Tab. A1/4: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
D6	0-25	rAp	Sl2	10YR 4/2	Steine	Humose Braunerde
	25-39	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3		
	39-79	ilCv	Sl2	7,5YR 5/6		
	79-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/6 + 7,5YR 5/6		
D7	0-24	rAp	Sl2	10YR 4/3	gebändert	Humose Braunerde
	24-48	Ah-Bv	Sl3	10YR 3/3		
	48-87	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	87-100	II ilCv	mS	10YR 5/6		
D8	0-29	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	29-48	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	48-64	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
	64-80	II ilCv	Ls3	7,5YR 4/4		
80-100	III ilCv	mS	7,5YR 6/6			
D9	0-27	rAp	Sl2	10YR 4/2		Humose Braunerde
	27-48	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	48-85	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
	85-100	II ilCv	mS	10YR 5/4		
D10	0-20	rAp	Sl2	10YR 4/2		Braunerde
	20-31	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	31-83	ilCv	Ls3	10YR 4/4		
	83-94	II ilCv	Sl3	7,5YR 4/6		
	94-100	III ilCv	Sl2	10YR 4/6		
D11	0-25	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	25-51	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/3		
	51-92	ilCv	Ls2	10YR 5/4		
	92-100	II ilCv	Sl3	7,5YR 4/4		
D12	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde- Pseudogley
	30-46	Ah-Bv	Sl2	10YR 3 /4		
	46-63	Sw	Ls3	7,5YR 4/4		
	63-93	Sd	Ls2	7,5YR 5/6		
93-100	ilCv	Sl3	7,5YR 4/6			
D13	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	30-40	Ah-Bv	Ls2	10YR 3/3		
	40-90	ilCv	Ls2	7,5YR 4/3		
	90-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/4		
D14	0-23	rAp	Sl2	10YR 4/3		Humose Braunerde
	23-53	Ah-Bv	Ls2	10YR 3/2		
	53-100	ilCv	mS	10YR 4/6		
E1	0-20	rAp	Sl2	10YR 4/2	gebändert	Humose Braunerde
	20-48	Ah-Bv	mS	7,5YR 4/2		
	48-100	ilCv	mS	7,5YR 4/6 + 10YR 6/4		
E2	0-33	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	33-56	Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	56-78	ilCv	Sl3	7,5YR 4/3		
	78-100	II ilCv	Ls2	10YR 5/4		
E3	0-28	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	28-45	Ah-Bv	Sl2	10YR ¾		
	45-95	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	95-100	II ilCv	mS	10YR 5/6		
E4	0-30	rAp	Sl2	10YR 3 /4		Humose Braunerde
	30-50	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/3		
	50-96	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	96-100	II ilCv	mS	10YR 5/4		

Tab. A1/5: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
E5	0-28	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	28-43	Ah-Bv	Sl2	10YR 4/4		
	43-60	ilCv	Ls2	10YR 5/4		
	60-100	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
E6	0-35	rAp	Sl2	10YR 3/2	gebändert	Humose Braunerde
	35-57	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3 + 10YR 4/4		
	57-66	Bv-ilCv	Ls3	10YR 3/6		
	66-92	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	92-100	II ilCv	Sl3	7,5YR 5/6		
E7	0-40	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	40-53	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/3		
	53-92	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	92-100	II ilCv	mS	10YR 4/6		
E8	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/3	Sandlinsen	Humose Braunerde
	34-43	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/4 + 10YR 4/6		
	43-88	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	88-100	II ilCv	Ls3	7,5YR 4/6 + 10YR 4/4		
E9	0-28	rAp	Sl2	10YR 3/3	gebändert, Kon- kretionen Lehmlinsen, Kon- kretionen	Humose Braunerde
	28-40	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/4		
	40-63	ilCv	Sl2	10YR 4/3 + 7,5YR 4/4		
	63-100	II ilCv	fS	10YR 4/4 + 7,5YR 4/4		
E10	0-28	rAp	Sl2	10YR 4/2	Steine	Humose Braunerde
	28-50	Ah-Bv	Sl3	10YR 3/4		
	50-86	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	86-100	II ilCv	Ls3	10YR 4/4 + 7,5YR 4/4		
E11	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/3	Steine Steine gebändert	Humose Braunerde
	30-41	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/4		
	41-85	ilCv	Ls2	7,5YR 4/4		
	85-100	II ilCv	mS	10YR 4/4 + 7,5YR 4/6		
E12	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	30-45	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/2		
	45-82	ilCv	Ls2	10YR 4/4 + 7,5YR 4/6		
	82-100	II ilCv	fS	7,5YR 4/6		
E13	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	30-50	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/4		
	50-100	ilCv	Ls3	7,5YR 5/4		
E14	0-26	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	26-51	Ah-Bv	mS	10YR 3/4		
	41-85	ilCv	mS	7,5YR 4/6		
F1	0-16	rAp	Sl2	10YR 3/3	Konkretionen Konkretionen	Humose Braunerde
	16-42	Ah-Bv	mS	7,5YR 4/6		
	42-72	ilCv	mS	7,5YR 5/4		
	72-100	II ilCv	mS	10YR 6/6		
F2	0-35	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	35-65	Ah-Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	65-88	ilCv	Sl2	7,5YR 3/3		
	88-100	II ilCv	mS	7,5YR 5/6		

Tab. A1/6: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
F3	0-34	rAp	SI2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	34-65	Ah-Bv	SI3	10YR 4/3		
	65-96	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	96-100	II ilCv	mS	10YR 4/4		
F4	0-30	rAp	SI2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	30-43	Ah-Bv	SI2	10YR 4/4		
	43-91	ilCv	SI3	7,5YR 4/6		
	91-100	II ilCv	Ls2	7,5YR 5/4		
F5	0-32	rAp	SI2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	32-48	Ah-Bv	SI2	10YR 3/2		
	48-61	ilCv	SI3	7,5YR 4/6		
	61-100	II ilCv	SI2	10YR 5/4 + 7,5YR 4/4	gebändert	
F6	0-34	rAp	SI2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	34-49	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/4		
	49-62	ilCv	Ls3	10YR 4/6		
	62-92	II ilCv	Ls4	7,5YR 4/6		
	92-100	III ilCv	mS	7,5YR 4/4		
F7	0-33	rAp	SI2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	33-47	Ah-Bv	SI2	10YR 4/3		
	47-69	ilCv	SI2	7,5YR 5/6		
	69-80	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/4		
	80-100	III ilCv	SI2	10YR 5/8	gebändert	
F8	0-30	rAp	SI2	10YR 2/3		Humose Braunerde
	30-40	Ah-Bv	SI2	10YR 3/3		
	40-76	ilCv	SI3	7,5YR 4/4		
	76-100	II ilCv	SI4	10YR 4/6		
F9	0-38	rAp	SI2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	38-57	Ah-Bv	SI3	10YR 4/4		
	57-78	ilCv	fS	10YR 4/6		
	78-100	II ilCv	Ls2	10YR 5/4		
F10	0-29	rAp	SI2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	29-62	Ah-Bv	SI3	10YR 4/3		
	62-81	ilCv	SI3	10YR 4/6		
	81-100	II ilCv	Ls4	10YR 4/4		
F11	0-35	rAp	SI2	10YR 3/3		Braunerde
	35-47	Bv	SI2	7,5 YR 4/6 + 10YR 5/6		
	47-84	ilCv	Ls2	7,5YR 4/4 + 7,5 YR 5/6		
	84-100	II ilCv	mS	10YR 5/6		
F12	0-38	rAp	SI2	10YR 3/3		Braunerde
	38-42	Bv	SI2	10YR 3/3		
	42-71	ilCv	SI3	10YR 4/6 + 7,5 YR 4/4		
	71-88	II ilCv	SI4	7,5YR 4/6		
	88-100	III ilCv	mS	10YR 3/4	Steine	
F13	0-36	rAp	SI2	10YR 4/2		Braunerde
	36-60	Bv-ilCv	Ls3	10YR 4/4		
	60-85	ilCv	Ls3	7,5YR 4/6		
	85-100	II ilCv	fS	10YR 5/6 + 7,5 YR 4/4		

Tab. A1/7: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
F14	0-29	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	29-43	Bv-ilCv	Sl3	10YR 4/4		
	43-85	ilCv	Sl3	7,5YR 4/6		
	85-100	II ilCv	Sl4	10YR 4/4		
G1	0-29	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	29-43	Bv-ilCv	Sl3	10YR 4/4		
	85-100	II ilCv	Sl4	10YR 4/4		
G2	0-39	rAp	Sl2	10YR 3/2	Sandlinsen	Humose Braunerde
	39-51	Ah-Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	51-100	ilCv	Sl2	10YR 4/6		
G3	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/2	Steine	Braunerde
	30-37	Ah-Bv	Sl2	10YR 4/4		
	37-68	ilCv	Ls3	10YR 5/4		
	68-85	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	85-100	III ilCv	mS	10YR 6/6		
G4	0-26	rAp	Sl2	10YR 3/2	gebändert	Braunerde
	26-34	Bv	mS	10YR 4/6		
	34-100	ilCv	mS + fS	10YR 5/4 + 7,5 4/6		
G5	0-23	rAp	Sl2	10YR 3/3	gebändert	Braunerde
	23-36	Ah-Bv	Sl3	10YR 3/3 + 10YR 4/3		
	36-100	ilCv	mS + fS	10YR 5/4 + 7,5 4/4		
G6	0-26	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	26-51	Ah-Bv	mS	10YR 4/6		
	51-100	ilCv	mS	10YR 5/4		
G7	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/3	gebändert	Humose Braunerde
	34-50	Ah-Bv	Sl2	10YR 4/4		
	50-68	ilCv	Sl2	10YR 4/3		
	68-100	II ilCv	mS	10YR 5/4		
G8	0-32	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	32-42	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/4		
	42-47	Bv-ilCv	Sl2	10YR 5/6 + 10YR 3/3		
	47-100	ilCv	mS + fS	10YR 6/6		
G9	0-33	rAp	Sl2	10YR 3/3 + 10YR 4/6	gebändert	Humose Braunerde
	33-43	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/6		
	43-100	ilCv	mS	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6		
G10	0-32	rAp	Sl2	10YR 3/2	gebändert, Kon- kretionen	Humose Braunerde
	32-42	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	42-53	Bv	Sl3	10YR 5/4 + 7,5YR 3/4		
	53-100	ilCv	mS	10YR 6/4 + 7,5YR 4/4		
G11	0-32	rAp	Sl2	10YR 3/2	gebändert	Humose Braunerde
	32-40	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	40-51	Bv	Sl2	10YR 4/6 + 10YR 3/3		
	51-100	ilCv	Sl3	10YR 5/4 + 7,5YR 3/3		

Tab. A1/8: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
G12	0-35	rAp	SI2	10YR 3/2	gebändert Steine	Humose Braunerde
	35-47	Ah-Bv	SI4	10YR 5/4		
	47-98	ilCv	Ls3	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6		
	98-100	II ilCv	mS	10YR 4/4		
G13	0-33	rAp	SI2	10YR 4/2		Humose Braunerde
	33-47	Ah-Bv	SI2	10YR 4/3		
	47-77	ilCv	SI3	10YR 4/4		
	77-100	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
H1	0-33	rAp	SI2	10YR 5/4		Humose Braunerde
	33-61	Ah-Bv	SI2	7,5YR 4/4		
	61-100	ilCv	mS	10YR 3/2		
H2	0-31	rAp	SI2	10YR 3/2	Sand- und Lehm- linsen	Humose Braunerde
	31-50	Ah-Bv	SI3	10YR 3/2 + 10YR 4/6		
	50-100	ilCv	Ls2	10YR 3/2 + 7,5 YR 4/4		
H3	0-33	rAp	SI2	10YR 4/3	Konkretionen	Humose Braunerde
	33-40	Ah-Bv	SI2	10YR 6/6 + 10YR 4/3		
	40-100	ilCv	mS	10YR 5/4 + 7,5 YR 4/4		
H4	0-34	rAp	SI2	10YR 3/2	gebändert	Humose Braunerde
	34-41	Ah-Bv	SI2	10YR 4/3 + 10YR 4/6		
	41-100	ilCv	fS + mS	10YR 5/4 + 7,5 YR 4/6		
H5	0-22	rAp	SI2	10YR 4/3	gebändert	Braunerde
	22-31	Ah-Bv	SI2	10YR 4/4 + 10YR 5/4		
	31-100	ilCv	mS	10YR 6/4 + 7,5 YR 4/6		
H6	0-30	rAp	SI2	10YR 3/3	gebändert	Braunerde
	30-37	Ah-Bv	SI2	10YR 4/3		
	37-79	ilCv	SI2	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6	gebändert	
	79-100	II ilCv	mS	10YR 5/8 + 7,5YR 4/6		
H7	0-32	rAp	SI2	10YR 3/3	gebändert	Humose Braunerde
	32-45	Ah-Bv	SI4	10YR 4/3		
	45-79	ilCv	SI4	10YR 5/4		
	79-100	II ilCv	St3	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6		
H8	0-22	rAp	SI2	10YR 4/3	gebändert	Braunerde
	22-31	Ah-Bv	SI2	10YR 4/4 + 10YR 5/4		
	31-100	ilCv	mS	10YR 6/4 + 7,5 YR 4/6		

Tab. A1/9: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
H9	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2	gebändert, Sand- linsen	Humose Braunerde
	31-41	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/3		
	41-52	Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	52-100	ilCv	Ls3	10YR 5/4 + 7,5YR 4/4		
H10	0-38	rAp	Sl2	10YR 3/3	Steinsohle, Sand- linsen	Humose Braunerde
	38-47	Ah-Bv	Ls3	10YR 3/6		
	47-100	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
H11	0-38	rAp	Sl2	10YR 3/3	Steine	Humose Braunerde
	38-45	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3		
	45-93	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
	93-100	II ilCv	Sl2	7,5YR 4/6		
H12	0-33	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	33-48	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/2		
	48-93	ilCv	Ls3	7,5YR 4/4		
	93-100	II ilCv	Sl3	10YR 4/4		
H13	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	31-42	Ah-Bv	Sl2	10YR 4/3 + 10YR 4/4		
	42-79	ilCv	Sl3	10YR 4/4 + 7,5YR 3/4		
	79-100	II ilCv	Sl2	7,5YR 4/4		
I1	0-37	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	37-76	Ah-Bv	Sl3	7,5YR 4/6		
	76-100	ilCv	mS	7,5YR 4/4		
I2	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	31-59	Ah-Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	59-82	ilCv	mS	10YR 4/6		
	82-100	II ilCv	Sl4	10YR 5/6		
I3	0-39	rAp	Sl2	10YR 4/3		Braunerde
	39-50	Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	59-100	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
I4	0-32	rAp	Ls3	10YR 3/2		Humose Braunerde
	32-43	Ah-Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	43-100	ilCv	Sl3	7,5YR 4/6		
I5	0-25	rAp	Sl2	10YR 4/3	Ziegelbruchstücke	Braunerde
	25-37	Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	37-98	ilCv	Ls2	7,5YR 5/6		
	98-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/6		
I6	0-30	rAp	Sl2	10YR 3/3		Braunerde
	30-43	Bv	Sl2	7,5YR 3/3		
	43-65	ilCv	Sl4	10YR 5/4		
	65-100	II ilCv	Ls2	10YR 4/4		
I7	0-28	rAp	Sl2	10YR 4/3	Konkretionen	Braunerde
	28-38	Bv	Sl4	7,5YR 4/3		
	38-100	ilCv	Tl	7,5YR 5/6		
I8	0-32	rAp	Sl2	10YR 4/3		Humose Braunerde
	32-47	Ah-Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	47-71	ilCv	Sl4	7,5YR 4/6		
	71-100	II ilCv	Tl	7,5YR 5/6		

Tab. A1/10: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier-nummer	Tiefe	Horizont-bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
I9	0-20	rAp	Sl2	10YR 3/4		Humose Braunerde
	20-27	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/4		
	27-89	ilCv	Ls3	10YR 5/6		
	89-100	II ilCv	mS	7,5YR 5/6		
I10	0-27	rAp	Sl2	10YR 4/3		Humose Braunerde
	27-34	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3 + 7,5YR 4/6		
	34-87	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	87-100	II ilCv	mS + gS	10YR 4/6	Kies und Steine	
I11	0-28	rAp	Sl2	10YR 3/3		Humose Braunerde
	28-38	Ah-Bv	Ls3	10YR 4/4		
	38-82	ilCv	Sl2	7,5YR 4/6		
	82-100	II ilCv	gS	7,5YR 4/4	Steine	
I12	0-33	rAp	Sl2	10YR 4/3		Humose Braunerde
	33-42	Ah-Bv	Sl4	7,5YR 4/3		
	42-90	ilCv	Ls3	7,5YR 5/6		
	90-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/6	Steine	
I13	0-32	rAp	Sl2	10YR 3/2		Humose Braunerde
	32-46	Ah-Bv	Sl2	10YR 4/3		
	46-100	ilCv	Sl3	10YR 5/4 + 7,5YR 4/6		
J1	0-36	rAp	Sl2	10YR 5/3		Braunerde
	36-69	Bv	Sl2	7,5YR 4/3		
	69-100	ilCv	mS	10YR 3/2		
J2	0-33	rAp	Sl2	10YR 5/4		Braunerde
	33-63	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	63-100	ilCv	mS	10YR 3/2		
J3	0-37	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	37-44	Bv	Sl2	10YR 4/4		
	44-100	ilCv	MS + Ls3	10YR 5/4 + 7,5YR 5/6		
J4	0-34	rAp	Sl2	10YR 4/3		Braunerde
	34-44	Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	44-100	ilCv	Ls2	10YR 4/6		
J5	0-36	rAp	Sl2	10YR 4/3		Braunerde
	36-49	Bv	Sl2	7,5YR 3/3		
	49-91	ilCv	Ls3	10YR 4/6		
	91-100	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
J6	0-27	rAp	Sl2	10YR 3/3		Braunerde
	27-37	Bv	Sl2	7,5YR 3/3		
	37-58	ilCv	Sl4	7,5YR 4/6		
	58-100	II ilCv	Ls2	7,5YR 4/4		
J7	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	31-40	Bv	Sl2	10YR 4/4		
	40-100	ilCv	Tl	7,5YR 5/6		
J8	0-36	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	36-46	Bv	Sl2	10YR 4/4		
	46-100	ilCv	Tl	7,5YR 5/6		
J9	0-36	rAp	Sl2	10YR 4/4		Braunerde
	36-51	Bv	Sl3	7,5YR 4/6	Konkretionen	
	51-100	ilCv	Ls2	10YR 3/2		

Tab. A1/11: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
J10	0-28	rAp	Sl2	10YR 4/3	Steine	Humose Braunerde
	28-43	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/4 + 10YR 4/3		
	43-100	ilCv	Ls3	7,5YR 4/6		
J11	0-35	rAp	Sl2	10YR 3/3	Steine	Humose Braunerde
	35-45	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3		
	45-98	ilCv	Ls3	10YR 4/4		
	98-100	II ilCv	mS	7,5YR 4/4		
J12	0-33	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Humose Braunerde
	33-54	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3		
	54-98	ilCv	Ls2	7,5YR 4/6		
	98-100	II ilCv	fS	7,5YR 5/6		
J13	0-32	rAp	Sl2 + mS	10YR 3/2	Konkretionen	Humose Braunerde
	32-56	Ah-Bv	Sl3	10YR 4/3		
	56-98	Bv-ilCv	Sl3	7,5YR 4/4		
	98-100	ilCv	Sl2	10YR 6/6		
K1	0-36	rAp	Sl2	7,5YR 3/2		Humose Braunerde
	36-43	Ah-Bv	Sl2	7,5YR 4/4 + 7,5YR3/3		
	43-65	Bv-ilCv	mS	7,5YR 4/4		
	65-100	ilCv	mS	10YR 6/6		
K2	0-32	rAp	Sl2	7,5YR 3/2		Humose Braunerde
	32-53	Ah-Bv	Sl2	10YR 3/2 + 7,5YR 4/4		
	53-62	Bv	mS	7,5YR 4/4		
	62-86	ilCv	mS	10YR 5/4		
	86-100	II ilCv	Ls3	7,5YR 5/6		
K3	0-36	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	36-87	Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	87-100	ilCv	mS	10YR 5/4		
K4	0-35	rAp	Sl2	7,5YR 3/2		Braunerde
	35-62	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	62-82	ilCv	Sl2	10YR 4/4		
	82-100	II ilCv	Ls3	7,5YR 5/6		
K5	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	34-58	Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	58-74	ilCv	Sl3	7,5YR 4/6		
	74-100	II ilCv	Ls3	7,5YR 5/6		
K6	0-38	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	38-56	Bv	mS	7,5YR 5/8		
	56-86	Bv-ilCv	Sl3	7,5YR 4/4		
	86-100	ilCv	Sl2	10YR 5/4		
K7	0-39	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	39-62	Bv	Sl3	7,5YR 4/4		
	62-79	ilCv-Bv	Sl3	7,5YR 4/6		
	79-100	ilCv	mS	7,5YR 5/6		
K8	0-32	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	32-53	Bv	Sl3	7,5YR 4/6		
	53-100	ilCv	Ls3	10YR 5/4		
K9	0-36	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	36-60	Bv	Sl4	7,5YR 4/4		
	60-100	Bv	Ls2	10YR 4/4		

Tab. A1/12: Ergebnisse der Feinkartierung

Kartier- nummer	Tiefe	Horizont- bezeichnung	Bodenart	Farbe	Bemerkungen	Bodentyp
K10	0-38	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	38-50	Bv	Sl4	7,5YR 4/4		
	50-100	ilCv	Ls2	10YR 4/4		
K11	0-33	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Humose Braunerde
	33-46	Ah-Bv	Sl3	7,5YR 4/6 + 7,5YR 3/2		
	46-100	ilCv	Ls3	7,5YR 4/6		
L1	0-38	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	38-77	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	77-100	ilCv	mS	10YR 5/4		
L2	0-44	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	44-59	Bv	mS	7,5YR 4/6		
	59-100	ilCv	mS	10YR 5/6		
L3	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	34-49	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	49-78	ilCv	Sl3	10YR 4/6		
	78-100	II ilCv	Ls3	10YR 4/4		
L4	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/2		Braunerde
	34-60	Bv	Sl3	7,5YR 4/6		
	60-100	ilCv	mS	10YR 6/8		
L5	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2		Regosol
	31-60	ilCv	mS	10YR 6/8		
	60-100	II ilCv	Sl2	7,5YR 4/4		
L6	0-47	rAp	Sl2	10YR 3/2		Regosol
	47-78	ilCv	mS	10YR 5/6		
	78-100	II ilCv	Sl2	7,5YR 4/6		
L7	0-34	rAp	Sl2	10YR 3/3		Braunerde
	34-44	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	44-100	ilCv	mS	10YR 5/6		
L8	0-31	rAp	Sl2	10YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	31-54	Bv	Sl2	7,5YR 4/4		
	54-100	Bv-ilCv	mS	7,5YR 5/6		
L9	0-24	rAp	Sl2	7,5YR 3/2	Konkretionen	Braunerde
	24-47	Bv	Sl2	7,5YR 4/6		
	47-88	Bv-ilCv	Sl4 + mS	10YR 5/6 + 7,5YR 4/4		
	88-100	ilCv	mS	10YR 5/6		

Tab. A.2: Ergebnisse der Körnungsanalyse für Profil 1

Horizont	Tiefenstufe (cm)	Körnung (%)										Bodenart
		T	fU	mU	gU	U	fS	mS	gS	S		
rAp	0-22	9,83	4,31	10,39	14,19	28,88	18,69	37,17	5,43	61,29	S13	
Bv-Ah	22-70	26,89	3,42	9,63	23,86	36,91	26,57	8,55	1,08	36,19	Lt2	
II Cv (hell)	70-110	5,38	0,00	1,46	1,28	2,74	38,92	52,24	0,72	91,88	St2	
II Cv (rot)	70-110	16,02	0,00	1,94	0,00	1,94	9,41	70,35	2,28	82,04	St3	

Tab. A.3: Ergebnisse der Körnungsanalyse für Profil 2

Horizont	Tiefenstufe (cm)	Körnung (%)										Bodenart
		T	fU	mU	gU	U	fS	mS	gS	S		
rAp	0-30	5,23	9,58	12,67	12,14	34,39	18,52	35,96	5,9	60,38	Su3	
Bv-Ah	30-45	6,47	4,28	7,44	10,44	22,16	25,12	41,55	4,70	71,38	Sl 2	
II Bv	45-70	8,03	5,30	3,81	8,34	17,44	38,97	33,42	2,14	74,53	Sl3	
III Bv-Cv (hell)	70-100	4,56	-1,77	1,27	1,22	0,71	35,06	57,11	2,56	94,73	S	
III Bv-Cv (rot)	70-110	18,69	1,98	2,62	5,34	9,94	27,26	38,40	5,71	71,37	St3	

Tab. A.4: Ergebnisse der Körnungsanalyse für Profil 3

Horizont	Tiefenstufe (cm)	Körnung (%)										Bodenart
		T	fU	mU	gU	U	fS	mS	gS	S		
rAp	0-30	4,45	2,19	2,42	3,48	8,09	18,46	34,69	34,31	87,46	S	
Bv	30-40	2,06	1,41	2,86	1,81	6,08	17,15	71,36	3,35	91,86	S	
II Bv-Cv	40-100	0,15	1,82	1,32	1,98	5,12	29,35	63,77	1,61	94,73	S	
III Bv-Cv (hell)	>150,0	1,65	-0,45	2,00	-0,15	1,40	19,83	75,48	1,63	96,94	S	
III Bv-Cv (rot)	>150,0	10,25	3,50	4,01	5,53	13,03	13,75	57,20	5,76	76,72	Sl3	

Tab. A.5: Ergebnisse der Körnungsanalyse für Profil 4

Horizont	Tiefenstufe (cm)	Körnung (%)										Bodenart
		T	fU	mU	gU	U	fS	mS	gS	S		
rAp	0-30	5,41	1,94	4,03	6,45	12,42	16,52	57,94	7,70	82,16	Sl2	
Bv (dunkel)	30-62	4,87	2,46	1,90	6,92	11,27	10,09	63,97	9,80	83,86	Su2	
Bv (hell)	30-62	4,61	2,48	2,18	5,21	9,87	9,56	62,92	13,04	85,52	S	
III Bv-Cv (hell)	62-90	4,11	3,39	4,16	9,87	17,42	11,05	58,89	8,52	78,47	Su2	
III Bv-Cv (rot)	62-90	13,17	1,77	3,85	5,62	11,25	17,79	52,86	4,92	75,58	St2	

Tab. A6: Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen für Profil 2

Horizont	Tiefenstufe (cm)	D	RT	PV
		-----(g/cm^3)-----		(%)
rAp	5	2,65	1,54	42,01
rAp	15	2,85	1,57	40,81
rAp	30	2,65	1,63	38,61
Bv-Ah	50	2,85	1,55	41,55
II Bv-Cv (hell)	70	2,65	1,56	41,03
II Bv-Cv (rot)	90	2,65	1,53	42,08

Tab. A7: Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen für Profil 3

Horizont	Tiefenstufe (cm)	D	RT	PV
		-----(g/cm^3)-----		(%)
rAp	5	2,85	1,42	48,41
rAp	15	2,65	1,48	44,06
rAp	30	2,65	1,50	43,52
Bv	50	2,85	1,41	46,77
II Bv-Cv (hell)	70	2,65	1,33	49,62
II Bv-Cv (rot)	90	2,85	1,35	48,95

Tab. A8: Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen für Profil 4

Horizont	Tiefenstufe (cm)	D	RT	PV
		-----(g/cm^3)-----		(%)
rAp	5	2,65	1,48	44,80
rAp	15	2,65	1,49	43,82
rAp	30	2,65	1,53	42,28
Bv	50	2,65	1,45	45,47
II Bv-Cv (hell)	70	2,65	1,44	45,83
II Bv-Cv (rot)	90	2,65	1,63	38,34

Tab. A9: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 1

Horizont	Tiefenstufe (cm)	pH		CaCO ₃	Corg (%)	Nt	C/N
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)				
rAp	0-22	6,16	5,69	0,080	0,98	0,07	13,54
Bv-Ah	22-70	6,47	5,73	0,072	0,16	0,02	8,89
II Cv (hell)	70-110	6,89	6,13	0,095	0,04	0,00	13,67
II Cv (rot)	70-110	6,69	5,91	0,072	0,07	0,01	10,00

Tab. A10: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 2

Horizont	Tiefenstufe (cm)	pH		CaCO ₃	Corg (%)	Nt	C/N
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)				
rAp	0-30	7,02	6,61	0,100	0,77	0,06	12,88
Bv-Ah	30-45	6,92	6,42	0,075	0,08	0,01	6,92
II Bv	45-70	6,97	6,49	0,083	0,12	0,01	8,29
II Bv-Cv (hell)	70-100	7,59	6,69	0,091	0,03	0,00	0,00
II Bv-Cv (rot)	70-100	7,29	6,62	0,083	0,11	0,01	11,10

Tab. A11: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 3

Horizont	Tiefenstufe (cm)	pH		CaCO ₃	Corg (%)	Nt	C/N
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)				
rAp	0-30	6,04	5,23	0,058	0,44	0,03	16,30
Bv	30-40	5,19	4,31	0,084	0,08	0,01	15,80
II Bv-Cv	40-100	6,02	5,17	0,092	0,03	0,00	0,00
III Bv-Cv (hell)	>150,0	6,74	5,98	0,075	0,02	0,00	0,00
III Bv-Cv (rot)	>150,0	6,45	5,78	0,091	0,06	0,01	6,30

Tab. A12: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 4

Horizont	Tiefenstufe (cm)	pH		CaCO ₃	Corg (%)	Nt	C/N
		(H ₂ O)	(CaCl ₂)				
rAp	0-30	7,13	6,68	0,104	0,67	0,03	19,76
Bv (dunkel)	30-62	7,25	6,61	0,080	0,67	0,03	21,68
Bv (hell)	30-62	6,03	5,23	0,084	0,60	0,04	16,22
II Bv-Cv (hell)	62-90	7,38	6,78	0,096	0,05	0,01	8,83
II Bv-Cv (rot)	62-90	7,25	6,61	0,075	0,09	0,01	7,73

Tab. A13: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 1

Horizont	Tiefenstufe (cm)	KAK _{er} (µeq/g Boden)	Austauschbare Kationen (µeq/g Boden)							BS (%)	ES (%)	
			H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe			Mn
rAp	0-22	48,63	0,00	0,16	3,12	35,87	6,55	0,91	0,03	1,99	93,97	87,23
Bv-Ah	22-70	127,12	0,00	0,77	2,29	99,19	23,78	0,87	0,01	0,21	99,14	96,74
II Cv (hell)	70-110	69,86	0,00	1,02	1,61	47,93	18,65	0,56	0,01	0,09	99,07	95,30
II Cv (rot)	70-110	27,15	0,00	0,70	0,50	19,20	6,14	0,56	0,01	0,04	97,85	93,37

Tab. A14: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 2

Horizont	Tiefenstufe (cm)	KAK _{er} (µeq/g Boden)	Austauschbare Kationen (µeq/g Boden)							BS (%)	ES (%)	
			H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe			Mn
rAp	0-30	58,61	0,00	0,33	3,41	44,35	8,95	0,73	0,04	0,79	97,33	90,95
Bv-Ah	30-45	37,17	0,00	0,21	1,25	27,74	7,13	0,62	0,00	0,23	97,74	93,83
II Bv	45-70	55,04	0,00	0,55	0,77	39,92	13,20	0,47	0,03	0,10	98,91	96,51
II Bv-Cv (hell)	70-100	31,27	0,00	0,93	0,60	21,95	7,24	0,49	0,01	0,05	98,24	93,32
II Bv-Cv (rot)	70-100	105,78	0,00	1,20	2,02	77,68	24,21	0,51	0,01	0,15	99,37	96,33

Tab. A15: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 3

Horizont	Tiefenstufe (cm)	KAK _{er} (µeq/g Boden)	Austauschbare Kationen (µeq/g Boden)							BS (%)	ES (%)	
			H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe			Mn
rAp	0-30	23,04	0,00	0,23	2,66	16,69	1,66	1,40	0,03	0,36	92,20	79,64
Bv	30-40	10,70	0,23	0,50	1,01	4,77	0,77	3,22	0,00	0,23	65,82	51,75
II Bv-Cv	40-100	14,35	0,00	0,13	0,88	10,69	1,50	1,07	0,01	0,07	91,95	84,92
III Bv-Cv (hell)	>150	15,18	0,00	0,54	0,88	11,79	2,22	0,00	0,00	0,03	101,66	92,32
III Bv-Cv (rot)	>150	52,14	0,00	0,45	2,62	41,33	8,11	0,00	0,00	0,07	100,71	94,81

Tab. A16: Ergebnisse der chemischen Analysen für Profil 4

Horizont	Tiefenstufe (cm)	KAK _{er} (µeq/g Boden)	Austauschbare Kationen (µeq/g Boden)							BS (%)	ES (%)	
			H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe			Mn
rAp	0-30	49,76	0,00	0,10	4,02	37,04	7,29	0,78	0,02	0,51	97,37	89,09
Bv (dunkel)	30-62	33,93	0,00	0,77	2,69	25,54	4,69	0,16	0,00	0,14	99,26	89,09
Bv (hell)	30-62	27,61	0,00	0,74	2,27	20,90	3,29	0,24	0,00	0,20	98,52	87,61
II Bv-Cv (hell)	62-90	16,74	0,00	0,44	0,94	9,16	6,58	0,00	0,00	0,04	103,53	91,43
II Bv-Cv (rot)	62-90	69,65	0,00	0,78	2,83	50,75	15,82	0,00	0,00	0,03	100,76	95,56

Tab. A18: Vergleich des pH-Wertes unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996				1997				1998								
	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.
0-10	****	*****	*****	*****	*****	*****	****	****	****	****	*	****	****	****	****	**	****
10-30	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	**	*****	*****	*****	*****	*****	*****
30-60	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
60-100	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 - keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A19: Vorrat der einzelnen C-Fraktionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf Juni bis November 199

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg		Corg(aw ₁)		Corg(k _{ccn})		Cmic	
		Veränderung	Veränderung (kg/ha)	Veränderung	Veränderung	Veränderung	Veränderung	Veränderung	Veränderung
FB	0-10	11201,3	- 3111,3	481,4	- 79,0	38,5	- 0,4	90,2	138,6
	10-30	21623,9	- 14268,9	304,6	- 229,4	76,9	- 3,3	231,5	23,4
	30-60	10703,6	- 8643,6	517,7	- 200,3	76,2	- 6,7	n.b.	n.b.
	60-100	6181,3	- 5641,3	146,1	- 43,5	92,6	- 20,3	n.b.	n.b.
	0-100	49710,0	- 31665,0	1449,8	- 93,4	284,2	- 24,1	321,7	162,0
Ph	0-10	11788,5	- 3943,5	493,2	- 93,6	31,1	- 20,1	111,1	100,5
	10-30	20440,9	- 13485,9	638,0	- 18,4	80,9	- 8,4	172,1	92,9
	30-60	9395,1	- 7820,1	355,8	- 115,8	73,8	- 0,8	n.b.	n.b.
	60-100	5778,8	- 4908,8	168,3	- 74,4	74,5	- 17,0	n.b.	n.b.
	0-100	47403,2	- 30158,2	1655,2	- 302,2	260,2	- 29,5	283,3	193,4
Ro/HB	0-10	12020,5	- 4820,5	531,1	- 142,3	31,5	- 5,7	142,3	8,3
	10-30	20006,6	- 12126,6	454,0	- 153,4	80,9	- 17,6	141,6	96,9
	30-60	6885,5	- 3365,5	376,3	- 46,9	40,4	- 24,2	n.b.	n.b.
	60-100	4341,3	- 3276,3	182,5	- 13,2	51,7	- 47,8	n.b.	n.b.
	0-100	43253,8	- 23588,8	1543,9	- 262,0	204,6	- 95,3	283,9	105,3
Gesamt- fläche	0-100	46789,0	- 28470,7	1549,6	- 219,2	249,6	- 33,6	296,3	153,6

¹⁾Medianwert der Juliprobeahme, da im Juni keine Daten gewonnen wurden

Tab. A20: Anteil der einzelnen C-Fraktionen am Corg-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf Juni bis November 1996

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg(aw ₁)		Corg(k _{ccn})		Cmic	
		Veränderung (%)	Veränderung	Veränderung	Veränderung	Veränderung	Veränderung
FB	0-10	4,3	0,7	0,3	0,1	0,8	2,0
	10-30	4,5	2,8	0,4	0,7	1,1	2,4
	30-60	4,8	10,6	0,7	2,7	n.b.	n.b.
	60-100	2,4	16,6	1,5	11,9	n.b.	n.b.
	0-100	4,0	7,7	0,7	3,9	0,9	2,2
Ph	0-10	4,2	0,9	0,3	0,4	0,9	1,8
	10-30	9,4	- 0,5	0,4	0,6	0,8	3,0
	30-60	3,8	11,5	0,8	3,9	n.b.	n.b.
	60-100	2,9	7,9	1,3	9,2	n.b.	n.b.
	0-100	5,1	4,9	0,7	3,6	0,9	2,4
Ro/HB	0-10	4,4	1,0	0,3	0,3	1,2	0,9
	10-30	6,8	- 3,0	0,4	0,8	0,7	2,3
	30-60	5,5	6,6	0,6	1,2	n.b.	n.b.
	60-100	4,2	11,7	1,2	8,1	n.b.	n.b.
	0-100	5,2	4,1	0,6	2,6	0,9	1,6
Gesamt- fläche	0-100	4,8	5,6	0,7	3,3	0,9	2,1

¹⁾Medianwert der Juliprobeahme, da im Juni keine Daten gewonnen wurden

Tab. A21: Vorrat der einzelnen C-Fraktionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf April bis November 1997

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	Corg		Corg(wt.)		Corg(kcc)		Cmic	
		Veränderung	Corg	Veränderung	Corg(kcc)	Veränderung	Corg(kcc)	Veränderung	Cmic
FB	0-10	- 50,0	12920,2	439,8	124,3	25,4	9,7	170,5	- 20,9
	10-30	2887,2	20963,5	610,4	206,4	47,5	28,8	260,0	- 86,5
	30-60	512,7	10540,5	314,9	17,4	27,4	17,5	n.b.	n.b.
	60-100	1627,3	2581,8	95,4	- 22,8	17,9	- 0,6	n.b.	n.b.
	0-100	4977,1	47006,0	1460,5	325,3	118,2	55,3	430,5	- 107,4
Ph	0-10	42,1	12939,8	430,6	- 29,4	27,4	9,8	139,8	- 8,5
	10-30	94,3	23101,9	628,3	129,0	52,2	13,7	226,8	- 50,3
	30-60	840,8	9609,6	466,4	- 148,3	27,7	11,5	n.b.	n.b.
	60-100	468,6	4318,3	83,4	- 4,9	14,3	14,1	n.b.	n.b.
	0-100	1445,9	49969,6	1608,7	53,5	121,5	49,1	366,6	- 58,9
Ro/HB	0-10	- 1510,9	11674,0	479,6	- 87,5	30,3	- 0,1	153,6	11,5
	10-30	1756,6	22455,0	909,9	- 142,2	42,1	20,3	109,6	117,0
	30-60	- 3869,6	14114,1	512,6	- 185,8	35,5	- 8,7	n.b.	n.b.
	60-100	- 2814,6	7932,1	133,4	- 72,5	18,8	- 1,5	n.b.	n.b.
	0-100	6438,5	56175,2	2035,5	488,0	126,6	9,9	263,2	128,5
Gesamt- fläche	0-100	5,2	51050,3	1701,6	72,1	122,1	38,1	353,4	- 12,6

Tab. A22: Anteil der einzelnen C-Fraktionen am Corg-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf April bis November 1997

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	Corg(wt.)		Corg(kcc)		Cmic (%)	
		Veränderung	Corg(wt.)	Veränderung	Corg(kcc)	Veränderung	Cmic (%)
FB	0-10	1,0	3,4	0,2	0,1	1,3	- 0,2
	10-30	0,5	2,9	0,2	0,1	1,2	- 0,5
	30-60	0,0	3,0	0,3	0,1	n.b.	n.b.
	60-100	- 2,0	3,7	0,7	- 0,3	n.b.	n.b.
	0-100	- 0,1	3,2	0,3	0,0	1,3	- 0,3
Ph	0-10	- 0,2	3,3	0,2	0,1	1,1	- 0,1
	10-30	0,5	2,7	0,2	0,1	1,0	- 0,2
	30-60	- 1,8	4,9	0,3	0,1	n.b.	n.b.
	60-100	- 0,3	1,9	0,3	0,3	n.b.	n.b.
	0-100	- 0,4	3,2	0,3	0,1	1,0	- 0,1
Ro/HB	0-10	- 0,3	4,1	0,3	0,0	1,3	0,3
	10-30	- 0,9	4,1	0,2	0,1	0,5	0,4
	30-60	- 0,4	3,6	0,3	0,0	n.b.	n.b.
	60-100	- 0,5	1,7	0,2	0,1	n.b.	n.b.
	0-100	- 0,5	3,4	0,2	0,1	0,9	0,4
Gesamt- fläche	0-100	- 0,4	3,3	0,3	0,1	1,1	0,0

Tab. A23: Vorrat der einzelnen C-Fraktionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 199

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg		Corg (g/kg)		Corg (kg/ha)		Cmle	
		Veränderung	Corg	Veränderung	Corg (g/kg)	Veränderung	Corg (kg/ha)	Veränderung	Cmle
FB	0-10	12656,3	796,8	374,2	73,3	29,5	23,8	284,3	49,1
	10-30	23948,0	- 2443,9	698,1	41,3	78,2	- 38,9	367,9	- 5,1
	30-60	10471,9	939,5	294,0	11,5	39,9	3,5	n.b.	n.b.
	60-100	4131,4	221,4	81,1	28,2	24,6	14,8	n.b.	n.b.
	0-100	51207,6	- 486,3	1447,4	131,3	172,3	3,1	652,3	44,0
Ph	0-10	12700,6	578,6	377,7	60,4	31,0	25,1	353,9	- 32,5
	10-30	22696,1	- 2139,9	787,4	- 196,5	85,9	- 36,7	382,7	- 151,4
	30-60	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	60-100	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	0-100	35396,7	- 1561,4	1165,1	- 136,1	117,0	- 11,6	736,6	- 183,9
Ro/HB	0-10	10811,9	2957,0	338,0	61,7	23,4	2,6	287,1	- 287,1
	10-30	21983,3	- 8857,3	657,2	- 479,0	43,8	- 26,4	453,6	- 453,6
	30-60	9903,5	- 391,3	257,2	128,1	26,0	10,4	n.b.	n.b.
	60-100	4582,8	5618,8	93,4	594,2	29,3	19,0	n.b.	n.b.
	0-100	47281,4	- 672,9	1345,8	181,5	122,4	0,4	740,7	- 740,7
Gesamt- fläche	0-100	44628,6	- 906,8	1319,4	58,9	137,2	- 2,7	709,8	- 293,5

* die Tiefenstufen 30-60 und 60-100 cm wurden nur bis April 1998 beprobt

Tab. A24: Anteil der einzelnen C-Fraktionen am Corg-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 1998

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg (g/kg)		Corg (kg/ha)		Corg (kg/ha)		Corg (kg/ha)	
		Veränderung	Corg (g/kg)	Veränderung	Corg (kg/ha)	Veränderung	Corg (kg/ha)	Veränderung	Corg (kg/ha)
FB	0-10	3,0	0,4	0,2	0,2	2,2	0,2	0,2	0,2
	10-30	2,9	0,5	0,3	- 0,1	1,5	0,2	0,2	0,2
	30-60	2,8	- 0,3	0,4	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	60-100	2,0	0,5	0,6	0,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	0-100	2,7	0,3	0,4	0,1	1,9	0,2	0,2	0,2
Ph	0-10	3,0	0,3	0,2	0,2	2,8	- 0,4	- 0,4	- 0,4
	10-30	3,5	- 0,6	0,4	- 0,1	1,7	- 0,6	- 0,6	- 0,6
	30-60	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	60-100	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*	n.b.*
	0-100	3,2	- 0,1	0,3	0,0	2,2	- 0,5	- 0,5	- 0,5
Ro/HB	0-10	3,1	- 1,1	0,2	- 0,1	2,7	- 2,7	- 2,7	- 2,7
	10-30	3,0	- 1,6	0,2	- 0,1	2,1	- 2,1	- 2,1	- 2,1
	30-60	2,6	1,5	0,3	0,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	60-100	2,0	4,7	0,6	- 0,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	0-100	2,7	0,9	0,3	0,0	2,4	- 2,4	- 2,4	- 2,4
Gesamt- fläche	0-100	2,9	0,3	0,3	0,0	2,2	- 0,9	- 0,9	- 0,9

* die Tiefenstufen 30-60 und 60-100 cm wurden nur bis April 1998 beprobt

Tab. A25: Vorrat der einzelnen C-Fractionen im Boden unter Ro/HB(ge) in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 6) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 1998

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg	Veränderung	Corg(hwL)	Veränderung	Corg(kg)	Veränderung	Cmic	Veränderung
		(kg/ha)							
Ro/HB(ge)	0-10	9551,9	- 39,7	396,5	- 11,2	41,5	- 5,2	120,8	81,0
	10-30	9499,7	701,8	785,6	- 98,0	86,2	- 38,0	116,0	- 15,9
	30-60	13092,4	- 3422,8	239,2	- 18,8	34,3	4,2	n.b.	n.b.
	60-100	12850,0	- 2550,5	69,9	55,1	19,2	18,0	n.b.	n.b.
	0-100	44994,0	- 5311,2	1491,2	- 72,9	181,2	- 20,9	236,8	65,1

Tab. A26: Anteil der einzelnen C-Fractionen am Corg-Vorrat im Boden unter Ro/HB(ge) in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 6) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 1998

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	Corg(hwL)	Veränderung	Corg(kg)	Veränderung	Cmic	Veränderung
		%					
Ro/HB(ge)	0-10	4,2	- 0,1	0,4	- 0,1	1,3	0,9
	10-30	8,3	- 1,5	0,9	- 0,4	1,2	- 0,2
	30-60	1,8	0,5	0,3	0,1	n.b.	n.b.
	60-100	0,5	0,7	0,0	0,0	n.b.	n.b.
	0-100	3,7	- 0,1	0,4	- 0,1	1,2	0,3

Tab. A27: Vorrat der einzelnen C-Fraktionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Untersuchungsverlauf Juni 1996 bis Oktober 1999

Brachevariante	Tiefenstufe (cm)	Corg		Corg(wt)		Corg(kg)		Corg(kg)		Corg(kg)	
		Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung
FB	0-10	11201,3	2251,9	481,4	- 34,0	38,5	14,7	90,2	243,2		
	10-30	21623,9	- 119,8	304,6	434,9	76,9	- 37,6	231,5	131,4		
	30-60	10703,6	707,9	517,7	- 235,2	76,2	- 32,8	n.b.	n.b.		
	60-100	6181,3	- 1828,5	146,1	- 36,8	92,6	- 53,1	n.b.	n.b.		
	0-100	49710,0	1011,4	1449,8	128,9	284,2	- 108,8	321,7	374,6		
Ph	0-10	11788,5	1490,6	493,2	- 55,0	31,1	25,1	111,1	210,3		
	10-30	20440,9	115,3	638,0	- 47,1	80,9	- 31,6	172,1	59,1		
	30-60	9395,1 (*)	-3504,9 (*)	355,8 (*)	-230,5 (*)	73,8 (*)	-35,0 (*)	n.b.	n.b.		
	60-100	5778,8 (*)	-1975,1 (*)	168,3 (*)	-136,6 (*)	74,5 (*)	-24,3 (*)	n.b.	n.b.		
	0-100	32229,4	1605,9	1131,2	- 102,1	111,9	- 6,5	283,3	269,4		
Ro/HB	0-10	12020,5	379,7	531,1	35,2	31,5	10,0	142,3	74,2		
	10-30	20006,6	- 8107,0	454,0	407,9	80,9	- 46,7	141,6	- 30,8		
	30-60	6885,5	6883,4	376,3	- 100,1	40,4	- 19,7	n.b.	n.b.		
	60-100	4341,3	8784,7	182,5	- 4,3	51,7	- 34,3	n.b.	n.b.		
	0-100	43253,8	7940,8	1543,9	338,7	204,6	- 90,6	283,9	43,4		
Gesamtfläche	0-100	41731,0	3519,4	1375,0	121,8	200,2	- 68,6	296,3	229,1		

* Medianwert der Probenahme April 1998

Tab. A28: Anteil der einzelnen C-Fraktionen am Corg-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Untersuchungsverlauf Juni 1996 bis Oktober 1998

Brachevariante	Tiefenstufe (cm)	Corg(wt)		Corg(kg)		Corg(kg)		Corg(kg)		Corg(kg)	
		Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung	Vorrat	Veränderung
FB	0-10	4,3	1,0	0,3	-0,1	0,8	-1,7				
	10-30	4,5	1,0	0,4	0,2	1,1	-0,6				
	30-60	4,8	2,4	0,7	0,3	n.b.	n.b.				
	60-100	2,4	-0,1	1,5	0,6	n.b.	n.b.				
	0-100	4,0	1,1	0,7	0,3	0,9	-1,1				
Ph	0-10	4,2	0,9	0,3	-0,2	0,9	-1,5				
	10-30	9,4	6,6	0,4	0,2	0,8	-0,3				
	30-60	3,8 (*)	1,7 (*)	0,8 (*)	0,1 (*)	n.b.	n.b.				
	60-100	2,9 (*)	2,1 (*)	1,3 (*)	0,0 (*)	n.b.	n.b.				
	0-100	6,8	3,7	0,3	0,0	0,9	-0,9				
Ro/HB	0-10	4,4	-0,1	0,3	-0,1	1,2	-0,6				
	10-30	6,8	-0,5	0,4	0,1	0,7	-0,2				
	30-60	5,5	3,5	0,6	0,4	n.b.	n.b.				
	60-100	4,2	2,8	1,2	1,1	n.b.	n.b.				
	0-100	5,2	1,4	0,6	0,4	0,9	-0,4				
Gesamtfläche	0-100	5,3	2,1	0,6	0,2	0,9	-0,8				

* Medianwert der Probenahme April 1998

Tab. A30: Vergleich von $C_{org}(K_{OC})$ unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB un und Ro/HB ge n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996					1997					1998												
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	
0-10	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ro/HB un / Ro/HB ge		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ro/HB un / Ro/HB ge		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-60	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ro/HB un / Ro/HB ge		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ro/HB un / Ro/HB ge		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. A31: Vergleich von Corgawl, unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998				Okt.			
		Junl	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Junl	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März		April	Junl	Aug.
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	-	-	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	-	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	Ph-Ro/HB un	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	**	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A32: Vorrat der einzelnen N-Fractionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf Juni bis November 1999.

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	N		Norg		Nacc		Norgacc		NH ₄ ⁺ -N		NO ₂ /NO ₃ -N		Nmin		Nmic		Ngrws		Veränderung
		Norg	Veränderung	Nacc	Veränderung	Norgacc	Veränderung	NH ₄ ⁺ -N	Veränderung	NO ₂ /NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nmic	Veränderung	Ngrws	Veränderung			
FB	0-10	960,6	63,4	927,5	89,9	41,4	- 30,4	8,3	- 4,0	3,9	29,3	33,2	- 26,9	24,1	25,6	428,8	- 71,5			
	10-30	1557,4	168,5	1515,2	197,0	56,5	- 36,1	14,3	- 7,6	7,4	34,8	42,2	- 26,9	67,4	- 13,5	388,45 ^(*)	- 80,8			
	30-60	933,1	- 101,9	894,4	- 73,5	48,4	- 32,2	9,8	- 3,7	3,4	35,2	38,7	- 27,2	n.b.	n.b.	165,5	- 80,9			
	60-100	840,9	- 517,5	794,4	- 483,6	55,2	- 37,5	8,7	- 3,6	2,6	44,0	46,5	- 32,8	n.b.	n.b.	121,1	- 88,9			
0-100	4292,0	- 387,5	4131,5	- 270,2	201,6	- 136,2	41,1	- 18,9	17,3	3,6	143,3	- 113,7	91,5	12,1	715,4	- 322,0				
Ph	0-10	998,7	38,1	963,1	9,5	45,2	- 32,8	9,7	- 4,2	3,2	32,4	29,4	- 29,4	30,1	13,2	434,2	- 32,6			
	10-30	1740,8	7,5	1692,0	45,1	66,6	- 47,8	17,7	- 10,2	7,8	3,7	33,9	48,9	51,0	9,1	333,1	- 68,3			
	30-60	981,3	- 236,0	935,2	- 199,3	57,7	- 41,9	11,5	- 5,3	4,1	42,0	34,4	- 34,4	n.b.	n.b.	150,8	- 85,4			
	60-100	819,4	- 208,4	767,9	- 168,5	65,4	- 48,7	13,9	- 8,7	3,1	48,4	51,5	- 39,1	n.b.	n.b.	86,6	- 65,3			
0-100	4540,2	- 475,0	4358,2	- 332,2	234,9	- 171,2	52,8	- 28,4	18,2	6,1	163,9	- 136,7	81,1	22,3	1004,7	- 251,6				
Ro/HB	0-10	877,3	- 29,0	873,1	- 30,1	6,5	3,5	2,4	2,5	2,8	1,3	1,1	4,1	26,1	1,9	335,1	3,5			
	10-30	1632,3	- 37,4	1621,0	- 37,8	20,6	6,5	9,3	6,2	7,7	3,6	0,4	11,3	28,8	33,8	443,8	- 96,4			
	30-60	589,9	632,8	577,4	630,5	19,2	2,8	6,7	0,5	3,2	9,2	2,9	12,4	2,2	n.b.	112,9	26,0			
	60-100	661,3	0,0	635,7	11,2	34,5	- 11,3	9,0	- 0,1	3,7	21,9	8,9	25,6	n.b.	n.b.	59,8	- 18,0			
0-100	3760,7	566,3	3707,2	573,8	80,8	- 1,5	27,4	9,1	- 3,0	36,0	- 4,5	53,4	54,9	35,7	951,6	- 84,9				
Gesamt- fläche	0-100	4197,6	- 98,7	4065,6	- 9,5	172,4	- 101,9	40,4	- 12,8	17,6	114,4	- 84,9	132,0	75,8	23,4	890,5	- 219,5			

^(*) Medianwert aller Ph- und Ro/HB-Parzellen, da keine Daten von FB-Parzellen gewonnen wurden

Tab. A33: Anteil der einzelnen N-Fractionen am N-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf Juni bis November 1999

Brache- variante	Tiefenstufe (cm)	N		Norg		Nacc		Norgacc		NH ₄ ⁺ -N		NO ₂ /NO ₃ -N		Nmin		Nmic		Ngrws		Veränderung
		Norg	Veränderung	Nacc	Veränderung	Norgacc	Veränderung	NH ₄ ⁺ -N	Veränderung	NO ₂ /NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nmic	Veränderung	Ngrws	Veränderung			
FB	0-10	96,5	2,8	4,3	- 3,2	0,9	- 0,4	0,4	0,0	3,0	3,5	- 2,8	2,3	44,6	- 9,7					
	10-30	97,3	1,9	3,6	- 2,4	0,9	- 0,5	0,5	- 0,1	2,2	2,7	- 1,9	4,3	24,94 ^(*)	- 7,1					
	30-60	95,9	2,9	5,2	- 3,2	1,0	- 0,3	0,4	- 0,1	3,8	4,1	- 2,9	n.b.	17,7	- 7,6					
	60-100	94,5	1,6	6,6	- 1,1	1,0	0,5	0,3	0,1	5,2	5,5	- 1,6	n.b.	14,4	- 4,4					
0-100	96,0	2,3	4,9	- 2,5	1,0	- 0,2	0,4	0,0	3,6	4,0	- 2,3	3,4	25,6	- 7,2						
Ph	0-10	96,4	2,8	4,5	- 3,2	1,0	- 0,4	0,3	0,1	3,2	3,6	- 2,8	3,0	43,5	- 1,7					
	10-30	97,2	2,2	3,8	- 2,7	1,0	- 0,6	0,4	- 0,2	2,4	2,8	- 2,2	2,9	19,1	- 4,0					
	30-60	95,3	3,4	5,9	- 3,8	1,2	- 0,3	0,4	- 0,2	4,3	4,7	- 3,4	n.b.	15,4	- 6,6					
	60-100	93,7	4,4	8,0	- 5,2	1,7	- 0,9	0,4	0,0	5,9	6,3	- 4,4	n.b.	10,6	- 7,1					
0-100	95,7	3,2	5,6	- 3,7	1,2	- 0,5	0,4	- 0,1	3,9	4,3	- 3,2	3,0	22,1	- 4,8						
Ro/HB	0-10	99,5	- 0,1	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2	0,5	0,1	3,0	38,2	1,7					
	10-30	99,3	0,0	1,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,0	1,8	0,7	0,0	2,2	27,2	- 5,4					
	30-60	97,9	0,9	3,3	- 1,5	1,1	- 0,5	0,5	- 0,3	1,6	2,1	- 0,9	n.b.	19,1	- 7,8					
	60-100	96,1	1,7	5,2	- 1,7	1,4	0,0	0,6	- 0,3	3,3	3,9	- 1,7	n.b.	9,0	- 2,7					
0-100	98,2	0,6	2,6	- 0,6	0,8	0,0	0,5	- 0,2	1,3	1,8	- 0,6	2,4	23,4	- 3,5						
Gesamt- fläche	0-100	96,6	2,0	4,4	- 2,3	1,0	- 0,2	0,4	- 0,1	2,9	3,4	- 2,0	2,9	23,7	- 5,2					

^(*) Medianwert aller Ph- und Ro/HB-Parzellen, da keine Daten von FB-Parzellen gewonnen wurden

Tab. A34: Vorrat der einzelnen N-Fraktionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf April bis November 19

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	N _{org}		N _{acc}		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ /NO ₂ -N		N _{min}		N _{mic}		N _{qws}					
		Veränderung	N _{org}	Veränderung	N _{acc}	Veränderung	NH ₄ ⁺ -N	Veränderung	NO ₃ /NO ₂ -N	Veränderung	N _{min}	Veränderung	N _{mic}	Veränderung	N _{qws}				
FB	0-10	1230,1	0,9	1224,0	1,8	10,3	- 2,7	4,1	- 1,8	3,8	- 0,7	2,4	- 0,2	6,2	- 0,9	60,3	- 34,6	62,0	- 9,3
	10-30	2100,6	187,9	2085,1	192,9	23,8	- 8,4	8,3	- 3,4	4,9	- 0,4	10,6	- 4,6	15,5	- 5,0	60,5	- 30,2	87,4	- 10,1
	30-60	1277,3	141,0	1262,7	147,8	19,1	- 6,4	4,4	0,3	2,2	0,1	12,4	- 6,9	14,7	- 6,7	n.b.	n.b.	43,2	- 0,6
Ph	0-10	838,1	- 7,9	822,4	0,2	18,2	- 9,0	2,5	- 0,8	1,8	- 0,6	13,9	- 7,6	15,7	- 8,2	n.b.	n.b.	21,0	- 8,3
	10-30	5446,2	322,0	5394,1	342,7	71,4	- 26,4	19,4	- 5,7	12,7	- 1,5	39,3	- 19,2	52,0	- 20,8	120,8	- 64,8	213,5	- 28,2
	30-60	1141,7	314,2	1127,9	316,5	16,5	- 1,9	2,8	0,4	2,2	- 0,5	11,5	- 1,8	13,7	- 2,3	n.b.	n.b.	65,2	- 19,1
Ro/HB	0-10	5662,8	804,8	5618,9	812,3	57,7	- 8,4	13,8	- 0,9	10,7	- 1,1	33,2	- 8,6	43,9	- 7,5	93,7	- 40,0	228,5	- 32,4
	10-30	1034,9	252,7	1022,6	260,2	19,5	- 12,3	7,2	- 4,8	2,6	- 0,1	9,7	- 7,4	12,4	- 7,5	53,7	- 25,2	55,9	- 16,8
	30-60	2023,1	347,4	1996,3	355,8	37,4	- 14,9	10,5	- 6,5	6,0	- 1,2	20,8	- 7,2	26,8	- 8,4	43,0	- 12,2	106,3	- 14,8
Gesamtfläche	0-10	1139,9	- 199,8	1123,5	- 188,8	20,0	- 13,3	3,6	- 2,3	2,5	- 1,4	13,9	- 9,6	16,4	- 11,0	n.b.	n.b.	23,6	- 12,8
	10-30	5822,8	273,7	5746,9	308,2	102,6	- 50,3	26,7	- 15,8	15,0	- 4,9	60,9	- 29,6	75,9	- 34,5	96,7	- 37,4	253,3	- 72,5
	30-60	5643,9	466,8	5586,7	487,7	77,2	- 28,4	20,0	- 7,5	12,8	- 1,8	44,5	- 19,1	57,3	- 20,9	103,7	- 47,4	231,7	- 44,4

Tab. A35: Anteil der einzelnen N-Fraktionen am N-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf April bis November 1997

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	N _{org}		N _{acc}		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ /NO ₂ -N		N _{min}		N _{mic}		N _{qws}			
		Veränderung	N _{org}	Veränderung	N _{acc}	Veränderung	NH ₄ ⁺ -N	Veränderung	NO ₃ /NO ₂ -N	Veränderung	N _{min}	Veränderung	N _{mic}	Veränderung	N _{qws}		
FB	0-10	99,5	0,1	0,8	- 0,2	0,3	- 0,1	0,3	- 0,1	0,2	0,0	0,5	- 0,1	4,9	- 2,8	5,0	- 0,8
	10-30	99,3	0,3	1,1	- 0,5	0,4	- 0,2	0,2	0,0	0,5	- 0,2	0,7	- 0,3	2,9	- 1,6	4,2	- 0,8
	30-60	98,9	0,6	1,5	- 0,6	0,3	0,0	0,2	0,0	1,0	- 0,6	1,1	- 0,6	n.b.	n.b.	3,4	- 0,4
Ph	0-10	98,9	0,5	1,4	- 0,6	0,3	- 0,1	0,2	- 0,1	1,7	- 0,9	1,9	- 1,0	n.b.	n.b.	2,5	- 1,0
	10-30	99,5	0,0	0,8	0,0	0,3	- 0,1	0,2	0,1	0,8	- 0,4	1,1	- 0,5	3,9	- 2,2	3,8	- 0,7
	30-60	99,4	0,0	0,9	- 0,1	0,3	- 0,1	0,2	0,0	0,6	- 0,3	0,5	- 0,0	3,5	- 1,3	4,7	- 0,2
Ro/HB	0-10	98,9	0,6	1,2	- 0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	0,9	- 0,6	1,1	- 0,6	n.b.	n.b.	5,7	- 2,5
	10-30	99,2	0,3	1,1	- 0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,6	- 0,3	0,8	- 0,3	2,9	- 1,3	4,0	- 1,0
	30-60	98,8	0,8	1,9	- 1,3	0,7	- 0,5	0,3	- 0,1	0,9	- 0,8	1,2	- 0,8	5,2	- 3,0	5,4	- 2,4
Gesamtfläche	0-10	98,7	0,4	1,6	- 0,5	0,3	- 0,1	0,2	0,1	1,0	- 0,3	1,3	- 0,5	2,1	- 0,8	5,3	- 1,4
	10-30	98,6	0,9	1,8	- 1,0	0,3	- 0,2	0,2	- 0,1	1,2	- 0,8	1,4	- 0,9	n.b.	n.b.	4,2	- 1,5
	30-60	98,7	0,7	1,8	- 0,9	0,5	- 0,3	0,3	- 0,1	1,1	- 0,6	1,3	- 0,7	3,7	- 1,9	4,2	- 1,6

Tab. A36: Vorrat der einzelnen N-Fractionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 19

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	Nt		Norg		Nfacc		Norgkcc		NH ₄ -N (kg/ha)		NO ₂ -N		NO ₃ -N		Nmin		Nnit		N(gwa)		Veränderung	
		Nt	Veränderung	Norg	Veränderung	Nfacc	Veränderung	Norgkcc	Veränderung	NH ₄ -N	Veränderung	NO ₂ -N	Veränderung	NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nnit	Veränderung	N(gwa)	Veränderung	N(gwa)	Veränderung
FB	0-10	1220,5	48,2	1214,9	47,3	7,7	16,5	2,0	2,0	3,4	- 0,1	2,2	1,0	5,7	0,9	49,7	- 23,5	44,9	- 7,1				
	10-30	2320,0	- 154,2	2320,1	- 149,0	21,1	1,5	9,2	5,2	7,3	- 4,4	4,6	- 0,9	11,9	- 5,3	62,6	- 46,8	92,8	- 49,5				
	30-60	1241,4	204,3	1235,3	205,5	8,4	17,5	2,2	2,2	2,3	- 0,6	3,8	- 0,5	6,1	- 1,1	n.b.	n.b.	35,4	- 5,8				
Ph	0-10	869,7	213,5	859,6	217,7	10,9	9,8	0,9	0,6	1,4	0,3	8,6	- 4,6	10,1	- 4,3	15,6	- 3,4						
	10-30	5663,6	311,8	5629,9	321,5	48,0	45,3	14,3	3,5	14,5	- 4,8	19,2	- 5,0	33,7	- 9,8	112,3	- 70,2	188,7	- 65,8				
	30-60	1287,2	- 39,3	1280,3	- 38,5	9,6	1,4	2,6	4,0	4,6	- 1,1	2,4	0,2	7,0	- 0,8	57,6	- 4,7	51,2	- 3,8				
Ro/HB	0-10	2463,4	- 387,9	2452,5	- 383,6	17,1	- 3,8	6,2	0,7	6,9	- 3,8	4,0	- 0,5	10,9	- 4,3	67,5	- 26,8	88,3	- 17,1				
	10-30	1681,1	n.b.*	1681,1	n.b.*	10,2	n.b.*	2,1	n.b.*	2,6	n.b.*	5,5	n.b.*	8,2	n.b.*	n.b.	n.b.	46,5	n.b.*				
	30-60	914,3	n.b.*	914,3	n.b.*	13,3	n.b.*	0,5	n.b.*	1,5	n.b.*	11,2	n.b.*	12,7	n.b.*	n.b.	n.b.	25,4	n.b.*				
Gesamtfläche	0-10	3750,6	- 427,2	3732,7	- 422,1	26,7	- 2,5	8,8	4,7	11,5	- 4,9	6,4	- 0,2	17,9	- 5,1	125,1	- 31,5	139,5	- 13,3				
	10-30	1183,2	18,4	1179,5	14,3	4,9	6,2	1,2	2,2	2,1	2,1	1,5	1,9	3,7	4,0	40,1	0,0	37,9	38,6				
	30-60	1438,2	- 166,2	1427,2	- 160,8	13,7	- 8,5	2,6	- 3,1	2,0	0,0	4,0	- 5,4	11,1	- 5,4	50,9	- 37,9	82,0	- 64,3				
Gesamtfläche	0-10	5920,2	- 115,3	5880,4	- 104,2	50,9	- 16,9	11,1	- 5,8	10,0	3,0	29,8	- 14,1	39,8	- 11,1	91,0	- 37,8	201,5	- 27,0				
	10-30	5111,5	- 76,9	5081,0	- 68,3	41,9	8,6	11,4	- 1,5	12,0	- 2,2	18,5	- 6,4	30,5	- 8,7	109,5	- 46,5	176,6	- 29,0				

* die Tiefenstufen 30-60 und 60-100 cm wurden nur bis April 1998 beprobt

Tab. A37: Anteil der einzelnen N-Fractionen am Nt-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Jahresverlauf März bis Oktober 1998

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	Norg		Nfacc		Norgkcc		NH ₄ -N		NO ₂ -N (%)		NO ₃ -N		Nmin		Nnit		N(gwa)		Veränderung	
		Norg	Veränderung	Nfacc	Veränderung	Norgkcc	Veränderung	NH ₄ -N	Veränderung	NO ₂ -N	Veränderung	NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nnit	Veränderung	N(gwa)	Veränderung	N(gwa)	Veränderung
FB	0-10	99,5	- 0,1	0,6	1,3	0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,5	0,1	4,1	- 2,0	3,7	- 0,7				
	10-30	99,5	0,2	0,9	0,1	0,4	- 0,2	0,3	- 0,2	0,2	0,0	0,5	- 0,2	2,7	- 2,0	4,0	- 2,0				
	30-60	99,5	0,1	0,7	1,1	0,2	0,0	0,2	0,0	- 0,1	0,3	0,5	- 0,1	n.b.	0,0	2,9	- 0,8				
Ph	0-10	98,8	0,6	1,3	0,7	0,1	- 0,1	0,2	0,0	1,0	- 0,6	1,2	- 0,6	n.b.	0,0	1,8	- 0,7				
	10-30	99,3	0,2	0,9	0,8	0,2	0,0	0,2	- 0,1	0,4	- 0,2	0,7	- 0,2	3,4	- 1,0	3,1	- 1,0				
	30-60	99,5	0,0	0,7	0,1	0,2	0,3	0,4	- 0,1	0,2	0,0	0,5	0,0	4,5	- 0,2	4,0	0,4				
Ro/HB	0-10	99,6	0,1	0,7	- 0,1	0,3	0,1	0,3	- 0,1	0,2	0,0	0,4	- 0,1	2,7	- 0,8	3,6	- 0,2				
	10-30	99,5	n.b.*	0,6	n.b.*	0,1	n.b.*	0,2	n.b.*	0,3	n.b.*	0,5	n.b.*	n.b.	n.b.*	2,8	n.b.*				
	30-60	98,6	n.b.*	1,5	n.b.*	0,1	n.b.*	0,2	n.b.*	1,2	n.b.*	1,4	n.b.*	n.b.	n.b.*	2,8	n.b.*				
Gesamtfläche	0-10	99,3	0,1	0,9	0,0	0,2	0,2	0,2	- 0,1	0,5	0,0	0,7	- 0,1	3,6	- 0,5	3,3	0,1				
	10-30	99,7	- 0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	3,4	0,0	3,2	3,2				
	30-60	99,6	- 0,1	0,6	0,0	0,3	- 0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	0,4	0,1	2,2	- 1,6	3,6	- 2,7				
Gesamtfläche	0-10	99,2	0,3	0,9	- 0,4	0,2	- 0,1	0,2	0,1	0,6	- 0,3	0,8	- 0,3	n.b.	n.b.	2,5	3,9				
	10-30	99,3	0,2	0,9	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5	- 0,2	0,7	- 0,2	3,3	- 0,8	3,5	0,3				

* die Tiefenstufen 30-60 und 60-100 cm wurden nur bis April 1998 beprobt

Tab. A40: Vorrat der einzelnen N-Fractionen im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Untersuchungsverlauf Juni 1996 bis Oktober 1998

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	N		Norg		Nacc		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Nmin		Nkwa		Veränderung			
		N	Veränderung	Norg	Veränderung	Nacc	Veränderung	NH ₄ -N	Veränderung	NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nkwa	Veränderung				
FB	0-10	960,6	308,1	927,5	334,7	41,4	- 17,2	8,3	- 4,2	3,9	- 0,6	29,3	- 26,0	33,2	- 26,6	24,1	2,2	428,8	- 391,0
	10-30	1557,4	620,3	1515,2	656,0	56,5	- 34,0	14,3	- 10,3	7,4	- 4,5	34,8	- 31,1	42,2	- 35,6	67,4	- 51,6	388,45 ^(*)	- 345,1
	30-60	933,1	512,7	894,4	546,3	48,4	- 22,6	9,8	- 7,3	3,4	- 1,7	35,2	- 31,9	38,7	- 33,7	n.b.	n.b.	165,5	- 135,9
	60-100	840,9	242,2	794,4	283,0	55,2	- 34,5	8,7	- 8,5	2,6	- 0,8	44,0	- 39,9	46,5	- 40,7	n.b.	n.b.	121,1	- 108,9
0-100	4292,0	1683,3	4131,5	1820,0	201,6	- 108,3	41,1	- 30,3	17,3	- 6,1	143,3	- 129,0	160,6	- 136,7	91,5	- 49,4	715,4	- 980,8	
Ph	0-10	998,7	249,2	963,1	278,6	45,2	- 34,3	9,7	- 3,1	3,2	- 0,4	32,4	- 29,8	35,6	- 29,4	30,1	22,8	434,2	- 379,3
	10-30	1740,8	334,7	1692,0	376,9	66,6	- 53,3	17,7	- 10,8	7,8	- 4,8	41,1	- 37,5	48,9	- 42,2	51,0	- 10,3	333,1	- 261,9
	30-60	981,3	- 39,1	935,2	3,6	57,7	- 51,6	11,5	- 8,8	4,1	- 3,2	42,0	- 39,5	46,2	- 42,7	n.b.	n.b.	150,8	- 129,0
	60-100	819,4	- 68,3	767,9	- 24,4	65,4	- 54,2	13,9	- 10,4	3,1	- 2,3	48,4	- 41,5	51,5	- 43,8	n.b.	n.b.	86,6	- 80,3
0-100	4540,2	476,5	4358,2	634,9	234,9	- 193,3	52,8	- 33,0	18,2	- 9,9	163,9	- 148,3	182,1	- 158,2	81,1	12,5	1004,7	- 850,5	
Ro/HB	0-10	877,3	324,3	873,1	320,7	6,5	- 4,6	2,4	- 1,0	2,8	- 1,5	1,3	- 2,1	4,1	- 3,6	26,1	14,1	335,1	- 258,6
	10-30	1632,3	381,4	1621,0	382,7	20,6	- 7,1	9,3	- 5,8	7,7	- 3,2	3,6	- 1,9	11,3	- 1,3	28,8	- 15,8	443,8	- 426,1
	30-60	589,9	682,1	577,4	688,9	19,2	- 14,0	6,7	- 7,2	3,2	- 1,3	9,2	- 5,6	12,4	- 6,8	n.b.	n.b.	112,9	- 32,6
	60-100	661,3	656,5	635,7	676,6	34,5	- 30,3	9,0	- 10,1	3,7	- 1,3	21,9	- 18,8	25,6	- 20,2	n.b.	n.b.	59,8	- 40,7
0-100	3760,7	2044,2	3707,2	2069,0	80,8	- 46,8	27,4	- 22,1	17,4	- 4,3	36,0	- 20,4	53,4	- 24,7	54,9	- 1,7	951,6	- 758,0	
Gesamtfläche	0-100	4197,6	1401,4	4065,6	1507,9	172,4	- 116,2	40,4	- 28,5	17,6	- 6,8	114,4	- 99,2	132,0	- 106,5	75,8	- 12,8	890,5	- 863,1

^(*) Medianwert aller Ph- und Ro/HB-Parzellen, da keine Daten von FB-Parzellen gewonnen wurden

Tab. A41: Anteil der einzelnen N-Fractionen am N-Vorrat im Boden unter verschiedenen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10, 10-30, 30-60 und 60-100 cm (Median, n = 8) - Darstellung im Untersuchungsverlauf Juni 1996 bis Oktober 1998

Brache-variante	Tiefenstufe (cm)	N		Norg		Nacc		NH ₄ -N		NO ₃ -N		Nmin		Nkwa		Veränderung	
		N	Veränderung	Norg	Veränderung	Nacc	Veränderung	NH ₄ -N	Veränderung	NO ₃ -N	Veränderung	Nmin	Veränderung	Nkwa	Veränderung		
FB	0-10	96,5	2,9	4,3	- 2,4	0,9	- 0,5	0,4	- 0,1	3,0	- 2,8	3,5	- 2,9	2,5	- 0,4	44,6	- 41,7
	10-30	97,3	2,4	3,6	- 2,6	0,9	- 0,7	0,5	- 0,3	2,2	- 2,1	2,7	- 2,4	4,3	- 3,6	24,94 ^(*)	- 23,0
	30-60	95,9	3,8	5,2	- 3,4	1,0	- 0,9	0,4	- 0,3	3,8	- 3,5	4,1	- 3,8	n.b.	n.b.	17,7	- 15,7
	60-100	94,5	5,0	6,6	- 4,7	1,0	- 1,0	0,3	- 0,1	5,2	- 4,9	5,5	- 5,0	n.b.	n.b.	14,4	- 13,3
0-100	96,0	3,5	4,9	- 3,3	1,0	- 0,8	0,4	- 0,2	3,6	- 3,3	4,0	- 3,5	3,4	- 2,0	25,6	- 23,4	
Ph	0-10	96,4	3,1	4,5	- 3,7	1,0	- 0,4	0,3	- 0,2	3,2	- 3,0	3,6	- 3,1	3,0	- 1,2	43,5	- 39,1
	10-30	97,2	2,5	3,8	- 3,2	1,0	- 0,7	0,4	- 0,3	2,4	- 2,2	2,8	- 2,5	2,9	- 1,0	19,1	- 15,7
	30-60	95,3	4,3	5,9	- 5,2	1,2	- 0,9	0,4	- 0,3	4,3	- 4,0	4,7	- 4,3	n.b.	n.b.	15,4	- 13,1
	60-100	93,7	5,3	8,0	- 6,5	1,7	- 1,2	0,4	- 0,3	5,9	- 5,0	6,3	- 5,3	n.b.	n.b.	10,6	- 9,7
0-100	95,7	3,8	5,6	- 4,6	1,2	- 0,8	0,4	- 0,2	3,9	- 3,6	4,3	- 3,8	3,0	0,1	22,1	- 19,4	
Ro/HB	0-10	99,5	- 0,2	0,7	0,2	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,1	0,5	0,2	3,0	0,4	38,2	- 31,8
	10-30	99,3	0,2	1,3	- 0,6	0,6	- 0,4	0,5	- 0,2	0,2	0,1	0,7	- 0,2	1,8	- 1,1	27,2	- 26,3
	30-60	97,9	1,7	3,3	- 2,8	1,1	- 1,2	0,5	- 0,4	1,6	- 1,3	2,1	- 1,7	n.b.	n.b.	19,1	- 12,8
	60-100	96,1	3,5	5,2	- 4,9	1,4	- 1,4	0,6	- 0,4	3,3	- 3,1	3,9	- 3,5	n.b.	n.b.	9,0	- 7,6
0-100	98,2	1,3	2,6	- 2,0	0,8	- 0,8	0,5	- 0,2	1,3	- 1,0	1,8	- 1,3	2,4	- 0,4	23,4	- 19,6	
Gesamtfläche	0-100	96,6	2,9	4,4	- 3,3	1,0	- 0,8	0,4	- 0,2	2,9	- 2,6	3,4	- 2,9	2,9	- 0,8	23,7	- 20,8

^(*) Medianwert aller Ph- und Ro/HB-Parzellen, da keine Daten von FB-Parzellen gewonnen wurden

Tab. 42: Vergleich von Ni unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998			
		Jan	Feb	Mar	Apr	Jan	Feb	Mar	Apr	Jan	Feb	Mar	Apr
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
30-60	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 43: Vergleich von Norg unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998				Okt.						
		Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März		April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
	FB-Ro/HB un	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-60	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 44: Vergleich von $Ni_{(KCC)}$ unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998				Okt.	Aug.	Juli	Juni	Okt.	
		Jul	Aug.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.						Nov.
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-60	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. 45: Vergleich von Norg_(K₃) unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996		1997		1998		1999		Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
		Jun	Jul	Aug.	Sept.	Ok.	Nov.	Dez.	Jan.																Feb.
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 46: Vergleich von NH₄⁺-N unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998				Okt.	Aug.	Juli	Okt.	
		Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April					Jun
0-10	FB-Ph	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-60	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *****(*) signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. 47: Vergleich von NO₃-N unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	Jan	Feb	März
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 48: Vergleich von Nmin unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998			
		Jan	Feb	Mar	Apr	Jan	Feb	Mar	Apr	Jan	Feb	Mar	Apr
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-100	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	**	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	Ph-Ro/HB un	*****	†	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 49: Vergleich von Ni_(uwl) unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996				1997				1998				Okt.			
		Jun	Jul	Aug.	Sept.	April	May	Jun	Jul	Aug.	Sept.	April	May		Jun	Jul	Aug.
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-60	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A50: Prozentualer Anteil verschiedener N-Fractionen am Gesamt-N-Gehalt
in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm im Jahresverlauf 1996

Tiefenstufe (cm)	Stickstofffraktion (%)	Juni	Juli	Aug.	Okt.	Nov.
0-10	Norg	96,63	99,44	98,91	99,09	99,29
	Nt _(KCl)	4,31	0,88	1,92	1,38	1,18
	Norg _(KCl)	0,94	0,32	0,83	0,47	0,47
	Nt _(HWL)	7,66	6,15	7,59	6,45	7,22
	NH ₄ ⁺ -N	0,32	0,32	0,59	0,56	0,42
	NO ₂ /NO ₃ ⁻ -N	3,05	0,24	0,50	0,35	0,29
	Nmin	3,37	0,56	1,09	0,91	0,71
	Nmic	2,97	3,91	4,50	5,66	4,51
10-30	Norg	97,30	99,27	99,36	99,19	99,25
	Nt _(KCl)	3,63	1,34	1,25	1,34	1,18
	Norg _(KCl)	0,93	0,61	0,61	0,53	0,43
	Nt _(HWL)	7,04	5,89	5,85	4,80	6,53
	NH ₄ ⁺ -N	0,47	0,37	0,30	0,24	0,34
	NO ₂ /NO ₃ ⁻ -N	2,23	0,36	0,34	0,57	0,41
	Nmin	2,70	0,73	0,64	0,81	0,75
	Nmic	2,93	3,31	2,70	4,02	3,44
30-60	Norg	95,80	97,78	98,61	98,99	98,77
	Nt _(KCl)	5,19	3,13	2,08	1,68	1,96
	Norg _(KCl)	0,99	0,91	0,69	0,67	0,73
	Nt _(HWL)	8,10	5,77	6,98	3,37	5,15
	NH ₄ ⁺ -N	0,42	0,31	0,28	0,21	0,24
	NO ₂ /NO ₃ ⁻ -N	3,78	1,91	1,11	0,80	0,99
	Nmin	4,20	2,22	1,39	1,01	1,23
	Nmic	0,60	1,28	0,55	1,81	1,87
60-100	Norg	94,39	94,84	98,66	97,04	97,68
	Nt _(KCl)	6,57	6,89	2,06	3,93	3,51
	Norg _(KCl)	0,96	0,73	0,72	0,97	1,19
	Nt _(HWL)	7,48	7,35	3,92	4,16	4,41
	NH ₄ ⁺ -N	0,38	0,53	0,20	0,39	0,36
	NO ₂ /NO ₃ ⁻ -N	5,23	4,63	1,14	2,57	1,96
	Nmin	5,61	5,16	1,34	2,96	2,32
	Nmic	0,49	3,81	2,53	4,51	2,04

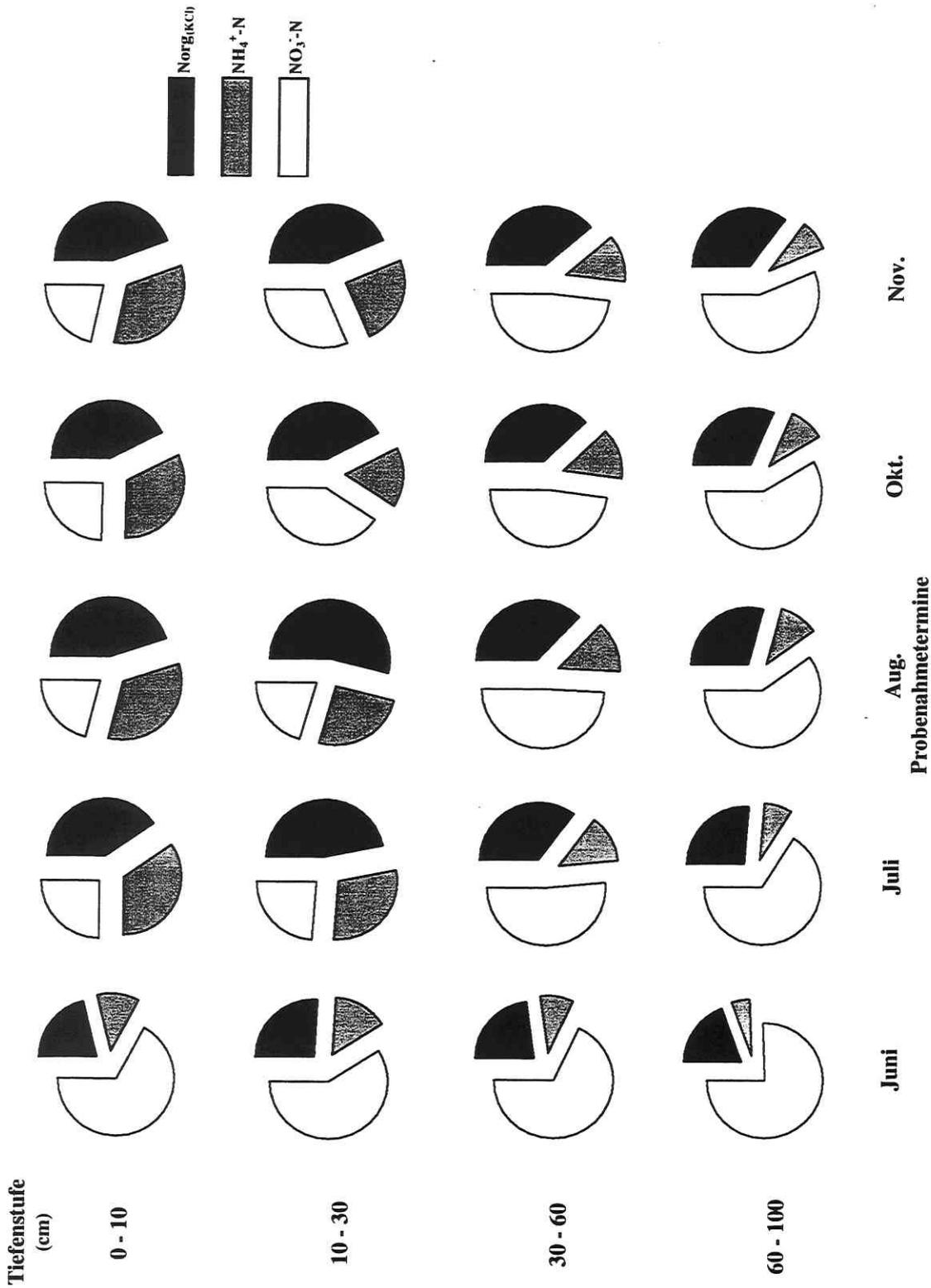


Abb. A2: Tiefenstufenbezogene Darstellung der KCl-extrahierbaren N-Fractionen aller Brachevarianten im Jahr 1996

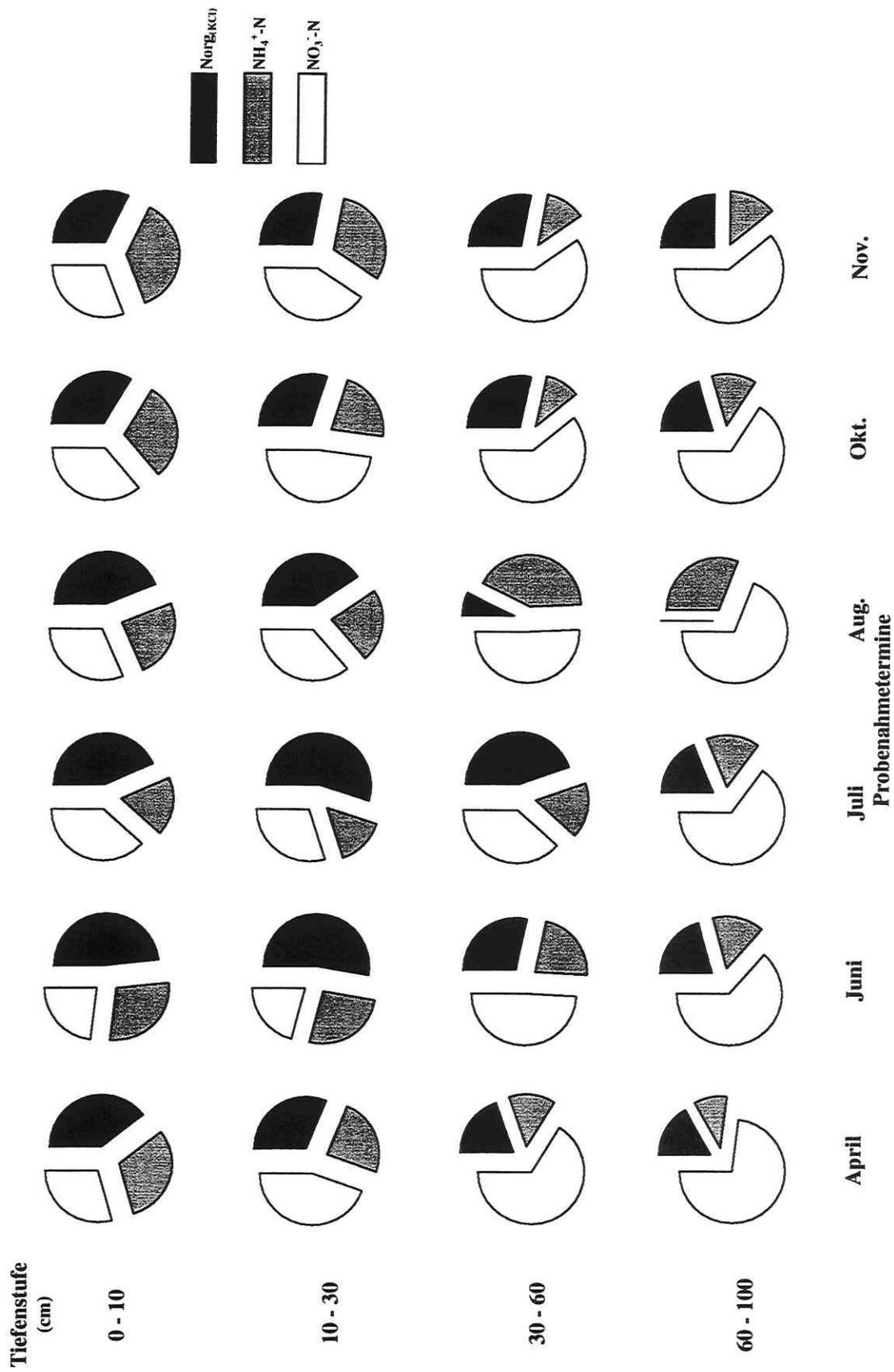


Abb. A3: Tiefenstufenbezogene Darstellung der KCl-extrahierbaren N-Fractionen aller Brachevarianten im Jahr 1997

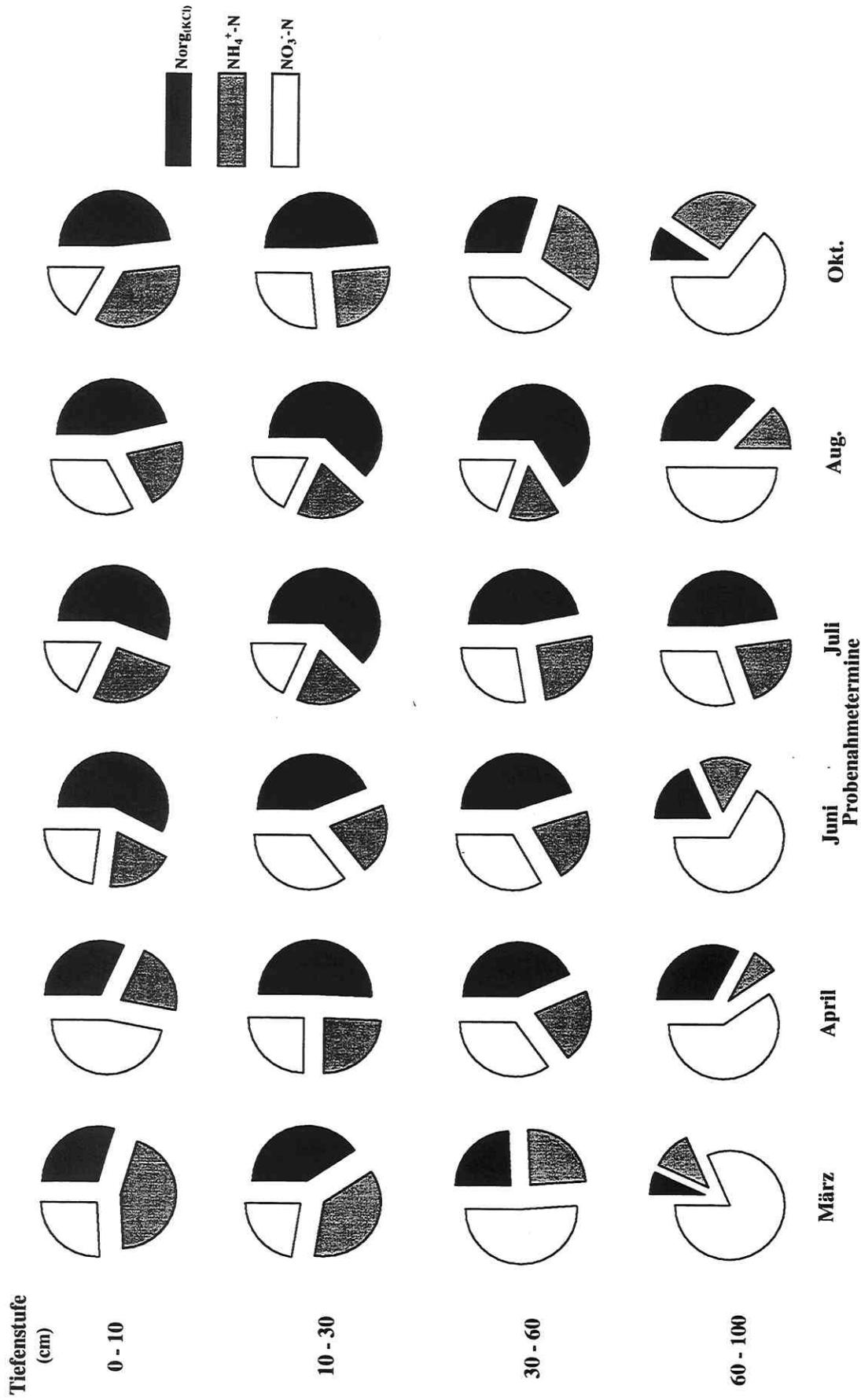


Abb. A4: Tiefenstufenbezogene Darstellung der KCl-extrahierbaren N-Fractionen aller Brachevarianten im Jahr 1998 (ungedüngt)

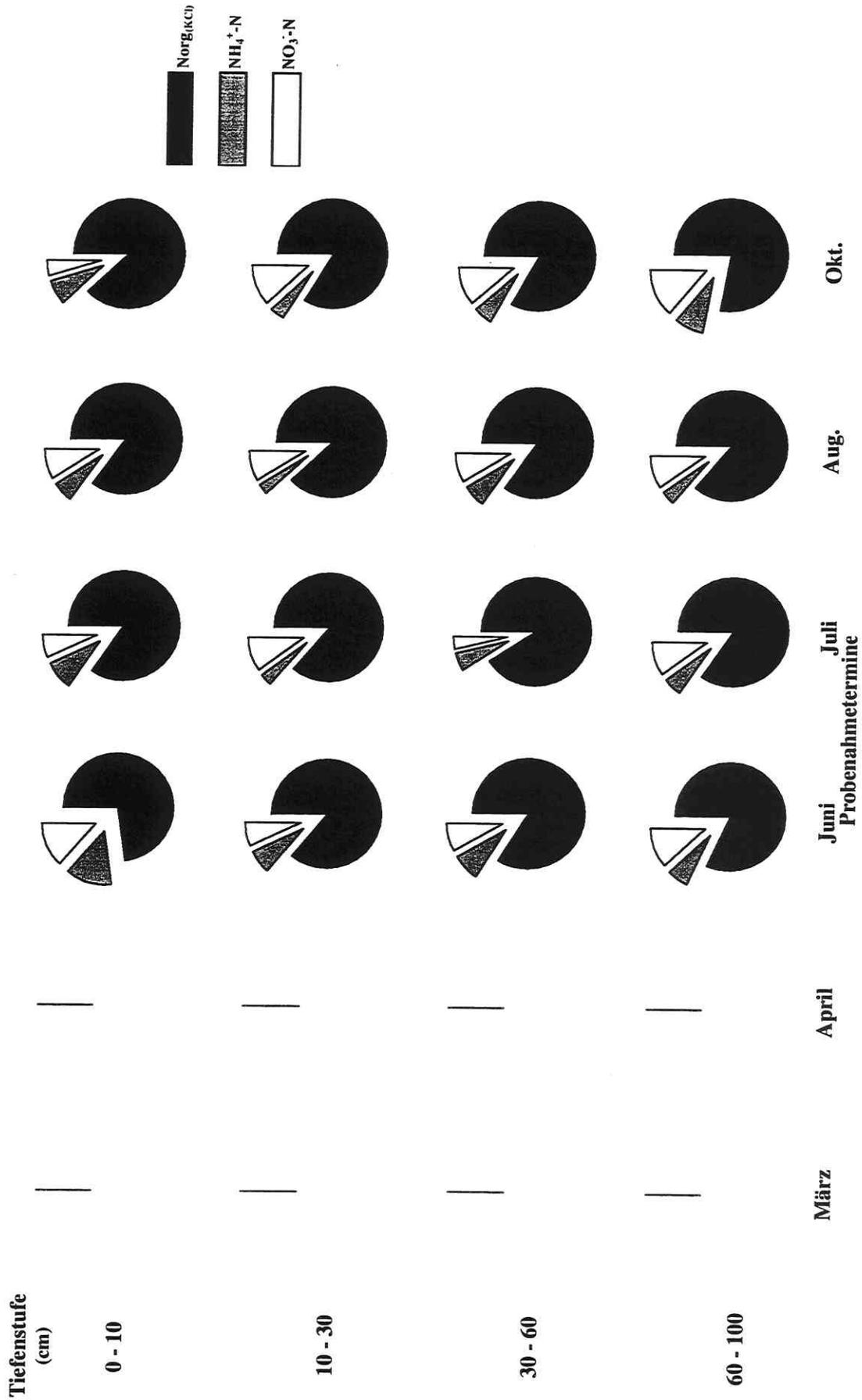


Abb. A5: Tiefenstufenbezogene Darstellung der KCl-extrahierbaren N-Fractionen aller Brachevarianten im Jahr 1998 (gedüngt)

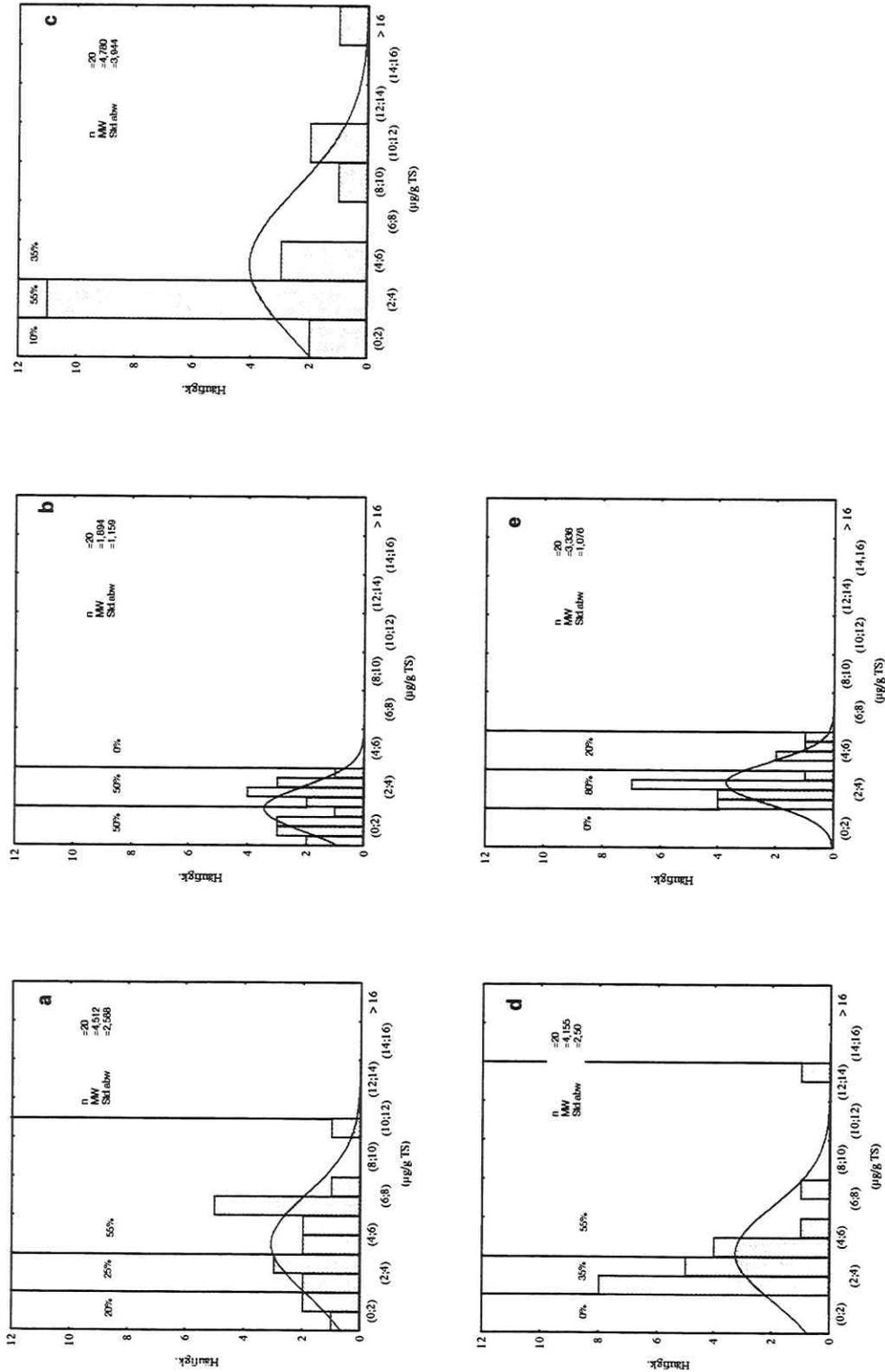


Abb. A6: Häufigkeitsverteilung des Norg_(KC) aller Brachevarianten in der Tiefenstufe 0-10 cm im Juni (a), Juli (b), August (c), Oktober (d) und November (e) 1996

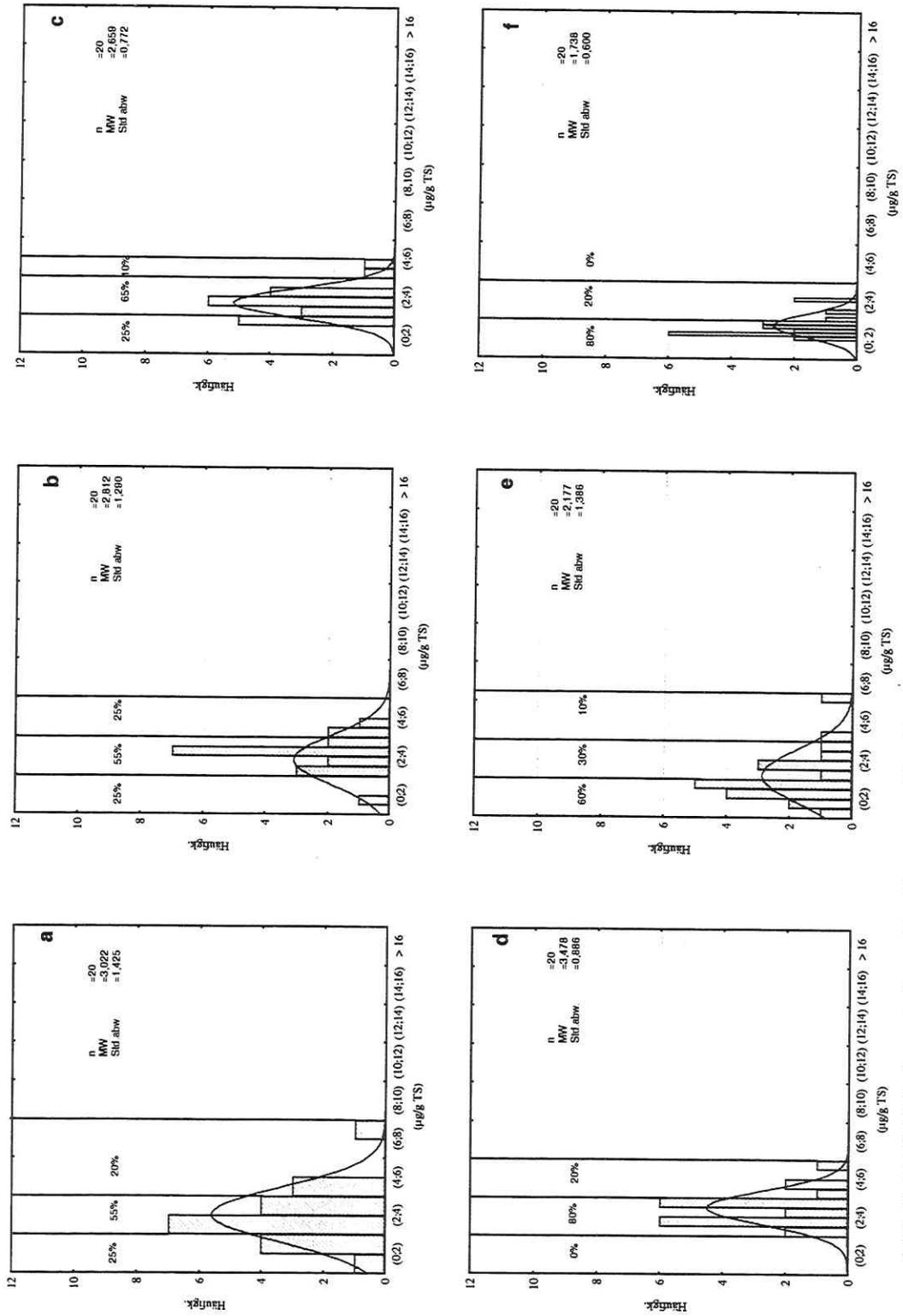


Abb.A7: Häufigkeitsverteilung des Norg(kc) aller Brachevarianten in der Tiefenstufe 0-10 cm im April (a), Juni (b), Juli (c), August (d), Oktober (e) und November 1997

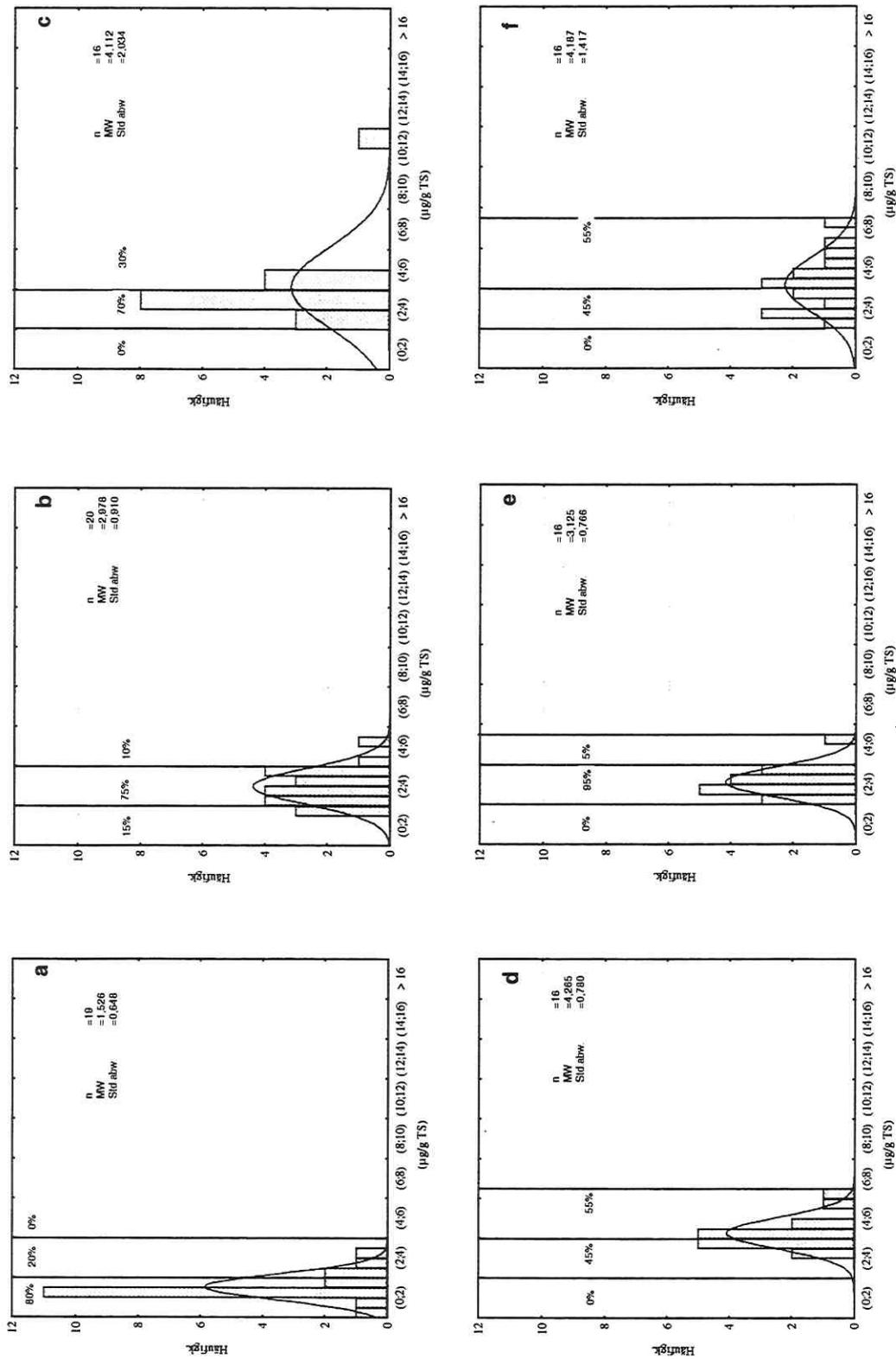


Abb.A8: Häufigkeitsverteilung des Norg_{KC1} aller Brachevarianten (ungedüngt) in der Tiefenstufe 0-10 cm im März (a), April (b), Juni (c), Juli (d), August (e) und Oktober (f) 1998

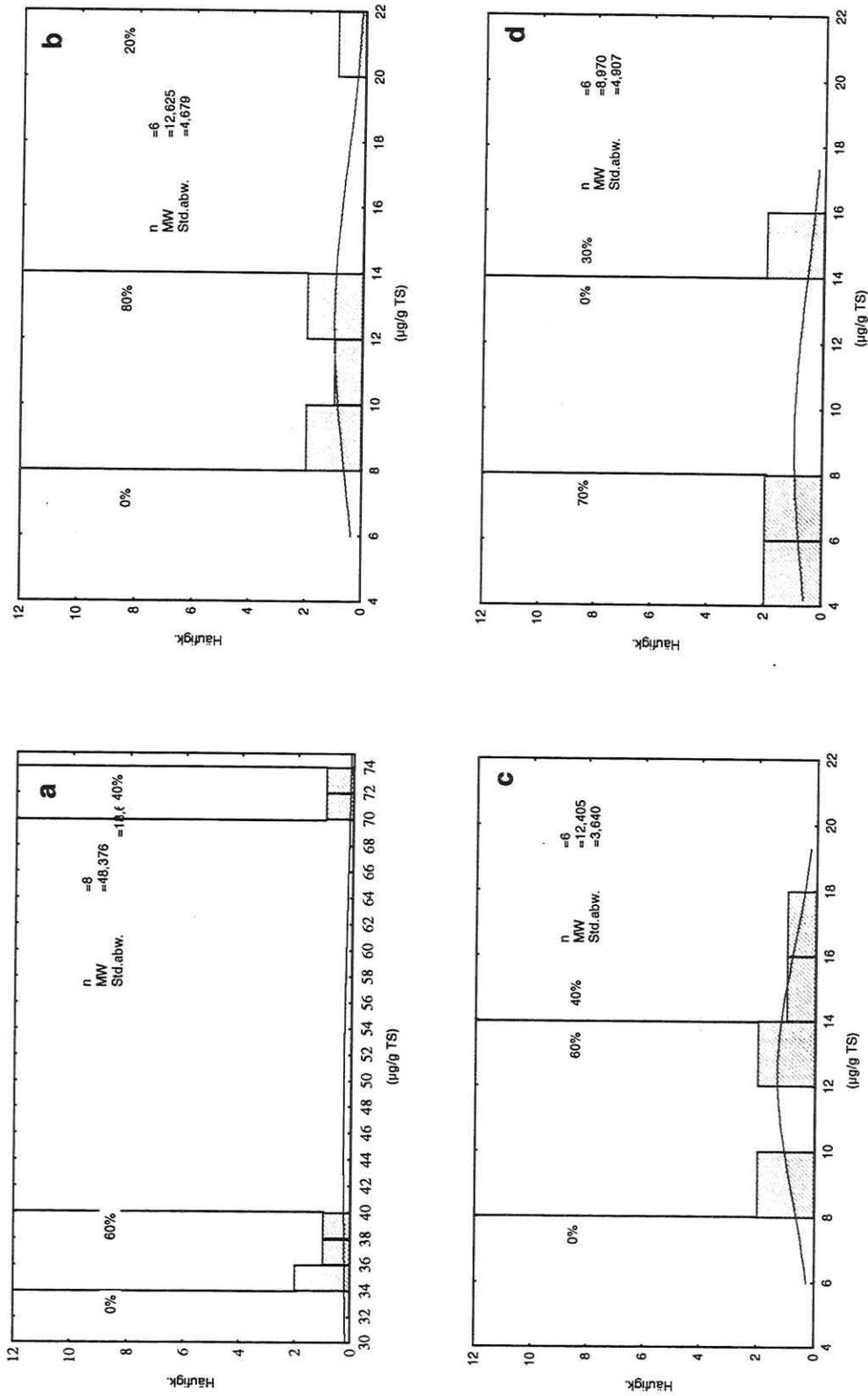


Abb.A9: Häufigkeitsverteilung des NorG(KC) aller Brachevarianten (gedingt) in der Tiefenstufe 0-10 cm im Juni (a), Juli (b), August (c) und Oktober (d) 1998

Tab. A53: Vergleich von Corg unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0-10	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
10-30	***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

Tab. A54: Vergleich von Corg_{kc} unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0-10	****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
10-30	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

Tab. A55: Vergleich von Corg_{wl} unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0-10	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
10-30	n.b.	****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
30-60	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A58: Vergleich von Nt(KCC) unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
0-10	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	
10-30	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
30-60	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
60-100	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****

Tab. A59: Vergleich von Norg(KCC) unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
0-10	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
10-30	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
30-60	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
60-100	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 - keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A60: Vergleich von NH₄⁺-N unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996					1997					1998						
	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.
0-10	†	*****	***	†	†	*****	*	†	†	†	†	***	†	†	*	†	†
10-30	†	***	***	†	†	**	†	†	†	†	†	***	*	†	*	*	†
30-60	*	*	†	†	†	***	†	†	*	†	†	†	†	†	†	**	†
60-100	*****	†	†	†	†	†	***	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†

Tab. A61: Vergleich von NO₃⁻-N unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996					1997					1998						
	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.
0-10	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*	*****	***	***	*****	***	****	*****	*	*****
10-30	*****	*****	*****	***	*	*****	*****	**	***	*****	*	*****	*****	***	*****	†	*****
30-60	****	*****	†	***	†	*****	***	†	†	**	†	***	*****	†	†	†	†
60-100	**	****	†	†	**	*	**	†	†	†	†	*	****	†	†	*	†

- * signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- † keine signifikanten Unterschiede
- n. b.

Tab. A62: Vergleich von Nmin unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
0-10	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	
10-30	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
30-60	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
60-100	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Tab. A63: Vergleich von Nmin unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
0-10	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
10-30	n.b.																						
30-60	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
60-100	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 - n. b.

Tab. 64: Vergleich von Cmic unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1997												1998											
		Jan	Feb	März	April	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt		
0-10	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	Ph-Ro/HB un	***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†			
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Tab. 65: Vergleich von Nmic unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996												1997												1998											
		Jan	Feb	März	April	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Jan	Feb	März	April	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt				
0-10	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
	FB-Ph	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	FB-Ro/HB un	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†															
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 - n. b

Tab. A68/1: Gehalte der mikrobiellen Komponenten im Jahresverlauf 1998 (0,5 M I₂O₄)

Probe	März '98			April '98			Juni '98			Juli '98			Aug. '98			Okt. '98			
	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	C _{est}	N _{est}	(C/N) _{est}	
A1a/B1a	71,02	14,37	4,94	58,66	11,79	4,97	49,11	2,74	17,89	4,53	58,83	12,99	4,53	72,38	10,91	6,63	54,86	11,56	4,74
A1b/B1b	44,54	9,94	4,48	37,93	8,01	4,74	14,93	1,77	8,43	5,82	38,09	6,54	5,82	34,12	5,85	5,83	22,74	6,05	3,76
B2a/A2a	86,10	18,39	4,68	56,05	9,77	5,74	56,24	6,33	8,62	4,15	42,11	10,15	4,15	59,78	9,92	6,03	61,22	9,89	6,19
B2b/A2b	43,19	9,46	4,56	29,53	6,93	4,26	31,89	5,30	6,02	3,35	18,37	5,48	3,35	16,17	3,44	4,70	16,26	4,06	4,01
A3a/B3a	32,20	8,76	3,67	67,92	11,56	5,88	42,84	3,01	14,21	3,95	70,69	17,88	3,95	39,70	6,14	6,46	71,77	14,48	4,96
A3b/B3b	15,72	3,74	4,21	29,83	6,55	4,55	7,59	1,28	5,94	5,38	43,14	8,01	5,38	11,86	0,72	16,39	38,54	4,14	9,32
B4a/A4a	69,68	14,29	4,88	40,87	8,78	4,66	64,99	6,18	10,51	5,15	54,28	10,54	5,15	72,19	12,82	5,63	60,70	11,51	5,27
B4b/A4b	51,38	9,96	5,16	14,06	3,45	4,08	27,19	5,26	5,17	5,27	24,18	4,59	5,27	28,49	5,30	5,38	22,48	4,23	5,31
A5a/B5a	33,40	7,86	4,25	58,29	11,65	5,01	40,51	2,33	17,38	4,16	47,93	11,53	4,16	41,75	6,43	6,49	64,84	13,71	4,73
A5b/B5b	30,62	3,90	7,86	41,98	8,10	5,19	10,86	1,44	7,56	3,41	20,83	6,10	3,41	26,35	4,75	5,55	31,70	2,59	12,23
B6a/A6a	42,21	9,57	4,41	40,23	6,37	6,32	49,42	5,51	8,96	7,00	60,65	8,66	7,00	61,12	8,82	6,93	62,75	10,01	6,27
B6b/A6b	32,29	6,77	4,77	10,91	1,88	5,80	18,19	3,46	5,26	4,36	25,90	5,93	4,36	9,82	4,55	2,16	14,64	2,54	5,76
A7a/B7a	52,30	9,98	5,24	31,07	7,27	4,27	42,41	2,80	15,14	6,53	57,14	8,75	6,53	49,31	7,95	6,20	55,00	10,57	5,20
A7b/B7b	41,15	6,90	5,96	8,61	5,03	1,71	17,80	1,67	10,67	7,42	6,54	4,70	7,42	21,04	5,73	3,67	25,12	4,59	5,47
B8a/A8a	84,65	17,97	4,71	44,87	8,80	5,10	56,92	6,97	8,16	1,87	56,00	7,55	1,87	18,52	6,33	9,39	61,28	10,16	6,03
B8b/A8b	38,33	8,80	4,35	25,47	5,42	4,70	15,33	3,22	4,76	4,71	10,22	5,47	4,71	71,07	13,28	2,92	18,26	1,67	10,93
C1a/D1a	89,35	18,64	4,79	95,94	19,26	4,98	53,05	4,83	10,99	3,97	89,64	19,01	4,15	36,10	5,29	6,83	46,26	9,51	4,87
C1b/D1b	41,46	9,32	4,45	53,55	13,09	4,09	25,37	3,28	7,73	6,33	62,94	15,86	4,15	94,98	17,51	5,42	92,68	21,83	4,25
D2a/C2a	104,68	24,37	4,30	94,30	20,08	4,70	72,88	11,11	6,56	6,33	84,33	20,30	4,15	17,22	4,13	4,17	45,08	8,39	5,37
D2b/C2b	70,86	15,67	4,52	45,33	9,77	4,64	30,77	5,56	5,53	4,39	54,05	8,53	4,39	103,49	17,79	5,82	93,63	21,45	4,37
C3a/D3a	111,80	25,65	4,36	81,71	15,32	5,34	67,42	8,73	7,72	4,39	114,33	26,05	4,39	103,49	17,79	5,82	93,63	21,45	4,37
C3b/D3b	73,07	12,22	5,98	41,70	9,05	4,61	28,05	4,71	5,95	6,50	57,82	8,89	6,50	37,26	5,07	7,34	62,87	12,51	5,03
D4a/C4a	90,08	20,37	4,42	81,69	18,08	4,52	66,99	10,62	6,31	4,41	126,27	28,63	4,41	75,19	13,85	5,43	92,40	21,83	4,23
D4b/C4b	80,51	15,37	5,24	35,38	9,37	3,78	26,59	5,33	4,99	4,57	43,81	9,58	4,57	34,70	6,68	5,19	31,58	6,20	5,09
C5a/D5a	66,25	16,83	3,94	74,99	15,30	4,90	71,09	7,58	9,38	3,72	71,11	19,10	3,72	71,05	11,46	6,20	96,03	21,74	4,42
C5b/D5b	66,58	12,57	5,30	36,49	8,05	4,53	26,88	4,23	6,35	3,92	42,98	10,95	3,92	45,03	7,13	6,31	51,19	10,79	4,75
D6a/C6a	84,74	18,80	4,51	94,14	20,41	4,61	77,87	12,43	6,27	4,58	72,43	15,82	4,58	86,41	12,93	6,68	105,41	22,00	4,79
D6b/C6b	46,26	9,46	4,89	69,41	14,33	4,84	34,49	6,85	5,04	1,46	10,16	6,94	1,46	25,71	5,39	4,77	40,35	10,59	3,81
C7a/D7a	105,32	21,42	4,92	69,89	17,80	3,93	93,54	10,02	9,34	5,05	107,50	21,27	5,05	88,29	15,85	5,57	109,16	23,32	4,68
C7b/D7b	68,62	16,63	4,13	33,50	11,65	2,88	45,43	6,80	6,68	2,12	15,78	7,43	2,12	46,88	11,97	3,92	53,02	10,56	5,02
D8a/C8a	94,96	19,30	4,92	74,61	17,35	4,30	75,01	12,28	6,11	5,07	105,12	20,73	5,07	70,79	11,96	5,92	114,88	24,22	4,74
D8b/C8a	28,62	5,65	5,07	60,74	13,89	4,37	29,53	5,47	5,40	2,31	20,43	8,85	2,31	35,88	8,71	4,12	57,50	11,25	5,11

Tab. A68/2: Gehalte der mikrobiellen Komponenten im Jahresverlauf 1998 (0,5 M I₂SO₄)

Probe	März '98		April '98		Juni '98		Juli '98		Aug. '98		Okt. '98	
	C _{ext}	N _{ext} (C/N) _{ext}										
Ktr1a/1	86,12	16,94	5,08	10,18	5,51	6,68	8,52	12,32	5,36	13,42	92,68	5,36
Ktr1b/1	51,83	9,04	5,73	8,34	5,21	4,57	6,54	3,64	6,33	3,42	24,10	6,91
Ktr1a/2	85,90	16,94	5,07	8,98	7,35	5,02	8,77	7,29	5,35	14,83	92,61	7,05
Ktr1b/2	62,89	9,31	6,76	10,35	4,18	4,07	8,14	4,60	3,67	4,57	32,54	6,24
Ktr2a/1	39,67	6,30	6,30	5,83	5,58	3,14	11,01	5,20	3,09	8,63	49,58	7,11
Ktr2b/1	29,43	3,31	8,88	3,33	2,31	0,36	17,61	4,45	2,41	3,85	19,16	5,75
Ktr2a/2	52,69	9,61	5,49	6,72	6,26	3,74	11,29	12,13	4,79	9,02	46,79	4,97
Ktr2b/2	54,18	8,93	6,06	3,99	2,82	0,56	19,16	3,16	1,55	3,01	22,74	5,19
Ktr3a/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,92	8,83	22,71	4,81	17,06	99,41	5,83
Ktr3b/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,90	8,75	3,70	1,76	7,35	36,79	5,00
Ktr3a/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,21	6,70	17,36	4,78	16,10	89,84	5,58
Ktr3b/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,27	9,24	8,01	1,97	6,51	28,75	4,42
Dg1a/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	-	6,76	28,08	5,38	6,11	41,00	6,71
Dg1b/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,27	9,12	7,36	1,26	3,34	20,42	6,11
Dg1a/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	-	2,92	58,13	4,18	6,86	40,24	6,11
Dg1b/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,09	12,52	20,09	0,90	2,88	24,53	5,86
Dg2a/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,68	19,34	93,72	5,67	13,36	96,32	8,53
Dg2b/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,83	9,66	32,37	16,97	7,57	42,88	7,21
Dg2a/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,56	21,53	72,14	6,37	14,13	97,42	6,89
Dg2b/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,83	8,86	32,52	11,55	6,40	47,41	7,41
Dg3a/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	-	10,10	29,47	5,03	9,51	53,33	5,61
Dg3b/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,08	13,29	32,43	6,82	1,92	14,93	7,78
Dg3a/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,20	29,87	81,74	5,56	9,11	46,78	5,14
Dg3b/2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,54	11,16	20,59	7,63	4,65	32,06	6,89

Tab. A.69: Vergleich von Cmic unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm, mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996				1997				1998								
	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.
0-10	†	*****	*	†	*	*	*****	*****	**	*****	***	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10-30	†	*	†	†	*	†	*	†	*	**	***	***	*****	*****	*	*****	*****

Tab. A.70: Vergleich von Nmic unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm, mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996				1997				1998								
	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.	Nov.	März	April	Jun	Jul	Aug.	Okt.
0-10	†	*****	**	****	*****	*****	*****	*	***	*****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10-30	†	****	†	****	*****	*	****	†	*	****	*****	****	*****	*****	*****	*	*****

- * signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- † keine signifikanten Unterschiede
- n. b.

Tab. 71: Vergleich der Basaltatmung unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996					1997					1998							
		Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	März	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt	
0-10	FB-Ph	†	†	***	†	†	**	†	†	***	†	†	†	†	†	*	†	†	†
	FB-Ro/HB un	***	†	**	†	****	*****	†	†	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	***	***	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	*	†	†	†	†	†	†	†	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ph	†	*	†	†	†	†	†	*	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	*****	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A72: Vergleich der Basaltatmung unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm, mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996					1997					1998						
	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	März	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt
0-10	†	†	*	†	**	***	**	*	*****	†	†	*	†	*****	***	*****	*****
10-30	†	†	*****	*	**	†	†	†	†	*****	†	†	*	**	**	***	***

- * signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
- ***** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
- † keine signifikanten Unterschiede
- n. b.

Tab. 73: Vergleich des qCO₂ unter unterschiedlichen Brachevarianten in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (FB und Ph n = 8; Ro/HB(un) und Ro/HB(ge) n = 4)

Tiefenstufe (cm)	Brachevarianten	1996					1997					1998						
		Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	März	April	Jun	Jul	Aug	Okt
0-10	FB-Ph	†	†	**	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	*	*	†	*
	FB-Ro/HB un	†	†	***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	***	†	†
	Ph-Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	***	†	†
10-30	Ro/HB un / Ro/HB ge	*	***	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ph	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	Ph-Ro/HB un	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	FB-Ro/HB ge	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Ph-Ro/HB ge	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Ro/HB un / Ro/HB ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tab. A74: Vergleich des qCO₂ unter den Bodentypen Braunerde und Humose Braunerde in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-30 cm mittels Mann-Whitney-U-Test (n = 16)

Tiefenstufe (cm)	1996					1997					1998						
	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	Apr	Jun	Jul	Aug	Okt	Nov	März	April	Jun	Jul	Aug	Okt
0-10	†	*	†	*	†	†	†	*	†	†	†	*	†	†	†	†	†
10-30	†	†	†	†	†	†	†	*	†	†	†	†	†	†	†	†	†

* signifikante Unterschiede bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ** signifikante Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 *** signifikante Unterschiede bei 2,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 ***** signifikante Unterschiede bei 0,5% Irrtumswahrscheinlichkeit
 **** signifikante Unterschiede bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit
 † keine signifikanten Unterschiede
 n. b.

Tab. A75: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juni 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _(HWL)	N _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(H2O)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	†	0,59 **	0,53 *	0,48 *	†	†	†	0,45 *	†	0,48 *	0,58 **	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,47 *	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	0,46 *	0,45 *	†	†	0,46 *	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	0,47 *	†	†	†	0,60 **	†	†	0,63 **
Nt					-	†	0,54 *	†	†	†	†	†	†	0,77 ***	†	†
N _(HWL)						†	-	0,82 ***	0,49 *	†	0,80 ***	0,79 ***	†	0,64 **	0,46 *	†
N _(KCC)						†		-	0,72 ***	†	0,98 ***	0,98 ***	†	0,50 *	†	†
Norg _(KCC)						†			-	†	0,62 **	0,61 **	†	0,46 *	†	-0,58 **
NH ₄ ⁺ -N						†				-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N						†					-	1,00 ***	†	†	†	†
Nmin						†						-	†	0,51 *	†	†
Nmic						†							†	0,51 *	†	†
pH-Wert _(H2O)						†								0,45 *	†	†
WG						†								-	†	†
Atmung						†								-	-	†

Tab. A76: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juni 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _(HWL)	N _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(H2O)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	†	0,94 ***	†	†	†	†	†	†	†	0,45 *	0,65 **	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	†	0,45 *	0,56 *	†	†	†	†	†	0,45 *	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	0,59 **	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	-0,48 *	†	†	†	†	†	†
N _(HWL)						†	†	†	†	†	†	†	†	0,52 *	0,68 ***	†
N _(KCC)						†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg _(KCC)						†	†	†	0,84 ***	†	0,97 ***	0,97 ***	†	†	0,78 ***	†
NH ₄ ⁺ -N						†	†	†	-	†	0,74 ***	0,74 ***	†	†	0,63 **	†
NO ₃ ⁻ -N						†	†	†	-	†	†	†	†	†	†	†
Nmin						†	†	†		†	†	1,00 ***	†	†	0,77 ***	†
Nmic						†	†	†		†	†	-	†	0,48 *	0,77 ***	†
pH-Wert _(H2O)						†	†	†		†	†	†	†	0,45 *	0,77 ***	†
WG						†	†	†		†	†	†	†	†	†	†
Atmung						†	†	†		†	†	†	†	†	0,50 *	†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A77: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juni 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	Nmin	pH-Wert _(H2O)	WG
Corg	-	0,51 *	†	0,94 ***	0,70 **	0,62 **	†	†	0,66 **	0,63 **	0,70 ***	0,86 ***
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,64 **	0,58 **	†	†	0,60 **	0,56 *	0,67 **	0,86 ***
Nt _(HWL)					-	0,86 ***	†	†	0,89 ***	0,90 ***	†	0,62 **
Nt _(KCC)						-	0,72 ***	†	0,99 ***	0,98 ***	†	0,67 **
Norg _(KCC)							-	†	0,65 **	0,63 **	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ -N									-	0,99 ***	0,45 *	0,69 ***
Nmin										-	†	0,65 **
pH-Wert _(H2O)											-	0,73 ***
WG												-

Tab. A78: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juni 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	Nmin	pH-Wert _(H2O)	WG
Corg	-	0,82 ***	†	0,90 ***	0,55 *	†	†	†	0,45 *	0,46 *	0,80 ***	0,87 ***
Corg _(HWL)		-	†	0,74 **	0,58 *	†	†	†	0,52 *	0,51 *	0,79 ***	0,61 *
Corg _(KCC)			-	†	†	†	†	†	0,62 **	0,62 **	0,62 **	†
Nt				-	0,54 *	†	†	†	0,77 ***	†	0,79 ***	0,79 ***
Nt _(HWL)					-	0,76 ***	0,55 *	†	0,81 ***	0,81 ***	0,62 *	0,58 *
Nt _(KCC)						-	0,76 ***	†	0,98 ***	0,97 ***	0,45 *	0,62 **
Norg _(KCC)							-	†	0,68 ***	0,68 ***	†	0,55 *
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	-0,48 *	†
NO ₃ -N									-	1,00 ***	0,50 *	0,66 **
Nmin										-	†	0,65 **
pH-Wert _(H2O)											-	0,82 ***
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.79: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juli 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _{t(HWL)}	N _{t(KCC)}	N _{t(KCC)}	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(qzo)	WG	Atmung
Corg	-	†	-0,52 *	†	†	†	†	†	†	†	†	0,53 *	0,52 *	†	0,74 ***	0,58 **	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	0,85 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	0,54 *	†	†	0,84 ***	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	0,50 *	†	†	†	0,54 *	0,58 **	0,70 ***	0,63 **	0,60 **	†
Nt					†	-	†	0,45 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _{t(HWL)}					†		†	0,46 *	†	†	0,50 *	0,60 **	0,68 ***	0,55 *	0,54 *	0,69 ***	†
N _{t(KCC)}					†		-	-	0,66 **	†	0,64 **	0,76 ***	0,75 ***	0,72 ***	†	0,66 **	†
Norg _(KCC)					†				-	†	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N					†						-	0,68 **	0,85 ***	0,74 ***	0,59 **	0,80 ***	†
NO ₃ ⁻ -N					†							-	0,92 ***	0,74 ***	0,64 **	0,86 ***	†
Nmin					†								-	0,80 ***	0,71 ***	0,94 ***	†
Nmic					†									-	0,70 ***	0,84 ***	†
pH-Wert _(qzo)					†										-	0,78 ***	†
WG					†											-	†
Atmung					†												†

Tab. A.80: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juli 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _{t(HWL)}	N _{t(KCC)}	N _{t(KCC)}	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(qzo)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,44 *	0,49 *	†	0,75 ***	0,57 **	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	0,85 ***	†	†	†	†	†	0,73 *	0,70 *	†	†	0,66 *	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	†	†	0,78 ***	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,56 **	†	†	†
Nt					†	-	†	†	†	†	0,71 ***	†	†	†	†	†	†
N _{t(HWL)}					†		†	†	†	†	†	0,61 **	0,60 **	†	0,79 ***	0,71 ***	†
N _{t(KCC)}					†		†	†	†	†	0,88 ***	0,83 **	0,89 ***	†	†	0,81 **	†
Norg _(KCC)					†		†	0,75 **	†	†	0,66 **	0,64 **	0,78 ***	†	0,48 *	0,70 ***	0,50 *
NH ₄ ⁺ -N					†						†	†	†	†	†	†	0,47 *
NO ₃ ⁻ -N					†							†	†	†	†	†	†
Nmin					†								-	0,52 *	0,74 ***	0,74 ***	†
Nmic					†									0,48 *	0,71 ***	0,82 ***	†
pH-Wert _(qzo)					†									-	0,48 *	0,46 *	†
WG					†										-	0,79 ***	†
Atmung					†											-	†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A81: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juli 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	0,65 **	†	0,58 **	0,52 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	†	†	0,66 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCP)			-	†	0,47 *	†	†	†	†	0,45 *	†	†
Nt				-	†	†	†	†	0,46 *	0,51 *	†	0,50 *
Nt _(HWL)					-	0,67 **	0,54 *	†	0,58 **	0,68 **	0,54 *	0,53 *
Nt _(KCP)						-	0,55 *	†	0,85 ***	0,86 ***	0,45 *	0,70 ***
Norg _(KCP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,97 ***	0,50 *	0,78 ***
Nmin										-	0,51 *	0,78 ***
pH-Wert _(qzo)											-	0,80 ***
WG												-

Tab. A82: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juli 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	0,74 ***	†	0,66 **	0,49 *	†	†	†	†	†	0,53 *	0,63 **
Corg _(HWL)		-	†	0,71 ***	0,78 ***	†	†	†	†	†	0,61 **	0,77 ***
Corg _(KCP)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,58 **	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	0,65 **	†	†	0,54 *	0,53 *	0,78 ***	0,60 **
Nt _(KCP)						-	†	†	0,78 ***	0,78 ***	†	0,82 ***
Norg _(KCP)							-	†	†	†	†	0,69 ***
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	1,00 ***	†	0,57 **
Nmin										-	†	0,56 *
pH-Wert _(qzo)											-	0,62 **
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A83: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Oktober 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Cmic	Ni	N _(awL)	N _(kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aw)	WG	Atmung	
Corg	-	†	†	†	0,54 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Corg _(awL)		-	†	†	†	0,90 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Corg _(kC)			-	†	†	†	0,71 ***	†	†	†	0,45 *	†	†	†	†	
Cmic				-	†	†	0,46 *	†	0,48 *	†	0,54 *	0,79 ***	†	0,50 *	†	
Ni					-	†	†	†	†	†	†	0,52 *	†	†	0,73 ***	
N _(awL)						-	†	†	†	†	0,57 **	†	†	†	†	
N _(kC)							-	†	†	†	0,89 ***	†	0,58 **	0,60 **	†	
Norg _(kC)								-	†	†	0,51 *	†	†	0,47 *	†	
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,85 ***	†	0,67 **	†	†	
NO ₃ ⁻ -N										-	0,80 ***	0,49 *	0,76 ***	0,51 *	†	
Nmin											-	0,54 *	0,78 ***	0,55 *	†	
Nmic												-	†	†	†	
pH-Wert _(aw)													-	†	†	
WG														-	†	
Atmung															-	†

Tab. A84: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im August 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Cmic	Ni	N _(awL)	N _(kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aw)	WG	Atmung	
Corg	-	†	†	†	0,65 **	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Corg _(awL)		-	†	†	†	0,94 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Corg _(kC)			-	†	†	†	0,54 *	†	†	†	†	†	†	†	†	
Cmic				-	†	†	†	0,67 **	†	0,50 *	†	0,64 **	†	†	†	
Ni					-	†	†	†	†	†	†	†	0,45 *	†	†	
N _(awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
N _(kC)							-	†	†	†	†	†	†	0,74 ***	†	
Norg _(kC)								-	†	0,67 **	0,80 ***	†	†	†	†	
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†	
NO ₃ ⁻ -N										-	0,54 *	†	†	0,56 *	†	
Nmin											-	0,91 ***	†	0,78 ***	†	
Nmic												-	0,50 *	0,81 ***	†	
pH-Wert _(aw)													-	†	†	
WG														-	†	
Atmung															-	†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A85: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im August 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(dwL)	Corg(kcP)	Nt	Nt(dwL)	Nt(kcP)	Norg(kcP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(p20)	WG
Corg	-	0,61 **	†	0,69 ***	0,61 **	†	†	†	†	†	0,58 **	0,56 *
Corg(dwL)		-	0,46 *	†	0,82 ***	†	†	†	†	†	†	0,46 *
Corg(kcP)			-	†	†	†	†	0,58 **	†	†	†	†
Nt				-	†	†	†	†	0,50 *	†	0,62 **	0,74 ***
Nt(dwL)					-	0,49 *	†	†	†	†	†	0,57 **
Nt(kcP)						-	0,63 **	†	0,84 ***	0,93 ***	†	†
Norg(kcP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,95 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(p20)											-	†
WG												-

Tab. A86: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im August 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(dwL)	Corg(kcP)	Nt	Nt(dwL)	Nt(kcP)	Norg(kcP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(p20)	WG
Corg	-	0,70 ***	0,79 ***	0,86 ***	0,70 **	†	†	†	†	†	0,50 *	0,64 **
Corg(dwL)		-	0,49 *	0,80 ***	0,94 ***	0,51 *	†	†	0,57 *	0,54 *	0,51 *	0,57 *
Corg(kcP)			-	0,59 **	0,47 *	†	†	†	†	†	0,45 *	0,46 *
Nt				-	0,78 ***	†	†	†	0,47 *	†	0,63 **	0,57 **
Nt(dwL)					-	0,64 **	†	†	0,70 ***	0,64 **	0,50 *	0,50 *
Nt(kcP)						-	0,52 *	†	0,87 ***	0,89 ***	†	†
Norg(kcP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,97 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(p20)											-	†
WG												-

* ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A87: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Oktober 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _(AWL)	N _(KCC)	N _(gKCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(KZO)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	0,47 *	†	†	0,49 *	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(AWL)		-	†	†	†	0,90 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	0,51 *	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	0,46 *	†	0,76 ***	0,69 ***	0,55 *	0,65 **	0,65 **	0,52 *	0,55 *	†	†
Nt					-	0,44 *	0,48 *	†	0,56 *	0,46 *	0,46 **	†	0,64 **	†	†
N _(AWL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(KCC)							-	0,85 ***	0,49 *	0,74 ***	0,87 ***	†	0,46 *	†	†
N _(gKCC)								-	†	0,47 *	0,61 **	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,89 ***	†	0,79 ***	0,45 *	†
Nmin											-	†	0,63 **	†	†
Nmic												-	0,54 *	†	†
pH-Wert _(KZO)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A88: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Oktober 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	N _(AWL)	N _(KCC)	N _(gKCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(KZO)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	0,52 *	0,84 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(AWL)		-	†	†	†	†	0,92 ***	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	0,53 *	†	†	†	0,49 *	†	0,48 *	0,57 **	0,45 *	†	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	0,46 *	†	†	†
N _(AWL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(KCC)							-	0,89 ***	0,56 *	0,93 ***	0,94 ***	†	†	0,56 *	†
N _(gKCC)								-	†	0,76 ***	0,74 ***	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,56 *	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,96 ***	†	0,46 *	0,65 **	†
Nmin											-	†	†	0,64 **	†
Nmic												-	0,49 *	†	†
pH-Wert _(KZO)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.89: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Oktober 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(AWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	0,52 *	†	0,74 ***	0,54 *	0,54 *	0,64 **	0,49 *	†	†	0,53 *	†
Corg _(AWL)		-	†	†	0,95 ***	†	0,49 *	0,53 *	†	†	†	†
Corg _(KCP)			-	0,55 *	†	†	†	†	†	†	0,60 **	†
Nt				-	†	†	†	0,51 *	†	†	†	†
Nt _(AWL)					-	0,53 *	0,58 **	†	0,92 ***	0,93 ***	†	0,62 **
Nt _(KCP)						-	0,90 ***	†	0,70 ***	0,72 ***	†	0,46 *
Norg _(KCP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,99 ***	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	0,59 **
Nmin										-	†	0,63 **
pH-Wert _(qzo)											-	0,48 *
WG												-

Tab. A.90: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Oktober 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(AWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	0,75 ***	†	0,80 ***	0,60 *	†	0,55 *	†	†	†	0,84 ***	0,57 **
Corg _(AWL)		-	†	†	0,75 ***	†	0,50 *	†	†	†	0,53 *	†
Corg _(KCP)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,50 *	†	0,54 *	†	†	†	0,61 **	0,61 **
Nt _(AWL)					-	0,53 *	0,77 ***	†	†	†	†	†
Nt _(KCP)						-	0,84 ***	†	0,99 ***	0,98 ***	†	0,62 **
Norg _(KCP)							-	†	0,80 ***	0,79 ***	†	0,67 **
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	1,00 ***	†	0,59 **
Nmin										-	†	0,58 **
pH-Wert _(qzo)											-	0,64 **
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A91: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im November 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	Nt _(AWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(p20)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(AWL)		-	†	†	†	0,90 ***	0,49 *	0,53 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	0,50 *	0,64 **	†	†	†	†	†	0,56 **	†	†
Cmic				-	†	†	0,47 *	†	0,51 *	†	0,65 **	0,74 ***	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	0,51 *	†	†	0,47 *	†	0,57 **
Nt _(AWL)						-	†	†	†	0,48 *	0,59 **	†	0,58 **	†	†
Nt _(KCC)							-	0,50 *	0,61 **	0,75 ***	0,86 ***	0,57 **	0,72 ***	0,47 *	†
Norg _(KCC)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,77 ***	0,58 **	†	†	0,52 *
NO ₃ ⁻ -N										-	0,75 ***	0,54 *	0,86 ***	0,77 ***	†
Nmin											-	0,68 ***	0,70 ***	0,62 **	0,50 *
Nmic												-	0,62 **	0,81 ***	0,70 ***
pH-Wert _(p20)													-	-	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A92: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im November 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(AWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	Nt _(AWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(p20)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(AWL)		-	†	†	†	0,81 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	0,77 **	†	0,58 **	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	0,49 *	†	0,66 **	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(AWL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KCC)							-	0,78 ***	†	†	0,58 **	†	†	†	†
Norg _(KCC)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,64 **	0,45 *	†	0,51 *	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,87 ***	0,52 *	†	†	†
Nmin											-	0,55 *	0,72 ***	0,50 *	†
Nmic												-	-	0,52 *	†
pH-Wert _(p20)													-	-	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A93: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im November 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(azo)	WG	
Corg	-	0,55 *	†	0,79 ***	0,59 **	†	†	†	†	0,54 *	-0,64 **	†	
Corg _(HWL)		-	†	†	0,92 ***	0,47 *	†	†	†	†	†	†	
Corg _(KCP)			-	†	†	†	†	†	†	†	0,60 **	†	
Nt				-	†	†	†	†	†	0,53 *	†	0,64 **	
Nt _(HWL)					-	0,72 ***	0,58 **	0,48 *	0,67 **	†	†	†	
Nt _(KCP)						-	0,86 ***	0,46 *	0,94 ***	†	†	†	
Norg _(KCP)							-	†	0,70 ***	†	†	†	
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†	
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	†	
Nmin										-	†	†	
pH-Wert _(azo)											-	0,60 **	
WG												-	0,69 ***

Tab. A94: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im November 1996 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(azo)	WG	
Corg	-	0,50 *	0,59 **	0,82 ***	0,47 *	†	†	0,47 *	†	†	0,48 *	0,65 **	
Corg _(HWL)		-	0,53 *	†	0,69 **	-0,48 *	†	†	-0,54 *	-0,52 *	0,61 **	0,62 **	
Corg _(KCP)			-	0,51 *	†	†	†	†	†	†	0,54 *	†	
Nt				-	†	†	†	†	†	†	†	0,49 *	
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	0,62 **	
Nt _(KCP)						-	0,68 ***	†	0,94 ***	0,97 ***	-0,53 *	†	
Norg _(KCP)							-	†	0,59 **	0,53 *	†	†	
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†	
NO ₃ ⁻ -N									-	0,95 ***	-0,64 **	†	
Nmin										-	-0,52 *	†	
pH-Wert _(azo)											-	0,46 *	
WG												-	

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.95: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im April 1997 nach Spearman (n =

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(aCC)	Cmic	Nt	N _(aWL)	N _(aCC)	Norg _(aCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aZO)	WG	Atmung	
Corg	-	†	†	†	0,92 ***	†	†	†	0,49 *	†	†	†	†	0,63 ***	0,85 ***	0,65 **
Corg _(aWL)	-	-	†	†	0,48 *	0,68 **	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(aCC)	-	-	-	†	†	†	0,71 ***	0,54 *	0,57 **	0,66 **	0,71 ***	†	†	†	†	†
Cmic	-	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	0,47 *	†	†	†	†
Nt	-	-	-	-	-	0,78 ***	†	†	0,69 ***	†	0,45 *	†	†	0,76 ***	0,90 ***	0,66 **
N _(aWL)	-	-	-	-	-	-	†	†	0,64 **	0,59 **	0,65 **	†	†	†	0,70 ***	0,60 **
N _(aCC)	-	-	-	-	-	-	0,54 *	†	0,55 **	0,91 ***	0,94 ***	†	†	†	†	†
Norg _(aCC)	-	-	-	-	-	-	-	0,82 ***	†	0,62 **	0,63 **	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	0,68 ***	†	†	0,76 ***	0,75 ***	0,64 **
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,90 ***	†	†	†	†	†
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†	†
Nmic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
pH-Wert _(aZO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47 *	†	†
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52 *	†	†
Atmung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80 ***	0,63 **
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78 ***

Tab. A.96: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im April 1997 nach Spearman (n =

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(aCC)	Cmic	Nt	N _(aWL)	N _(aCC)	Norg _(aCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aZO)	WG	Atmung
Corg	-	0,60 **	0,57 **	†	0,88 ***	0,53 *	†	†	0,53 *	†	†	†	†	0,56 *	†
Corg _(aWL)	-	-	†	†	†	0,58 **	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(aCC)	-	-	-	†	0,60 **	†	†	†	†	†	†	†	†	0,49 *	†
Cmic	-	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	0,62 **	†	†	†
Nt	-	-	-	-	-	0,47 *	†	†	0,62 **	†	†	†	†	0,76 ***	0,65 **
N _(aWL)	-	-	-	-	-	-	0,56 *	†	0,47 *	0,51 *	0,54 *	†	†	†	†
N _(aCC)	-	-	-	-	-	-	-	0,65 **	0,65 **	0,87 ***	0,88 ***	†	†	†	†
Norg _(aCC)	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57 **	0,68 ***	†	†	0,50 *	0,54 *
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98 ***	†	†	†	†
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†
Nmic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†
pH-Wert _(aZO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47 *	0,51 *
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79 ***
Atmung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*, **, und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A97: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im April 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(kCf)	Nt	Nt _(aWL)	Nt _(kCf)	Norg _(kCf)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(uzo)	WG
Corg	-	†	†	0,84 ***	0,61 **	0,76 ***	0,47 *	0,60 **	0,67 *	0,72 ***	†	0,46 *
Corg _(aWL)	-	-	†	†	0,88 ***	†	†	0,45 *	†	†	†	†
Corg _(kCf)	-	-	-	†	†	0,49 *	†	0,68 **	†	†	†	†
Nt	-	-	-	-	0,47 *	0,83 ***	0,60 **	0,60 **	0,77 ***	0,80 ***	0,59 **	0,64 **
Nt _(aWL)	-	-	-	-	-	-	†	0,51 *	-	-	†	†
Nt _(kCf)	-	-	-	-	-	-	0,58 **	0,70 ***	0,96 ***	0,98 ***	0,62 **	0,71 ***
Norg _(kCf)	-	-	-	-	-	-	-	†	†	0,47 *	†	0,53 *
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58 **	0,66 **	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 ***	0,66 **	0,72 ***
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63 **	0,69 ***
pH-Wert _(uzo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77 ***
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A98: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im April 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(kCf)	Nt	Nt _(aWL)	Nt _(kCf)	Norg _(kCf)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(uzo)	WG
Corg	-	0,56 **	0,61 **	0,94 ***	0,52 *	0,48 *	†	0,70 ***	†	†	†	†
Corg _(aWL)	-	-	0,52 *	0,63 **	0,82 ***	0,64 **	0,69 ***	†	†	0,48 *	†	†
Corg _(kCf)	-	-	-	0,69 ***	0,73 ***	0,62 **	0,46 *	†	0,57 **	0,54 *	0,67 **	0,60 **
Nt	-	-	-	-	0,62 **	0,49 *	†	†	0,45 *	†	†	†
Nt _(aWL)	-	-	-	-	-	0,81 ***	0,64 **	0,69 ***	0,73 ***	0,81 ***	†	0,50 *
Nt _(kCf)	-	-	-	-	-	-	0,78 ***	0,57 **	0,82 ***	0,86 ***	†	†
Norg _(kCf)	-	-	-	-	-	-	-	0,62 **	†	0,45 *	†	†
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	†	0,53 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98 ***	†	†
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†
pH-Wert _(uzo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59 **
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau

† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.99: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juni 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH)	WG	Atmung	
Corg	-	0,58 **	0,47 *	0,68 ***	0,88 ***	0,59 **	0,69 ***	0,55 *	†	0,66 **	0,60 *	0,60 **	†	†	0,61 **	
Corg _(HWL)		-	0,54 *	†	0,54 *	0,49 *	†	0,65 **	†	†	†	0,48 *	†	0,47 *	0,65 **	
Corg _(KCC)			-	†	0,70 **	0,61 **	0,68 ***	0,50 *	0,50 *	†	†	†	†	†	†	
Cmic				-	0,80 ***	0,68 ***	0,84 ***	0,53 *	0,73 ***	0,75 ***	0,91 ***	0,58 **	0,58 **	0,56 **	0,58 **	
Nt					-	0,63 **	0,69 ***	0,59 **	0,76 ***	0,66 **	0,68 **	0,68 **	0,46 *	0,55 *	0,55 *	
Nt _(HWL)						-	0,89 ***	†	0,59 **	0,88 ***	0,51 *	0,83 ***	†	†	0,72 ***	
Nt _(KCC)							-	0,44 *	0,58 **	0,93 ***	0,66 **	0,79 ***	†	†	0,62 **	
Norg _(KCC)								-	†	†	0,49 *	†	†	†	0,48 *	
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,64 **	†	†	†	0,63 **	
NO ₃ ⁻ -N										-	0,79 ***	0,67 **	†	†	0,58 **	
Nmin											-	0,55 *	†	†	0,47 *	
Nmic												-	†	†	0,66 **	
pH-Wert _(pH)													-	†	0,66 **	
WG														-	†	
Atmung															-	0,68 ***

Tab. A.100: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juni 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Cmic	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH)	WG	Atmung	
Corg	-	†	†	0,63 **	0,79 ***	0,63 **	0,62 **	†	†	0,47 *	†	†	†	†	†	
Corg _(HWL)		-	†	†	†	0,57 **	†	0,48 *	†	†	†	†	†	†	†	
Corg _(KCC)			-	†	†	0,52 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†	
Cmic				-	0,53 *	0,60 **	0,55 *	†	†	0,60 **	0,53 *	0,49 *	0,71 ***	0,47 *	†	
Nt					-	†	†	†	†	0,58 **	†	†	†	0,50 *	†	
Nt _(HWL)						-	0,86 ***	†	†	0,48 *	0,61 **	0,47 *	†	†	†	
Nt _(KCC)							-	†	0,48 *	0,62 **	0,74 ***	†	†	†	†	
Norg _(KCC)								-	†	†	†	†	†	†	†	
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†	
NO ₃ ⁻ -N										-	0,88 ***	0,46 *	0,62 **	†	†	
Nmin											-	0,52 *	0,53 *	†	†	
Nmic												-	0,60 **	†	†	
pH-Wert _(pH)													-	†	†	
WG														-	0,53 *	
Atmung															-	0,58 **

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau

† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A101: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juni 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(HWL)	Corg(KCC)	Nt	Nt(HWL)	Nt(KCC)	Norg(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-	0,66 **	0,45 *	0,89 ***	0,53 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg(HWL)		-	0,72 ***	0,56 *	0,84 ***	0,56 *	0,49 *	†	†	†	†	†
Corg(KCC)			-	0,46 *	0,51 *	†	0,67 **	†	†	†	†	†
Nt				-	-	†	†	†	†	†	0,46 *	0,47 *
Nt(HWL)					-	0,76 ***	†	0,56 *	0,56 **	0,60 **	0,60 **	†
Nt(KCC)						-	†	0,61 **	0,66 **	0,48 *	0,45 *	†
Norg(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,97 ***	0,58 **	0,50 *
Nmin										-	0,47 *	0,46 *
pH-Wert _(qz0)											-	0,76 ***
WG												-

Tab. A102: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juni 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(HWL)	Corg(KCC)	Nt	Nt(HWL)	Nt(KCC)	Norg(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-	0,67 **	0,61 **	0,90 ***	0,70 ***	0,68 ***	†	0,57 **	0,75 ***	0,74 ***	0,72 ***	†
Corg(HWL)		-	†	0,69 ***	0,79 ***	†	†	†	0,54 *	0,53 *	0,66 **	†
Corg(KCC)			-	0,55 *	†	0,52 *	†	0,57 **	†	0,45 *	0,70 ***	†
Nt				-	0,70 ***	0,55 *	†	0,66 **	0,67 **	0,68 ***	0,70 ***	†
Nt(HWL)					-	0,66 **	†	†	0,73 ***	0,74 ***	0,79 ***	†
Nt(KCC)						-	†	†	0,88 ***	0,90 ***	0,54 *	0,45 *
Norg(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,47 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,98 ***	0,54 *	†
Nmin										-	0,56 *	†
pH-Wert _(qz0)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau

† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A103: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juli 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCl)	Cmic	Nt	N _t (HWL)	N _t (KCl)	Norg _(KCl)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH₂O)	WG	Atmung
Corg	-	0,88 ***	0,75 ***	0,48 *	0,94 ***	0,87 ***	0,51 *	†	†	†	0,45 *	†	0,51 *	0,63 ***	†
Corg _(HWL)		-	0,70 ***	†	0,80 ***	0,90 ***	0,58 **	†	†	†	0,50 *	†	†	0,47 *	0,51 *
Corg _(KCl)			-	†	0,73 ***	0,76 ***	0,69 ***	0,54 *	†	0,48 *	0,61 **	†	0,44 *	0,48 *	0,46 *
Cmic				-	0,51 *	0,51 *	0,56 *	†	†	0,54 *	0,46 *	0,70 ***	0,77 ***	0,60 **	†
Nt					-	0,87 ***	0,50 *	†	†	0,59 **	0,62 **	†	0,66 **	0,71 ***	0,52 *
N _t (HWL)						-	0,68 ***	†	†	0,88 ***	0,92 ***	†	0,65 **	0,70 ***	0,63 **
N _t (KCl)							-	0,64 **	†	0,47 *	†	†	0,45 *	0,46 *	†
Norg _(KCl)								-	†	†	0,46 *	†	†	0,51 *	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	†	†	0,48 *	0,48 *	†
Nmin											-	†	†	†	†
Nmic												-	0,61 **	†	†
pH-Wert _(pH₂O)													-	0,62 **	0,47 *
WG														-	0,55 *
Atmung															-

Tab. A104: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juli 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCl)	Cmic	Nt	N _t (HWL)	N _t (KCl)	Norg _(KCl)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH₂O)	WG	Atmung
Corg	-	0,66 **	0,75 ***	†	0,59 **	0,74 ***	0,51 *	0,56 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	0,60 **	†	†	0,84 ***	0,60 **	0,64 **	0,49 *	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCl)			-	0,57 **	†	0,73 ***	0,76 ***	0,81 ***	†	†	†	0,69 ***	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _t (HWL)						-	0,67 **	0,66 **	†	†	†	†	†	†	†
N _t (KCl)							-	0,86 ***	0,47 *	†	0,55 *	†	†	†	0,53 *
Norg _(KCl)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,66 **	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,75 ***	†	†	†	†
Nmin											-	†	†	†	†
Nmic												-	†	†	†
pH-Wert _(pH₂O)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, **, und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.105: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juli 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-											
Corg _(HWL)		-		0,74 ***								
Corg _(KCP)			-	0,52 *			0,60 **					
Nt					-							
Nt _(HWL)												
Nt _(KCP)												
Norg _(KCP)												
NH ₄ ⁺ -N												
NO ₃ ⁻ -N												
Nmin												
pH-Wert _(qzo)												
WG												

Tab. A.106: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juli 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-											
Corg _(HWL)		-		0,82 ***								
Corg _(KCP)			-	0,48 *								
Nt												
Nt _(HWL)												
Nt _(KCP)												
Norg _(KCP)												
NH ₄ ⁺ -N												
NO ₃ ⁻ -N												
Nmin												
pH-Wert _(qzo)												
WG												

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A107: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im August 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(gwL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _(gwL)	N _(kC)	N _(gC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(gwL)	WG	Atmung
Corg	-	0,73 ***	0,67 **	0,53 *	0,94 ***	0,69 ***	0,55 *	†	†	0,47 *	0,49 †	0,51 *	0,79 ***	†	0,78 ***	†
Corg _(gwL)		-	0,62 **	†	0,79 ***	0,88 ***	0,62 **	†	†	0,49 †	0,53 *	0,53 *	0,70 ***	0,53 *	0,74 ***	†
Corg _(kC)			-	†	0,60 **	0,49 *	0,49 *	0,59 **	†	†	†	†	0,60 **	-0,45 *	†	†
Cmic				-	0,62 **	0,48 *	0,54 *	†	†	†	0,50 *	0,53 *	0,50 *	†	0,65 **	†
Nt					-	0,77 ***	0,61 **	†	†	†	0,58 **	0,58 **	0,76 ***	0,56 **	0,87 ***	0,51 *
N _(gwL)						-	0,77 ***	†	†	†	0,76 ***	0,75 ***	0,82 ***	0,76 ***	0,85 ***	†
N _(kC)							-	†	†	0,73 ***	0,75 ***	0,92 ***	0,80 ***	0,57 **	0,68 **	†
Norg _(kC)								-	†	0,46 *	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									†	-	†	0,58 **	0,64 **	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									†	-	-	0,89 ***	0,66 **	0,66 **	0,76 ***	0,56 *
Nmin									†	-	-	-	0,76 ***	0,56 *	0,74 ***	0,53 *
Nmic									†	-	-	-	-	0,52 *	0,77 ***	†
pH-Wert _(gwL)									†	-	-	-	-	-	0,68 **	†
WG									†	-	-	-	-	-	-	0,66 **
Atmung									†	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A108: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im August 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(gwL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _(gwL)	N _(kC)	N _(gC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(gwL)	WG	Atmung
Corg	-	0,77 ***	†	†	0,83 ***	0,82 ***	0,64 **	0,72 ***	†	0,57 **	†	0,49 *	†	†	†	†
Corg _(gwL)		-	†	†	0,53 *	0,82 ***	0,52 *	0,82 ***	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kC)			-	†	†	†	†	0,54 *	†	†	†	†	-0,52 *	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	0,73 ***	0,50 *	†	†
Nt					-	0,69 ***	0,68 ***	†	†	0,66 **	0,63 **	0,71 ***	†	†	†	†
N _(gwL)						-	0,71 ***	†	†	0,54 *	0,51 *	0,53 *	†	†	†	†
N _(kC)							-	0,86 ***	†	0,79 ***	0,88 ***	0,93 ***	†	†	†	†
Norg _(kC)								-	†	0,69 ***	0,88 ***	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									†	0,54 *	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									†	-	0,60 **	0,76 ***	†	†	†	†
Nmin									†	-	-	0,96 ***	†	†	†	†
Nmic									†	-	-	-	†	†	†	†
pH-Wert _(gwL)									†	-	-	-	-	†	†	†
WG									†	-	-	-	-	†	†	†
Atmung									†	-	-	-	-	†	†	†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A109: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im August 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(q20)	WG
Corg	-	0,67 **	0,69 ***	0,94 ***	0,72 ***	0,56 *	†	†	†	†	0,62 **	†	0,80 ***
Corg _(HWL)		-	0,67 **	0,63 **	0,89 ***	0,48 *	†	†	†	†	0,45 *	†	0,46 *
Corg _(KCC)			-	0,70 ***	0,82 ***	0,48 *	†	†	†	0,49 *	0,54 *	0,66 **	0,58 **
Nt				-	0,73 ***	†	†	†	†	†	0,60 **	0,50 *	0,81 ***
Nt _(HWL)					-	0,63 **	0,50 *	0,67 **	0,61 **	0,89 ***	0,91 ***	0,52 *	0,55 *
Nt _(KCC)						-	0,62 **	†	†	0,51 *	†	†	†
Norg _(KCC)							-	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†	0,44 *
NO ₃ ⁻ -N									-	†	0,88 ***	†	†
Nmin										-	-	†	0,50 *
pH-Wert _(q20)											-	†	0,72 ***
WG												-	-

Tab. A110: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im August 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(q20)	WG
Corg	-	0,70 ***	0,48 *	0,88 ***	0,53 *	†	†	0,69 ***	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	0,54 *	0,55 *	0,69 ***	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	0,49 *	†	†	†	†	†	†	0,62 **	†
Nt				-	0,52 *	†	†	0,61 **	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	0,68 **	†	†	0,58 **	0,73 ***	†	†
Nt _(KCC)						-	†	†	0,88 ***	0,88 ***	†	†
Norg _(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,91 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(q20)											-	†
WG												-

** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.111: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Oktober 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _{t(aWL)}	N _{t(kC)}	N _{org(kC)}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aZO)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,85 ***	†	0,48 *	†	†	0,56 *	0,47 *	0,47 *	0,60 ***	†	†
Corg _(aWL)	-	†	†	†	0,89 ***	†	0,48 *	†	†	0,48 *	0,60 **	0,59 **	†	†	0,56 **
Corg _(kC)	-	-	†	†	†	†	†	0,75 ***	†	†	†	†	†	†	†
Cmic	-	-	-	†	0,51 *	†	0,62 **	†	†	0,59 **	0,55 *	0,58 **	†	†	0,57 **
Nt	-	-	-	-	†	†	0,68 ***	†	†	0,76 ***	0,68 **	0,67 **	†	†	0,62 **
N _{t(aWL)}	-	-	-	-	†	†	0,61 **	†	†	0,70 ***	0,79 ***	0,65 **	†	†	0,73 ***
N _{t(kC)}	-	-	-	-	-	-	-	†	†	0,52 *	0,87 ***	0,54 *	†	†	0,56 *
N _{org(kC)}	-	-	-	-	-	-	-	-	†	0,86 ***	†	†	†	†	0,57 **
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	0,51 *	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97 ***	0,64 **	†	†	0,58 **
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63 **	†	†	0,56 *
Nmic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	0,74 ***
pH-Wert _(aZO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60 **
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47 *
Atmung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. A.112: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Oktober 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(aWL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _{t(aWL)}	N _{t(kC)}	N _{org(kC)}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(aZO)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,87 ***	†	0,52 *	†	†	0,54 *	0,63 **	0,63 **	†	†	†
Corg _(aWL)	-	†	†	†	0,52 *	†	0,68 ***	†	†	†	†	0,58 **	†	†	0,48 *
Corg _(kC)	-	-	†	†	†	†	†	0,64 **	†	†	†	†	†	†	†
Cmic	-	-	-	†	0,69 ***	†	0,46 *	†	†	0,63 **	0,70 ***	0,72 ***	†	†	0,79 ***
Nt	-	-	-	†	†	†	0,61 **	†	†	0,54 *	0,82 ***	0,74 ***	†	†	0,74 ***
N _{t(aWL)}	-	-	-	-	†	†	0,61 **	†	†	0,71 ***	0,64 **	0,74 ***	†	†	0,65 **
N _{t(kC)}	-	-	-	-	†	†	0,64 **	†	†	0,45 *	0,85 ***	0,45 *	†	†	0,60 **
N _{org(kC)}	-	-	-	-	-	-	-	†	†	0,78 ***	†	†	†	†	0,64 **
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55 *	0,48 *	†	†	0,46 *
Nmin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93 ***	0,60 **	†	†	0,71 ***
Nmic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66 **	†	†	0,59 **
pH-Wert _(aZO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	†	†	0,49 *
WG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78 ***
Atmung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,66 **

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A113: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Oktober 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(hwL)	Corg(kCp)	Nt	Nt(hwL)	Nt(kCp)	Norg(kCp)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert(qz0)	WG
Corg	-	0,72 ***	†	0,83 ***	0,84 ***	0,60 **	†	†	0,54 *	0,61 **	†	0,60 **
Corg(hwL)		-	†	0,52 *	0,84 ***	†	†	0,47 *	†	†	†	†
Corg(kCp)			-	†	†	0,56 **	0,72 ***	†	†	†	†	†
Nt				-	0,74 ***	0,79 ***	†	†	0,70 ***	0,72 ***	0,68 **	0,75 ***
Nt(hwL)					-	0,58 **	†	0,50 *	0,61 **	0,64 **	†	0,48 *
Nt(kCp)						-	0,66 **	0,46 *	0,73 ***	0,80 ***	0,60 **	0,65 **
Norg(kCp)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,50 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,96 ***	0,51 *	0,80 ***
Nmin										-	†	0,81 ***
pH-Wert(qz0)											-	0,56 *
WG												-

Tab. A114: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Oktober 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(hwL)	Corg(kCp)	Nt	Nt(hwL)	Nt(kCp)	Norg(kCp)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert(qz0)	WG
Corg	-	0,81 ***	0,47 *	0,88 ***	0,82 ***	0,44 *	†	0,48 *	0,64 **	0,66 **	0,74 ***	†
Corg(hwL)		-	0,57 **	0,80 ***	0,90 ***	0,64 **	†	0,63 **	0,51 *	0,56 *	0,75 ***	†
Corg(kCp)			-	†	0,50 *	0,46 *	0,63 **	†	†	†	0,68 ***	†
Nt				-	0,87 ***	0,51 *	†	0,55 *	0,68 ***	0,70 ***	0,78 ***	†
Nt(hwL)					-	0,76 ***	†	0,56 *	0,71 ***	0,76 ***	0,76 ***	0,45 *
Nt(kCp)						-	0,53 *	†	0,68 ***	0,73 ***	0,48 *	†
Norg(kCp)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	0,59 **	0,64 **	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,98 ***	†	0,57 **
Nmin										-	†	0,51 *
pH-Wert(qz0)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.115: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im November 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Cor _{g(HWL)}	Cor _{g(KC)}	Cmic	Nt	N _{t(HWL)}	N _{t(KC)}	N _{org(KC)}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _{qu0}	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,68 **	0,72 ***	0,62 **	†	0,52 **	0,67 **	0,68 ***	0,58 **	†	†	†
Cor _{g(HWL)}	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cor _{g(KC)}	-	-	†	†	†	†	†	0,54 *	†	†	†	†	†	†	†
Cmic	-	-	-	†	0,58 **	†	†	†	†	†	†	0,76 ***	0,45 *	0,49 *	0,58 **
Nt	-	-	-	†	†	†	†	†	0,84 ***	†	0,68 **	0,79 ***	0,51 *	0,71 ***	0,59 **
N _{t(HWL)}	-	-	-	†	†	†	†	†	0,45 *	0,62 **	0,64 **	0,64 **	†	†	†
N _{t(KC)}	-	-	-	†	†	†	†	†	0,90 ***	0,77 ***	0,95 ***	†	0,68 ***	0,47 *	†
N _{org(KC)}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	†	†	†	†	†	†	0,58 **	0,89 ***	0,47 *	0,55 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	0,85 ***	0,76 ***	0,62 **	0,64 **	†
Nmin	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	0,69 ***	0,62 **	0,55 *	†
Nmic	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,62 **	0,58 **	†
pH-Wert _{qu0}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,62 **	0,58 **
WG	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,58 **	†
Atmung	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

Tab. A.116: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im November 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Cor _{g(HWL)}	Cor _{g(KC)}	Cmic	Nt	N _{t(HWL)}	N _{t(KC)}	N _{org(KC)}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _{qu0}	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,84 ***	0,71 ***	0,52 *	†	†	0,62 **	0,62 **	0,61 **	†	0,49 *	0,78 ***
Cor _{g(HWL)}	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cor _{g(KC)}	-	-	†	†	†	†	†	0,73 ***	†	†	†	†	†	†	†
Cmic	-	-	-	†	0,81 ***	-0,47 *	†	†	†	0,50 *	0,61 **	0,70 ***	0,51 *	†	0,61 **
Nt	-	-	-	†	†	†	†	†	†	0,65 **	0,61 **	0,74 ***	0,51 *	0,69 ***	0,67 ***
N _{t(HWL)}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	0,49 *	0,52 *	†	†	†	†
N _{t(KC)}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	0,93 ***	0,94 ***	†	†	†	†
N _{org(KC)}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	†	†	†	†	†	†	0,46 *	0,56 **	0,53 *	†	0,50 *	†
Nmin	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	0,46 *	†	0,51 *	0,45 *
Nmic	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,44 *	0,74 ***
pH-Wert _{qu0}	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
WG	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Atmung	-	-	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A117: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im November 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(hwL)	Corg(kC)	Nt	Nt(hwL)	Nt(kC)	Norg(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(q20)	WG
Corg	-	0,57 **	0,67 **	0,85 ***	0,48 *	†	0,59 **	0,52 *	†	†	†	0,58 **
Corg(hwL)		-	†	†	0,70 ***	†	0,62 **	†	†	†	†	†
Corg(kC)			-	0,50 *	†	†	0,52 *	0,57 **	†	†	†	†
Nt				-	†	†	†	0,48 *	†	0,47 *	0,59 **	0,80 ***
Nt(hwL)					-	†	0,70 ***	†	†	†	†	†
Nt(kC)						-	†	0,59 **	0,88 ***	0,94 ***	†	0,53 *
Norg(kC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,50 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,98 ***	†	0,61 **
Nmin										-	†	0,62 **
pH-Wert _(q20)											-	0,48 *
WG												-

Tab. A118: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im November 1997 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(hwL)	Corg(kC)	Nt	Nt(hwL)	Nt(kC)	Norg(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(q20)	WG
Corg	-	0,57 **	0,73 ***	0,72 ***	0,67 **	†	0,70 ***	†	†	†	†	†
Corg(hwL)		-	0,45 *	†	0,69 ***	†	0,57 **	†	†	†	†	†
Corg(kC)			-	0,67 **	0,46 *	†	0,68 **	†	†	†	0,51 *	†
Nt				-	†	†	0,52 *	†	†	†	†	†
Nt(hwL)					-	†	0,52 *	†	0,45 *	0,48 *	†	†
Nt(kC)						-	0,58 **	†	0,86 ***	0,87 ***	†	†
Norg(kC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,96 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(q20)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.119: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im März 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(gw/L)	Corg(cc)	Cmic	Nt	N(gw/L)	N(cc)	Norg(cc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert(gw)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	0,60 **	0,80 ***	†	†	†	†	0,62 **	0,51 *	0,60 **	†	0,60 **	†
Corg(gw/L)		-	0,51 *	†	†	0,86 ***	0,51 *	†	0,45 *	0,60 **	0,55 *	0,51 *	0,64 **	0,46 *	†
Corg(cc)			-	†	†	0,51 *	0,64 **	0,56 *	0,57 **	†	0,49 *	†	0,50 *	†	†
Cmic				-	0,76 ***	0,63 **	0,66 **	†	0,69 ***	0,77 ***	0,75 ***	0,96 ***	0,72 ***	0,70 ***	0,45 *
Nt					-	0,47 *	†	†	†	0,81 ***	0,59 **	0,76 ***	0,57 **	0,86 ***	†
N(gw/L)						-	0,74 ***	†	0,69 ***	0,73 ***	0,77 ***	0,74 ***	0,76 ***	0,56 *	0,54 *
N(cc)							-	†	0,97 ***	0,68 **	0,94 ***	0,78 ***	0,59 **	0,47 *	0,51 *
Norg(cc)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,69 ***	0,95 ***	0,80 ***	0,57 **	0,54 *	0,45 *
NO ₃ ⁻ -N										-	0,86 ***	0,85 ***	0,70 ***	0,84 ***	0,46 *
Nmin											-	0,86 ***	0,64 **	0,65 **	0,49 *
Nmic												-	0,80 ***	0,72 ***	0,57 **
pH-Wert(gw)													-	0,72 ***	0,57 **
WG														-	0,57 **
Atmung															-

Tab. A.120: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im März 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(gw/L)	Corg(cc)	Cmic	Nt	N(gw/L)	N(cc)	Norg(cc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert(gw)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	0,55 *	0,88 ***	0,61 **	0,60 **	†	0,53 *	0,68 ***	0,67 **	0,76 ***	0,60 **	0,61 **	0,68 ***
Corg(gw/L)		-	†	†	†	0,54 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg(cc)			-	0,47 *	†	0,63 **	0,77 ***	0,73 ***	0,74 ***	0,49 *	0,67 **	0,67 **	0,57 **	†	0,49 *
Cmic				-	0,78 ***	0,45 *	0,58 **	†	0,50 *	0,74 ***	0,69 ***	0,88 ***	0,75 ***	0,70 ***	0,66 **
Nt					-	0,49 *	0,59 **	†	0,46 *	0,87 ***	0,74 ***	0,75 ***	0,67 **	0,87 ***	0,50 *
N(gw/L)						-	0,84 ***	0,70 ***	0,67 ***	0,52 *	0,64 **	0,60 **	0,53 *	†	0,52 *
N(cc)							-	0,72 ***	0,83 ***	0,77 ***	0,88 ***	0,71 ***	0,80 ***	0,46 *	0,47 *
Norg(cc)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,63 **	0,88 ***	0,76 ***	0,67 **	†	0,60 **
NO ₃ ⁻ -N										-	0,90 ***	0,76 ***	0,79 ***	0,78 ***	0,45 *
Nmin											-	0,82 ***	0,82 ***	0,65 **	0,53 *
Nmic												-	0,71 ***	0,63 ***	0,75 ***
pH-Wert(gw)													-	0,66 **	0,45 *
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A121: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im März 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(dwL)	Corg(kcP)	Nt	Nt(dwL)	Nt(kcP)	Norg(kcP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	Nmin	pH-Wert(dwz)	WG
Corg	-	0,82 ***	0,49 *	0,89 ***	0,85 ***	0,66 **	+	+	0,67 **	+	0,47 *	0,59 **
Corg(dwL)		-	+	0,65 **	0,91 ***	+	+	+	0,46 *	0,54 *	+	+
Corg(kcP)			-	+	0,52 *	0,48 *	+	0,62 **	+	0,54 *	+	0,51 *
Nt				-	0,75 ***	0,82 ***	+	+	0,81 ***	0,85 ***	0,56 *	0,80 ***
Nt(dwL)					-	0,63 **	+	+	0,63 **	0,73 ***	+	0,51 *
Nt(kcP)						-	+	+	0,86 ***	0,94 ***	0,59 **	0,88 ***
Norg(kcP)							-	+	+	+	+	+
NH ₄ ⁺ -N								-	+	+	+	+
NO ₃ -N									-	0,94 ***	0,48 *	0,76 ***
Nmin										-	0,54 *	0,83 ***
pH-Wert(dwz)											-	0,56 **
WG												-

Tab. A122: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im März 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(dwL)	Corg(kcP)	Nt	Nt(dwL)	Nt(kcP)	Norg(kcP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	Nmin	pH-Wert(dwz)	WG
Corg	-	0,61 **	+	0,78 **	+	0,55 *	+	+	0,55 *	0,54 *	+	0,69 ***
Corg(dwL)		-	+	0,58 **	+	+	+	+	+	+	+	0,49 *
Corg(kcP)			-	0,58 **	0,57 **	0,61 **	+	+	0,54 *	0,59 **	0,85 ***	+
Nt				-	0,72 ***	0,62 **	0,73 **	+	0,65 **	0,66 **	0,61 **	0,78 ***
Nt(dwL)					-	0,64 **	+	+	0,71 ***	0,71 ***	0,60 **	0,62 **
Nt(kcP)						-	0,85 ***	+	0,97 ***	0,98 ***	0,48 *	+
Norg(kcP)							-	+	0,83 ***	0,78 ***	+	+
NH ₄ ⁺ -N								-	+	+	+	+
NO ₃ -N									-	0,99 ***	+	0,56 *
Nmin										-	0,47 *	0,55 *
pH-Wert(dwz)											-	+
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.125: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im April 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(p20)	WG
Corg	-	0,79 ***	0,49 *	0,95 ***	0,90 ***	0,86 ***	0,71 ***	0,85 ***	0,76 ***	0,83 ***	0,48 *	0,81 ***
Corg _(HWL)		-	†	0,69 ***	0,88 ***	0,59 **	0,59 **	0,72 ***	0,45 *	0,59 **	†	0,55 *
Corg _(KCC)			-	0,61 **	0,49 *	0,66 **	0,67 **	†	0,54 *	0,57 **	†	†
Nt				-	0,85 ***	0,93 ***	0,70 ***	0,82 ***	0,86 ***	0,92 ***	0,48 *	0,83 ***
Nt _(HWL)					-	0,80 ***	0,70 ***	0,83 ***	0,67 **	0,79 ***	†	0,78 ***
Nt _(KCC)						-	0,83 ***	0,77 ***	0,91 ***	0,95 ***	†	0,86 ***
Norg _(KCC)							-	0,61 **	0,60 **	0,68 ***	†	0,76 ***
NH ₄ ⁺ -N								-	0,66 **	0,78 ***	†	0,60 **
NO ₃ ⁻ -N									-	0,96 ***	0,45 *	0,74 ***
Nmin										-	†	0,80 ***
pH-Wert _(p20)											-	†
WG												-

Tab. A.126: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im April 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(p20)	WG
Corg	-	†	0,71 ***	0,87 ***	0,67 **	0,82 ***	†	†	0,85 ***	0,84 ***	0,49 *	0,49 *
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	0,69 ***	0,60 **	0,75 ***	†	†	0,63 **	0,60 **	0,48 *	0,54 *
Nt				-	0,79 ***	0,82 ***	0,55 *	†	0,87 ***	0,87 ***	0,48 *	†
Nt _(HWL)					-	0,82 ***	0,52 *	†	0,87 ***	0,87 ***	0,52 *	†
Nt _(KCC)						-	0,65 **	†	0,89 ***	0,85 ***	†	0,47 *
Norg _(KCC)							-	†	0,49 *	0,49 *	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,45 *	†	0,55 *
NO ₃ ⁻ -N									-	0,99 ***	0,57 **	†
Nmin										-	0,58 **	†
pH-Wert _(p20)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A127: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(gwl)	Corg _(kcc)	Cmic	Nt	N _(gwl)	N _(kcc)	Norg _(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nimc	pH-Wert _(gwl)	WG	Atmung
Corg	†														
Corg _(gwl)	-	†				0,62 *									
Corg _(kcc)			†			0,84 ***							0,54 *		†
Cmic				†					0,78 ***						†
Nt					†										†
N _(gwl)						†									†
N _(kcc)							†								†
Norg _(kcc)								†							†
NH ₄ ⁺ -N									†						†
NO ₃ ⁻ -N										†					†
Nmin											†				†
Nimc												†			†
pH-Wert _(gwl)													†		†
WG														†	†
Atmung															†

Tab. A128: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(gwl)	Corg _(kcc)	Cmic	Nt	N _(gwl)	N _(kcc)	Norg _(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nimc	pH-Wert _(gwl)	WG	Atmung
Corg	†														
Corg _(gwl)	-	†													
Corg _(kcc)			†												
Cmic				†											
Nt					†										
N _(gwl)						†									
N _(kcc)							†								
Norg _(kcc)								†							
NH ₄ ⁺ -N									†						
NO ₃ ⁻ -N										†					
Nmin											†				
Nimc												†			
pH-Wert _(gwl)													†		
WG														†	
Atmung															†

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A129: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-											
Corg _(HWL)		†	0,76 *	0,98 ***	†	†	†	†	†	†	0,93 ***	0,81 *
Corg _(KC)			†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				0,71 *	†	0,79 *	†	†	†	†	0,88 **	0,83 *
Nt _(HWL)				-	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KC)					-	-	0,86 **	†	0,90 **	†	†	†
Norg _(KC)							-	0,88 **	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	1,00 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qz0)											†	†
WG												0,86 **

Tab. A130: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-											
Corg _(HWL)		†		0,83 *	0,81 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KC)			†	†	0,74 *	†	†	†	†	†	†	†
Nt				†	†	†	†	†	†	†	0,83 *	†
Nt _(HWL)				-	0,77 *	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KC)					-	-	0,83 *	†	†	†	†	†
Norg _(KC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,98 ***	†	0,74 *
Nmin										-	†	0,71 *
pH-Wert _(qz0)											†	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.131: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	CorGawW	CorGkC	Cmic	Nt	N(gaw)	N(kC)	Norg(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH)	WG	Atmung
Corg	-	0,63 **	0,59 *	†	0,93 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
CorGawW		-	†	0,57 *	0,64 **	0,88 ***	†	†	†	0,57 *	†	0,69 **	0,54 *	†	0,57 *
CorGkC			-	†	†	†	0,67 **	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	0,57 *	†	†	†	0,76 ***	0,54 *	0,88 ***	0,71 **	†	0,66 **
Nt					-	†	†	†	†	†	0,54 *	0,70 **	0,55 *	†	0,53 *
N(gaw)						-	0,59 *	†	†	0,67 **	0,93 ***	0,68 **	0,46 *	†	0,57 *
N(kC)							-	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg(kC)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,66 **	0,84 ***	0,62 *	†	0,68 **
NO ₃ ⁻ -N										-	†	0,73 **	†	†	0,58 *
Nmin											-	†	†	†	0,79 ***
Nmic												-	†	†	0,71 **
pH-Wert _(pH)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A.132: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	CorGawW	CorGkC	Cmic	Nt	N(gaw)	N(kC)	Norg(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(pH)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	0,69 **	0,81 ***	0,77 ***	0,55 *	†	†	0,59 *	†	0,58 *	†	†	†
CorGawW		-	0,53 *	†	†	0,75 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†
CorGkC			-	†	†	†	0,60 *	0,79 ***	0,51 *	†	†	0,69 **	†	†	†
Cmic				-	0,62 *	0,55 *	0,57 *	0,55 *	†	0,73 **	0,78 ***	0,77 ***	0,60 *	†	†
Nt					-	0,53 *	0,50 *	†	0,52 *	0,65 **	0,65 **	0,54 *	†	†	†
N(gaw)						-	0,71 **	†	0,57 *	0,59 *	0,71 **	0,62 *	†	†	†
N(kC)							-	0,74 **	0,90 ***	0,53 *	†	†	†	†	†
Norg(kC)								-	0,57 *	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,55 *	0,78 ***	0,67 **	0,56 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,92 ***	0,86 ***	0,80 ***	0,64 **	0,52 *
Nmin											-	0,90 ***	0,81 ***	0,63 **	0,51 *
Nmic												-	0,82 ***	0,66 **	0,56 *
pH-Wert _(pH)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A133: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Nt	Nt _(awL)	Nt _(kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	0,90 **	0,90 **	0,71 *	0,81 *	0,90 **	†	†	†	0,88 **	0,88 **
Corg _(awL)		-	0,81 *	†	0,88 **	†	0,71 *	†	†	†	†	†
Corg _(kC)			-	0,74 *	0,79 *	0,76 *	0,81 *	†	†	†	0,90 **	†
Nt				-	0,43 *	†	0,88 **	†	†	†	0,79 *	0,98 ***
Nt _(awL)					-	†	†	†	†	†	0,74 *	†
Nt _(kC)						-	0,86 **	0,71 *	†	0,79 *	†	0,74 *
Norg _(kC)							-	†	†	†	0,71 *	0,86 **
NH ₄ ⁺ -N								-	0,74 *	0,86 **	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,95 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qzo)											-	-0,76 *
WG												-

Tab. A134: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Nt	Nt _(awL)	Nt _(kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	†	0,95 ***	0,86 **	†	†	†	†	†	0,75 *	†
Corg _(awL)		-	0,71 *	†	0,81 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,71 *	†	†	†	†	†	0,78 *	†
Nt _(awL)					-	†	†	†	†	†	0,73 *	†
Nt _(kC)						-	†	†	†	†	†	†
Norg _(kC)							-	†	0,93 ***	0,93 ***	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,93 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.135: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _{gw}	Corg _{kc}	Cmic	Nt	N _{gw}	N _{kc}	Norg _{kc}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _{gw}	WG	Atmung
Corg	-	†	0,73 **	0,54 *	0,94 ***	†	0,58 *	0,65 **	†	0,50 *	†	0,52 *	0,55 *	†	†
Corg _{gw}		-	†	†	†	0,96 ***	†	†	†	†	†	†	†	0,51 *	†
Corg _{kc}			-	0,79 ***	0,78 ***	†	0,53 *	0,61 *	†	†	0,53 *	0,75 ***	0,55 *	†	0,66 **
Cmic				-	0,60 *	†	0,51 *	†	†	0,63 **	0,66 **	0,95 ***	0,71 **	0,74 **	0,76 ***
Nt					-	†	0,54 *	0,55 *	†	0,54 *	0,50 *	0,54 *	0,53 *	†	†
N _{gw}						-	†	†	†	†	†	†	†	0,56 *	†
N _{kc}							-	0,72 **	†	0,78 ***	0,88 ***	0,52 *	0,68 **	†	†
Norg _{kc}								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,89 ***	0,54 *	0,65 **	†	†
Nmin											-	0,58 *	0,62 *	†	†
Nmic												-	0,75 ***	0,81 ***	0,82 ***
pH-Wert _{gw}													-	†	†
WG														-	0,82 ***
Atmung															-

Tab. A.136: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _{gw}	Corg _{kc}	Cmic	Nt	N _{gw}	N _{kc}	Norg _{kc}	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _{gw}	WG	Atmung
Corg	-	0,86 ***	0,80 ***	0,60 *	0,84 ***	0,91 ***	0,79 ***	0,74 **	0,50 *	†	†	0,59 *	0,60 *	†	†
Corg _{gw}		-	0,70 **	0,67 **	0,64 **	0,97 ***	0,62 **	0,58 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _{kc}			-	0,53 *	0,74 **	0,73 **	0,79 ***	0,81 ***	0,53 *	†	†	0,70 **	0,58 *	0,50 *	†
Cmic				-	0,66 **	0,64 **	†	†	0,68 **	†	0,66 **	†	0,86 ***	†	0,52 *
Nt					-	0,73 **	0,76 ***	0,57 *	0,72 **	†	0,57 *	†	†	†	†
N _{gw}						-	0,75 ***	0,66 **	0,56 *	†	†	†	0,64 **	†	†
N _{kc}							-	0,82 ***	0,56 *	†	†	†	†	†	†
Norg _{kc}								-	†	0,58 **	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	0,55 *	†	0,65 **	0,52 *	†
NO ₃ ⁻ -N										-	†	†	0,66 **	†	†
Nmin											-	†	0,62 **	†	0,65 **
Nmic												-	0,52 *	0,52 *	0,64 **
pH-Wert _{gw}													-	†	†
WG														-	0,69 **
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.137: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	0,83 *	†	0,83 *	0,86 **	†	†	†	†	†	†	0,71 *
Corg _(HWL)		-	†	†	0,98 ***	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	0,76 *	†	0,71 *	†	0,88 **	†	0,71 *	†	0,79 *
Nt				-	†	†	†	†	†	†	0,79 *	0,88 **
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KCC)						-	0,95 ***	0,81 *	0,71 *	0,95 ***	†	†
Norg _(KCC)							-	0,71 *	†	0,86 **	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,81 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,81 *	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

Tab. A.138: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	0,71 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	0,81 *	0,79 *	0,88 **	0,86 **	†	†	0,88 **	0,83 *	†	0,71 *
Corg _(KCC)			-	0,76 *	†	†	†	†	0,83 *	0,76 *	0,90 **	†
Nt				-	†	†	†	†	0,86 **	0,83 *	0,74 *	†
Nt _(HWL)					-	0,86 **	†	†	0,74 *	0,86 **	0,74 *	0,83 *
Nt _(KCC)						-	0,89 **	†	†	0,79 *	†	0,76 *
Norg _(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,76 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,90 **	0,88 **	†
Nmin										-	0,81 *	0,74 *
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.139: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(qwL)	Corg(kcc)	Cmic	Ni	N(qwL)	N(kcc)	Norg(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert(qwz)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,97 ***	†	0,53 *	0,59 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg(qwL)		-	†	0,58 *	†	0,74 **	0,57 *	†	†	0,54 *	0,57 *	†	†	†	0,57 *
Corg(kcc)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	0,79 ***	0,66 **	0,54 *	†	0,81 ***	0,81 ***	0,88 ***	0,63 **	0,85 ***	0,82 ***
Ni					-	†	†	†	†	†	†	†	0,50 *	†	†
Ni(qwL)						-	0,74 **	†	†	0,81 ***	0,81 ***	0,71 **	†	0,78 ***	0,73 **
Ni(kcc)							-	0,58 *	†	0,83 ***	0,86 ***	0,71 **	0,70 **	0,70 **	0,66 **
Norg(kcc)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,58 *	0,67 **	†	†	0,57 *	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,98 ***	0,87 ***	0,76 ***	0,92 ***	0,80 ***
Nmin											-	0,86 ***	0,69 **	0,92 ***	0,85 ***
Nmic												-	0,76 ***	0,85 ***	0,75 ***
pH-Wert(qwz)													-	†	†
WG														-	0,87 ***
Atmung															-

Tab. A.140: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg(qwL)	Corg(kcc)	Cmic	Ni	N(qwL)	N(kcc)	Norg(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert(qwz)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	0,93 ***	0,67 **	0,81 ***	0,68 **	†	†	0,76 ***	0,63 **	†	†	0,61 *
Corg(qwL)		-	†	†	†	0,80 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg(kcc)			-	†	†	†	†	0,64 **	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	0,88 ***	0,72 **	0,57 *	†	0,75 ***	0,80 ***	0,88 ***	0,65 **	0,83 ***	0,61 *
Ni					-	†	0,79 ***	0,57 *	†	0,88 ***	0,78 ***	0,80 ***	0,60 *	0,76 ***	0,67 **
Ni(qwL)						-	0,56 *	†	†	0,53 *	0,57 *	†	†	0,61 *	†
Ni(kcc)							-	0,79 ***	†	0,77 ***	0,90 ***	0,64 **	†	0,53 *	†
Norg(kcc)								-	†	†	0,51 *	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,84 ***	0,74 **	0,59 *	0,71 **	0,52 *
Nmin											-	0,75 ***	0,55 *	0,71 **	†
Nmic												-	0,81 ***	0,80 ***	0,59 *
pH-Wert(qwz)													-	0,54 *	†
WG														-	0,55 *
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A141: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(pzo)	WG
Corg	-	†	†	1,00 ***	0,74 *	†	†	†	†	†	0,74 *	0,98 ***
Corg _(HWL)		-	0,83 *	†	0,93 ***	0,83 *	†	†	0,81 *	0,81 *	†	†
Corg _(KCP)			-	†	0,88 **	0,93 ***	†	†	†	0,74 *	†	†
Nt				-	0,74 *	†	†	†	†	†	0,74 *	0,98 ***
Nt _(HWL)					-	0,95 ***	†	†	0,83 *	0,90 **	†	0,71 *
Nt _(KCP)						-	0,76 *	†	†	0,86 **	†	†
Norg _(KCP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,90 **	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(pzo)											-	0,79 *
WG												-

Tab. A142: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 40)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCP)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCP)	Norg _(KCP)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(pzo)	WG
Corg	-	0,83 *	0,88 **	0,85 **	†	†	†	†	†	†	0,83 *	†
Corg _(HWL)		-	†	0,92 **	0,93 ***	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCP)			-	†	†	0,88 **	†	†	†	†	0,74 *	†
Nt				-	0,91 **	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	0,74 *
Nt _(KCP)						-	†	†	0,74 *	0,86 **	†	†
Norg _(KCP)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,76 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,83 *	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(pzo)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.143: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kCC)	Cmic	Nt	N _(awL)	N _(kCC)	Norg _(kCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(awL)	WG	Atmung
Corg	-	†	0,83 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kCC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	-0,89 *	†	†	†	-0,89 *	†	†	†	0,84 *	†
Nt					-	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(kCC)							-	0,94 **	0,89 *	1,00 ***	0,94 **	-0,94 **	-0,93 **	-0,96 **	†
Norg _(kCC)								-	0,83 *	0,94 **	0,89 *	-0,89 *	-0,87 *	-0,96 **	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,89 *	0,94 **	-0,94 **	-0,99 ***	-0,96 **	†
NO ₃ ⁻ -N										-	0,94 **	-0,94 **	-0,93 **	-0,96 **	†
Nmin											-	-1,00 ***	-0,93 **	-0,96 **	†
Nmic												-	0,93 **	0,96 **	†
pH-Wert _(awL)													-	0,97 **	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A.144: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kCC)	Cmic	Nt	N _(awL)	N _(kCC)	Norg _(kCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(awL)	WG	Atmung
Corg	-	†	†	†	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	†	1,00 ***	†	†	†	0,89 *	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
Corg _(kCC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	0,83 *	†	†
Cmic				-	†	0,94 **	†	†	†	0,89 *	0,89 *	†	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _(kCC)							-	1,00 ***	0,89 *	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
Norg _(kCC)								-	0,89 *	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	1,00 ***	†	†	†	†
Nmin											-	†	†	†	†
Nmic												-	†	†	†
pH-Wert _(awL)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A145: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	†	0,94 **	†	1,00 ***	1,00 ***	†	0,93 **	0,94 **	†	0,96 **
Corg _(HWL)		-	†	†	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KC)			-	†	†	0,94 **	0,94 **	†	0,93 **	0,89 *	0,94 **	0,96 **
Nt				-	†	†	†	0,87 *	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	†	1,00 ***	†	0,93 **	0,94 **	†	0,96 **
Nt _(KC)						-	-	†	0,93 **	0,94 **	†	0,96 **
Norg _(KC)							-	†	†	†	†	0,96 **
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	0,81 *	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,99 ***	†	0,97 **
Nmin										-	†	0,96 **
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

Tab. A146: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juni 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	†	0,89 *	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KC)						-	0,94 **	0,94 **	1,00 ***	1,00 ***	†	†
Norg _(KC)							-	0,89 *	0,94 **	0,94 **	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	0,94 **	0,94 **	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	1,00 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.147: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _t (awL)	N _t (kC)	N _t (kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(p20)	WG	Atmung
Corg	-	0,83 *	†	0,89 *	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	†	0,83 *	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kC)			-	†	†	0,83 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†	0,94 **	†	†	†
Nt					-	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _t (awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _t (kC)							-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg _(kC)								-	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									†	-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									†	†	-	†	†	†	†	†
Nmin									†	†	†	-	†	†	†	†
Nmic									†	†	†	†	-	†	†	†
pH-Wert _(p20)									†	†	†	†	†	-	†	†
WG									†	†	†	†	†	†	-	†
Atmung									†	†	†	†	†	†	†	-

Tab. A.148: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kC)	Cmic	Nt	N _t (awL)	N _t (kC)	N _t (kC)	Norg _(kC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(p20)	WG	Atmung
Corg	-	0,89 *	†	†	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	†	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kC)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	0,83 *	†	†	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _t (awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
N _t (kC)							-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg _(kC)								-	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									†	-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									†	†	-	†	†	†	†	†
Nmin									†	†	†	-	†	†	†	†
Nmic									†	†	†	†	-	†	†	†
pH-Wert _(p20)									†	†	†	†	†	-	†	†
WG									†	†	†	†	†	†	-	†
Atmung									†	†	†	†	†	†	†	-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A 149: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	†	1,00 ***	†	0,94 **	0,94 **	0,93 **	†	0,89 *	†	0,96 **
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KC)			-	†	†	†	†	0,81 *	†	†	†	†
Nt				-	0,94 **	0,89 *	0,89 **	0,93 **	†	0,89 *	†	0,96 **
Nt _(HWL)					-	0,89 *	0,89 **	†	†	†	†	0,84 *
Nt _(KC)						-	1,00 ***	0,93 **	†	0,83 *	†	0,96 **
Norg _(KC)							-	0,93 **	†	0,83 *	†	0,96 **
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,93 **	†	0,97 **
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	†
Nmin										-	†	0,96 **
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

Tab. A 150: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Juli 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KC)	Norg _(KC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qzo)	WG
Corg	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KC)			-	†	†	0,86 *	0,94 **	†	†	†	†	0,96 **
Nt				-	0,94 **	†	†	†	0,94 **	0,94 **	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	1,00 ***	1,00 ***	†	†
Nt _(KC)						-	0,94 **	†	†	†	†	†
Norg _(KC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	1,00 ***	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qzo)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.151: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kCC)	Cmic	Nt	Nt _(awL)	Nt _(kCC)	Norg _(kCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(q20)	WG	Atmung
Corg	-	0,94 **	†	†	0,83 *	†	1,00 ***	1,00 ***	†	1,00 ***	0,94 **	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	†	0,89 *	0,94 **	1,00 ***	0,94 **	†	1,00 ***	0,83 *	†	†	†	†
Corg _(kCC)			-	†	0,83 *	†	†	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	0,83 *	†	†	†	†	†	†	0,94 **	†	0,96 **	0,94 **
Nt					-	†	0,83 *	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(awL)						-	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(kCC)							-	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†
Norg _(kCC)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	†	†	†	†	†
Nmin											-	†	†	†	†
Nmic												-	†	†	†
pH-Wert _(q20)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A.152: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(awL)	Corg _(kCC)	Cmic	Nt	Nt _(awL)	Nt _(kCC)	Norg _(kCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(q20)	WG	Atmung
Corg	-	†	1,00 ***	†	1,00 ***	†	†	†	†	0,94 **	†	†	†	†	†
Corg _(awL)		-	†	0,89 *	†	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(kCC)			-	†	1,00 ***	†	†	†	†	0,94 **	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	0,89 *	†	†	†	†	†	0,89 *	†	0,72 *	†
Nt					-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(awL)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(kCC)							-	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg _(kCC)								-	†	†	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	†	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N										-	†	†	†	†	†
Nmin											-	†	†	†	†
Nmic												-	†	†	†
pH-Wert _(q20)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikante Beziehung

Tab. A153: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(H2O)	WG
Corg	-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	†	†	†	†	0,89 *	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	0,83 *	†	†	†	0,89 *	†	†	0,84 *
Nt				-	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KCC)						-	†	0,94 **	†	†	†	†
Norg _(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,83 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	0,96 **
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(H2O)											-	†
WG												-

Tab. A154: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im August 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(H2O)	WG
Corg	-	0,94 **	1,00 ***	†	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	0,94 **	0,86 *	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Nt				-	0,89 *	0,83 *	0,83 *	†	†	†	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	†	†	†
Nt _(KCC)						-	1,00 ***	†	†	†	†	†
Norg _(KCC)							-	†	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	0,94 **	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(H2O)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.155: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (0-10 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg(w/L)	Corg(kcc)	Cmic	Nt	Nt(w/L)	Nt(kcc)	Norg(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(quzo)	WG	Atmung
Corg	-	†							†	0,94 **	0,94 *	†	-0,83 *	†	†
Corg(w/L)		-	†	†	0,94 **	0,86 *	0,94 **	0,86 *	†	†	†	†	†	†	†
Corg(kcc)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	0,86 *	†	†	†
Nt					-	0,94 **	1,00 ***	0,94 **	†	1,00 ***	1,00 ***	†	†	†	0,83 *
Nt(w/L)						-	0,94 **	1,00 ***	†	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
Nt(kcc)							-	0,94 **	†	1,00 ***	0,94 **	†	†	†	0,83 *
Norg(kcc)								-	†	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†
NH ₄ ⁺ -N									-	†	1,00 ***	†	†	†	0,83 *
NO ₃ ⁻ -N										-	1,00 ***	†	†	†	0,83 *
Nmin											-	†	†	†	0,83 *
Nmic												-	†	†	†
pH-Wert _(quzo)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

Tab. A.156: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (10-30 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg(w/L)	Corg(kcc)	Cmic	Nt	Nt(w/L)	Nt(kcc)	Norg(kcc)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	Nmic	pH-Wert _(quzo)	WG	Atmung
Corg	-	†							†	†	†	†	†	†	†
Corg(w/L)		-	†	†	0,89 *	0,89 *	1,00 ***	†	†	†	†	†	†	†	†
Corg(kcc)			-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Cmic				-	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt					-	0,89 *	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt(w/L)						-	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Nt(kcc)							-	†	†	†	†	†	†	†	†
Norg(kcc)								-	0,93 **	0,94 **	0,94 **	†	†	†	0,96 **
NH ₄ ⁺ -N									-	0,94 **	0,94 **	†	†	†	0,96 **
NO ₃ ⁻ -N										-	0,87 *	†	†	†	0,97 **
Nmin											-	†	†	†	0,96 **
Nmic												-	†	†	0,96 **
pH-Wert _(quzo)													-	†	†
WG														-	†
Atmung															-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
† symbolisiert keine signifikanten Beziehungen

Tab. A.157: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (30-60 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-	1,00 ***	†	0,81 *	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(HWL)		-	†	0,81 *	0,94 **	†	†	†	†	†	†	†
Corg _(KCC)			-	†	†	†	0,83 *	†	†	†	†	†
Nt				-	0,90 *	0,87 *	0,87 *	0,93 **	†	0,93 **	†	†
Nt _(HWL)					-	†	†	†	†	0,89 *	†	†
Nt _(KCC)						-	1,00 ***	0,94 **	†	0,89 *	†	†
Norg _(KCC)							-	0,94 **	†	0,89 *	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	0,94 *	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qz0)											-	†
WG												-

Tab. A.158: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen ausgewählten chemischen und mikrobiologischen Parametern im Boden (60-100 cm) im Oktober 1998 nach Spearman (n = 18)

	Corg	Corg _(HWL)	Corg _(KCC)	Nt	Nt _(HWL)	Nt _(KCC)	Norg _(KCC)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Nmin	pH-Wert _(qz0)	WG
Corg	-	0,94 **	0,94 **	0,94 **	†	†	†	†	†	†	0,93 **	-0,95 **
Corg _(HWL)		-	1,00 ***	0,83 *	†	†	†	†	†	†	0,81 *	-0,96 **
Corg _(KCC)			-	0,83 *	†	†	†	†	†	†	0,81 *	-0,96 **
Nt				-	†	†	†	†	†	†	0,99 ***	-0,84 *
Nt _(HWL)					-	0,83 *	0,83 *	†	†	†	†	†
Nt _(KCC)						-	1,00 ***	0,94 **	†	0,83 *	†	†
Norg _(KCC)							-	0,94 **	†	0,83 *	†	†
NH ₄ ⁺ -N								-	†	†	†	†
NO ₃ ⁻ -N									-	†	†	†
Nmin										-	†	†
pH-Wert _(qz0)											-	†
WG												-

*, ** und *** symbolisieren Signifikanz auf p < 0,05, 0,01 bzw. 0,001 Niveau
 † symbolisiert keine signifikanten Beziehungen