

Mark Overesch

**Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz
in Sandböden Niedersachsens**

**Indikatoren umsetzbarer organischer Substanz,
Bilanzierung und Bodenprozessmodellierung
auf Bodendauerbeobachtungs- und
Kompostversuchsflächen**

Band 1

Vechta

2007

Shaker Verlag
Aachen 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Hochschule Vechta, Diss., 2007

© Titelbild: Karin Geyer

Copyright Shaker Verlag 2007

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6580-9

ISSN 1865-3847

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die Abteilung Geo- und Agrarökologie des ISPA der Hochschule Vechta hat seit 2002 ihren Forschungsschwerpunkt im Bereich der Bodenkunde. Im Rahmen der neuen Schriftenreihe „Geo- und Agrarökologie“ sollen Ergebnisse dieser Forschungen von nun an ausführlich vorgestellt werden. Den Anfang macht die Dissertation von Mark Overesch zum Thema „Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz in Sandböden Niedersachsens“, die ein gelungenes Beispiel dafür ist, wie ein international aktuelles Thema auf hohem wissenschaftlichen Niveau in dem regionalen Forschungsschwerpunkt der Abteilung Geo- und Agrarökologie bearbeitet wurde.

Die organische Substanz des Bodens gewinnt in der bodenkundlichen Forschung weltweit zunehmend an Bedeutung. Eines der wichtigsten Ziele ist der Schutz der wichtigen Funktionen der organischen Substanz im Boden. Auch im Zusammenhang mit der Klimafolgenforschung spielt der Boden als Quelle bzw. Senke für Kohlenstoff eine außerordentliche Rolle. Die diesbezüglichen Forschungsfragen nach standortbedingten „optimalen“ Humusgehalten, unter anderem im Rahmen der europäischen Bodenrahmenrichtlinie, der Kohlenstoffsequestrierung und dem Einfluss der Landnutzung auf die organische Substanz des Bodens sind daher von höchster Aktualität.

Die Durchführung der Dissertation von Mark Overesch wäre nicht möglich gewesen ohne die enge Kooperation mit Dr. Heinrich Höper und Dr. Bernd Kleefisch vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, ehemals Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, in Bremen, die uns die Untersuchungen auf den Bodendauerbeobachtungsflächen des Landes Niedersachsen ermöglichten und darüber hinaus umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung stellten. Die hier präsentierten Ergebnisse belegen die Bedeutung von Dauerversuchen im Rahmen des Monitoring und als wertvolle Forschungsplattform. Wir danken für die gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt auch den externen Gutachtern, Prof. Dr. Martin Körschens von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und Dr. habil. Uwe Franko vom UFZ Leipzig/Halle, die ihre langjährigen Erfahrungen zur Forschung mit Dauerversuchen und zum Humushaushalt in der Agrarlandschaft in wertvolle Diskussionen einbrachten sowie weiteren KollegInnen des UFZ für die Unterstützung bei der Analytik und Modellierung. Für Teilfinanzierungen des Projektes bedanken wir uns bei dem Verband für Humus- und Erdenwirtschaft und der Fa. Reterra sowie der Hochschule Vechta.

Vechta, im Juli 2007

Gabriele Broll

Inhalt	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	I
Verzeichnis der Tabellen	IV
Abkürzungen und Symbole	VI
1 EINLEITUNG	1
1.1 Einführung	1
1.2 Zielsetzung	2
2 STAND DER FORSCHUNG	4
2.1 Umsetzbarkeit organischer Substanz in Böden	4
2.2 Modellierung der organischen Bodensubstanz mit CANDY bzw. CANDY Carbon Balance (CCB)	7
2.3 Humusbilanzierung	14
2.4 Komposteinsatz in der Landwirtschaft	15
3 UNTERSUCHUNGSSTANDORTE	16
3.1 Boden-Dauerbeobachtungsflächen	16
3.1.1 Auswahl und Lage der Flächen.....	16
3.1.2 Substrate, Böden und Klima.....	17
3.1.3 Nutzungsgeschichte.....	17
3.2 Kompostversuchsflächen	19
4 MATERIAL UND METHODEN	21
4.1 Bodenuntersuchungen im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung	21
4.1.1 Bodenphysikalische Parameter.....	21
4.1.2 Bodenchemische Parameter.....	22
4.1.3 Bodenmikrobiologische Parameter.....	23
4.2 Weitere Untersuchungen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen	23
4.2.1 Organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	23
4.2.2 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff und Stickstoff.....	23
4.2.3 Eisen und Aluminium.....	24
4.3 Berechnung von Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten	24
4.4 Modellierung der Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzprozesse	25
4.4.1 Modellierung mit dem Bodenprozessmodell CANDY.....	25
4.4.2 Modellierung mit CANDY Carbon Balance (CCB).....	30
4.5 Berechnung von Kohlenstoff- und Stickstoffeinträgen, Stickstoffsalden und Humusbilanzen nach VDLUFA	30
4.6 Untersuchungen auf den Kompostversuchsflächen	32
4.7 Statistische Methoden	32
5 ERGEBNISSE	35
5.1 Bodendauerbeobachtungsflächen	35
5.1.1 Organische Bodensubstanz	
5.1.1.1 Organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff, heißwasserlöslicher Kohlenstoff und Stickstoff sowie bodenmikrobiologische Parameter.....	35

5.1.1.2 Eisen, Aluminium und organische Bodensubstanz.....	40
5.1.2 Dynamik der organischen Bodensubstanz und ihre Modellierung mit CANDY.....	41
5.1.2.1 Bodenphysikalische Charakterisierung der Standorte für die Modellierung.....	41
5.1.2.2 Modellergebnisse der Mineralisierungsbedingungen.....	53
5.1.2.3 Dynamik des organischen Kohlenstoffs und Gesamtstickstoffs sowie Modellergebnisse des organischen Kohlenstoffs	58
5.1.2.4 Dynamik und Modellergebnisse der Mineralstickstoffvorräte.....	67
5.1.2.5 Dynamik der bodenmikrobiologischen Parameter.....	74
5.1.3 Modellierung von Gleichgewichtsgehalten an umsetzbarem Kohlenstoff mit CANDY Carbon Balance (CCB).....	78
5.1.4 Kohlenstoff- und Stickstoffeinträge, Stickstoffsalden und Humusbilanzen nach VDLUFA.....	79
5.1.5 Zusammenfassende statistische Auswertung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte.....	81
5.1.5.1 Vorräte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	81
5.1.5.2 Vorräte an heißwasserlöslichem Kohlenstoff und Stickstoff.....	82
5.1.5.3 Vorräte an Kohlenstoff aus mikrobieller Biomasse und Basalatmung.....	83
5.1.5.4 Vorräte an mineralischem Stickstoff im Herbst.....	84
5.1.6 Methodenvergleiche.....	86
5.1.6.1 Kohlenstoffmessung im Heißwasserextrakt bei 800 °C und 450 °C.....	86
5.1.6.2 Heißwasserextraktion und Stickstoffmineralisierung in der Langzeitinkubation.....	86
5.1.6.3 Vergleich von Methoden zur Berechnung des inerten Kohlenstoffs.....	89
5.2 Kompostversuchsflächen.....	92
5.2.1 Organische Bodensubstanz und Bodenacidität.....	92
5.2.2 Bodenmikrobiologische Parameter.....	93
5.2.3 Einträge und Vorräte an Kohlenstoff und Stickstoff.....	94
6 DISKUSSION.....	97
6.1 Quantität der organischen Bodensubstanz.....	97
6.2 Qualität der organischen Bodensubstanz.....	99
6.2.1 Mikrobielle Biomasse und Basalatmung.....	100
6.2.2 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff und Stickstoff.....	102
6.3 Dynamik der organischen Bodensubstanz und ihre Modellierung.....	105
6.3.1 Einfluss der Standortbedingungen auf die Mineralisierung.....	105
6.3.2 Entwicklung und Modellierung des organischen Kohlenstoffs.....	110
6.3.3 Stickstoffmineralisierung und Modellierung der Mineralstickstoffvorräte.....	113
6.4 Gleichgewichtsgehalte der umsetzbaren organischen Bodensubstanz.....	118
6.5 Vergleich Humusbilanzierung und Modellierung.....	118
6.6 Einfluss der Kompostanwendung auf die organische Bodensubstanz.....	119
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	123
ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY.....	127
LITERATUR.....	131

Anhang

Danksagung

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1: Aufbau des CANDY-Modells (nach FRANKO et al. 1995a)	7
Abbildung 2.2: Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Pools der organischen Substanz in CANDY (nach FRANKO et al. 1995a)	8
Abbildung 3.1: Lage der ausgewählten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und der Kompostversuchsflächen (KVF) auf Sandböden (erstellt auf Grundlage von Daten des NLFb).....	16
Abbildung 5.1: C_{hwl} - und C_{mik} -Gehalt sowie Basalatmung in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (2004) (bodenmikrobiologische Daten: NLFb)	36
Abbildung 5.2: C_{org}/N_t -Verhältnis in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (2004, n=44)	38
Abbildung 5.3: $C_{\text{hwl}}/C_{\text{org}}$ -Verhältnis in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (2004, n=44)	38
Abbildung 5.4: Verhältnis $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (2004, n=44) (bodenmikrobiologische Daten: NLFb)	38
Abbildung 5.5: Verhältnis Basalatmung/ C_{org} in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt (2004, n=44) (bodenmikrobiologische Daten: NLFb).....	38
Abbildung 5.6: Verhältnis N_{hwl}/N_t in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom N_t -Gehalt (2004, n=44)	39
Abbildung 5.7: Verhältnis N_{hwl}/N_t in den Kernflächen-Oberböden der BDF in Abhängigkeit vom N_t -Gehalt (2005, n=44) (N_t -Daten: NLFb)	39
Abbildung 5.8: Zusammenhänge zwischen C_{hwl} -Gehalten in den Kernflächen-Oberböden der BDF in den Jahren 2004 und 2005 (jeweils Frühjahr, n=44)	40
Abbildung 5.9: Zusammenhänge zwischen N_{hwl} -Gehalten in den Kernflächen-Oberböden der BDF in den Jahren 2004 und 2005 (jeweils Frühjahr, n=44)	40
Abbildung 5.10: Gehalte an oxalatlöslichem Fe und Al sowie an dithionitlöslichem Fe in den BDF-Oberböden (Mittelwerte der vier Kernflächen \pm Standardabweichung).....	40
Abbildung 5.11: Boxplots der Trockenrohdichtemesswerte von jeweils vier Kernflächen (0-20 cm, Früh.: Frühjahr, Herb.: Herbst) und Messwerte aus den Oberböden der Profilgruben der BDF (0-ca.30 cm, Grub.: Profilgrube); Kreise = Ausreißer (Daten: NLFb)	42
Abbildung 5.12: Beziehung zwischen Saugspannung (pF) und Wassergehalt, Profilgruben-Oberböden der BDF mit $C_{\text{org}} < 2,0 \%$ (Daten: NLFb).....	45
Abbildung 5.13: Beziehung zwischen Saugspannung (pF) und Wassergehalt, Profilgruben-Oberböden der BDF mit $C_{\text{org}} > 2,0 \%$ (Daten: NLFb).....	45
Abbildung 5.14: Beziehung zwischen Saugspannung (pF) und Wassergehalt, sandige Oberböden mit unterschiedlichen OBS-Gehalten nach KOEPKE et al. (1989).....	45
Abbildung 5.15: Differenz zwischen nach VERECKEN et al. (1989) berechneten und in den Profilgruben-Oberböden der BDF gemessenen Wassergehalten bei verschiedenen Saugspannungen in Abhängigkeit vom Feinstsandgehalt (berechnet aus Daten des NLFb).....	48
Abbildung 5.16: Differenz zwischen nach AD-HOC-AG BODEN (2005) berechneten und in den Profilgruben-Oberböden der BDF gemessenen Wassergehalten bei verschiedenen Saugspannungen in Abhängigkeit vom Tongehalt (berechnet aus Daten des NLFb)	48
Abbildung 5.17: Vergleich zwischen Wassergehalten bei pF 1,8, 2,0 und 2,5 (Profilgrube, Daten: NLFb) und den aus den Frühjahrsbodenfeuchten berechneten Feldkapazitäten (Mittelwert der vier Kernflächen \pm Standardabweichung) der BDF-Oberböden	50

Abbildung 5.18: Änderung der Trockenrohdichte (A, TRD), der Trockensubstanzdichte (B, TSD), des Porenvolumens (C, PV), der Feldkapazität (D, FK), des Permanenten Welkepunktes (E, PWP), der Verhältnisse Feldkapazität / Porenvolumen (F, FK PV ⁻¹) und Permanenter Welkepunkt / Porenvolumen (G, PWP PV ⁻¹) sowie des Anteiles der Feinporen an der Gesamtporenoberflächen (H, A _{mic} A _{ges} ⁻¹) mit dem mittleren C _{org} -Gehalt der Kernflächen (Werte aus Parameterisierung der Kernflächen für CANDY, Datengrundlage: NLfB).....	51
Abbildung 5.19: Tagesmittelwerte der Bodentemperatur von BDF032, 033, 049 und 064 2000-2004, gemessen in 10 cm Tiefe (Daten: NLfB) und modelliert für 0-20 cm Tiefe (n=5003)	53
Abbildung 5.20: Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte von BDF064, mit TDR-Sonde gemessen in 20 cm Tiefe (Daten: NLfB) und modelliert für 10-30 cm Tiefe; Feldkapazität bei pF 1,8	54
Abbildung 5.21: Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte von BDF064, mit TDR-Sonde gemessen in 20 cm Tiefe (Daten: NLfB) und modelliert für 10-30 cm Tiefe; Feldkapazität aus Bodenfeuchte im Frühjahr berechnet	54
Abbildung 5.22: Gemessene gravimetrische Bodenfeuchte aller BDF 2000-2004 in 0-20 cm Tiefe (Daten: NLfB) und modellierte Werte (jeweils Mittelwert von vier Kernflächen, Feldkapazität aus Bodenfeuchte im Frühjahr berechnet).....	55
Abbildung 5.23: BDF025 - Modellerte und gemessene C _{org} -Gehalte im Aep (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung); C _{inert} mit Tongehalt berechnet	59
Abbildung 5.24: BDF016 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung); ohne (A) und nach wiederholter Anpassung des Modells an den C _{org} -Messwert von 1998 (B).....	61
Abbildung 5.25: BDF017 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung); ohne (A) und nach wiederholter Anpassung des Modells an den C _{org} -Messwert von 1998 (B).....	61
Abbildung 5.26: BDF021 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	62
Abbildung 5.27: BDF025 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	62
Abbildung 5.28: BDF032 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	63
Abbildung 5.29: BDF033 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung); ohne (A) und nach wiederholter Anpassung des Modells an den C _{org} -Messwert von 1998 (B).....	63
Abbildung 5.30: BDF036 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)	64
Abbildung 5.31: BDF039 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	64
Abbildung 5.32: BDF049 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	65
Abbildung 5.33: BDF057 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	65
Abbildung 5.34: BDF064 - Modellerte C _{org} -Gehalte, gemessene C _{org} - und N _t -Gehalte sowie C _{org} /N _t -Verhältnisse (C/N) in 0-20 cm (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung).....	66
Abbildung 5.35: Boxplots der N _{min} -Vorräte der BDF im Frühjahr in 0-90 cm Tiefe der BDF; Kreise = Ausreißer, Sternchen = Extremwerte (Daten: NLfB).....	68
Abbildung 5.36: Boxplots der N _{min} -Vorräte der BDF im Sommer in 0-90 cm Tiefe der BDF (Daten: NLfB).....	68
Abbildung 5.37: Boxplots der N _{min} -Vorräte der BDF im Herbst in 0-90 cm Tiefe der BDF; Kreise = Ausreißer, Sternchen = Extremwerte (Daten: NLfB).....	68

Abbildung 5.38: Boxplots der Verhältnisse N_{\min} (0-30 cm) / N_{\min} (0-90 cm) der BDF im Herbst (berechnet auf Grundlage von Daten des NLFb)	69
Abbildung 5.39: BDF032 - Modellierte und gemessene N_{\min} -Vorräte in 0-90 cm Tiefe; $C_{\text{org}}/N_{\text{T}}$ -Verhältnis der umsetzbaren OBS = 8,5 (A) bzw. 17,4 (B) (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)	70
Abbildung 5.40: BDF033 - Modellierte und gemessene N_{\min} -Vorräte in 0-90 cm Tiefe; $C_{\text{org}}/N_{\text{T}}$ -Verhältnis der umsetzbaren OBS = 8,5 (A) bzw. 15,2 (B) (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)	71
Abbildung 5.41: BDF039 - Modellierte und gemessene N_{\min} -Vorräte in 0-90 cm Tiefe; $C_{\text{org}}/N_{\text{T}}$ -Verhältnis der umsetzbaren OBS = 8,5 (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)...	71
Abbildung 5.42: BDF049 - Modellierte und gemessene N_{\min} -Vorräte in 0-90 cm Tiefe; $C_{\text{org}}/N_{\text{T}}$ -Verhältnis der umsetzbaren OBS = 8,5 (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)..	72
Abbildung 5.43: BDF064 - Modellierte und gemessene N_{\min} -Vorräte in 0-90 cm Tiefe; $C_{\text{org}}/N_{\text{T}}$ -Verhältnis der umsetzbaren OBS = 8,5 (Mittelwert der 4 Kernflächen und Standardabweichung)..	72
Abbildung 5.44: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur >5 °C vom 1. Januar bis zur Probenahme und C_{mik} in den Kernflächen-Oberböden der BDF (C_{mik} -Daten: NLFb).....	77
Abbildung 5.45: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur >5 °C vom 1. Januar bis zur Probenahme und der Basalatmung in den Kernflächen-Oberböden der BDF (Basalatmung-Daten: NLFb)	77
Abbildung 5.46: Vergleich zwischen Messungen des C_{hwl} -Gehaltes in den BDF-Oberböden bei 800 °C und 450 °C (2004, nur Kernflächen K1)	86
Abbildung 5.47: $N_{\text{fast}} + N_{\text{slow}}$ in Abhängigkeit vom N_{T} -Gehalt (Proben von HEUMANN (2003))	89
Abbildung 5.48: $N_{\text{fast}} + N_{\text{slow}}$ in Abhängigkeit vom N_{hwl} -Gehalt (Proben von HEUMANN (2003)).....	89
Abbildung 5.49: Beziehung zwischen C_{org} und C_{mik} in den BDF-Oberböden in den Jahren 1997, 1998, 2004 und 2005 (jeweils Mittelwerte von vier Kernflächen, Daten: NLFb, eigene Messungen)	91
Abbildung 5.50: Summe des C_{org} -Eintrags durch Kompostanwendung, Eintrag an reproduktivem C_{org} sowie Zunahme des gesamten und umsetzbaren C_{org} -Vorrates (Differenzen zur Nullvariante) (Kompost- und Ertragsdaten aus LWK WE (2002))	95
Abbildung 5.51: Summe des N-Eintrags durch Kompostanwendung und Zunahme des N_{T} -Vorrates (Differenzen zur Nullvariante) (Kompost- und Ertragsdaten aus LWK WE (2002)).....	96

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 3.1: Untersuchte Zeiträume, Böden, ausgewählte Eigenschaften der Oberböden und Klima der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und der Kompostversuchsflächen (KVF).....	18
Tabelle 3.2: Nutzungsgeschichte der BDF	19
Tabelle 3.3: Mittlere jährlich eingesetzte Kompostmengen auf den Kompostversuchsflächen ^a	20
Tabelle 4.1: Bodenphysikalische Methoden (aus: KLEEFISCH & KUES 1997).....	21
Tabelle 4.2: Mächtigkeit der Aep- / Ap-Horizonte und maximale registrierte Bearbeitungstiefe auf den BDF.....	25
Tabelle 5.1: Fraktionen der organischen Bodensubstanz und mikrobiologische Parameter in den BDF-Oberböden im Jahr 2004 (jeweils Mittelwerte der vier Kernflächen ± Standardabweichung).....	35
Tabelle 5.2: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen C_{org} , N_t , C_{hwl} , N_{hwl} und den mikrobiellen Parametern in den Kernflächen-Oberböden der BDF ($n = 44$).....	36
Tabelle 5.3: C_{org}/N_t -Verhältnisse sowie verschiedene Quotienten zur Charakterisierung der organischen Bodensubstanz in den BDF-Oberböden im Jahr 2004 (jeweils Mittelwerte der vier Kernflächen ± Standardabweichung).....	37
Tabelle 5.4: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen C_{org} , N_t , C_{hwl} , N_{hwl} und den mikrobiellen Parametern in den Kernflächen-Oberböden der BDF ($n = 44$).....	38
Tabelle 5.5: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen C_{org} , N_t und Gehalten an dithionitlöslichem Eisen (Fe_{di}) sowie oxalatlöslichem Eisen (Fe_{ox}) und Aluminium (Al_{ox}) in den Kernflächen-Oberböden der BDF (Proben aus 2005, 0-20 cm, $n=44$).....	41
Tabelle 5.6: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen den Porengrößenklassen und dem C_{org} -Gehalt sowie Korngrößenklassen in den Profilgruben-Oberböden der BDF ($n=11$) ...	46
Tabelle 5.7: RMSD (root mean squared deviation) für die Abweichung der mit Hilfe der Van-Genuchten-Funktion berechneten Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen von den Messwerten der Profilgruben-Oberböden der BDF; Parameter mit Pedotransferfunktion berechnet bzw. angepasst.....	48
Tabelle 5.8: Tiefe des effektiven Wurzelraums (W_e) und grundwasserbeeinflusster Horizonte der BDF sowie Abschätzung des kapillaren Aufstiegs auf Grundlage von MÜLLER (2004)	52
Tabelle 5.9: RMSD (root mean squared deviation) für die Abweichung der modellierten Bodentemperaturen und Bodenfeuchten von den Messwerten der BDF-Oberböden.....	55
Tabelle 5.10: Verhältnis zwischen Permanenten Welkepunkt (PWP) bzw. Feldkapazität (FK) und Porenvolumen (PV) sowie aus dem Feinanteilgehalt und klimatischen Mittelwerten berechnete und modellierte mittlere jährliche Wirksame Mineralisierungszeiten (WMZ) der BDF in 0-30 cm Tiefe.....	56
Tabelle 5.11: Mittlere modellierte Wirksame Mineralisierungszeiten (WMZ) der BDF in 0-30 cm Tiefe 1993-2004 nach Monaten.....	57
Tabelle 5.12: Jahresmittel der Lufttemperatur und der Niederschlagssumme sowie Niederschlagsverteilung der BDF im Modellierungszeitraum 1993-2004 getrennt nach Regionen.....	58
Tabelle 5.13: Mittelwerte und Standardabweichungen der C_{org} - und N_t -Messerwerte der Kernflächen-Oberböden ausgewählter BDF zwischen 1997 und 2005.....	59
Tabelle 5.14: Regressionsgleichungen für die Entwicklung von C_{org} (ΔC_{org}) und N_t (ΔN_t), Spannweiten der Netto-N-Mineralisierung sowie Verhältnis zwischen C- und N-Mineralisierung in den BDF-Oberböden (nur BDF mit signifikanter Änderung von C_{org})	67
Tabelle 5.15: RMSD (root mean squared deviation) für die Abweichung der modellierten N_{min} -Vorräte von den Messwerten der BDF in 0 bis 90 cm bei verschiedenen C_{org}/N_t -Verhältnissen der umsetzbaren OBS	73

Tabelle 5.16: Feldkapazität in 0-90 cm Bodentiefe der BDF sowie Spannweite der modellierten Sickerwassermenge von Oktober bis Februar, der Austauschhäufigkeit des Boden-wassers in 0-90 cm und des N-Verlustes über den Sickerwasserpfad im Zeitraum der N_{\min} -Modellierung.....	74
Tabelle 5.17: Simulierte jährliche N-Verluste durch Denitrifizierung auf den BDF im Zeitraum der N_{\min} -Modellierung	74
Tabelle 5.18: Zeitliche Dynamik von C_{mik} und Basalatmung in den BDF-Oberböden (0-20 cm, Mittelwerte von jeweils 4 Kernflächen)	75
Tabelle 5.19: Mit CANDY Carbon Balance (CCB) modellierte C_{ums} -Gehalte in den BDF- Oberböden sowie Differenzen zu Modellierung mit CANDY	78
Tabelle 5.20: Mittlerer jährlicher N-Eintrag auf den BDF aus verschiedenen Quellen und mittlerer jährlicher N-Saldo.....	79
Tabelle 5.21: Mittlerer jährlicher C-Eintrag auf den BDF	80
Tabelle 5.22: Mittlere jährliche Humussalden berechnet für die BDF nach VDLUFA-Standpunkt (KÖRSCHENS et al. 2004) und ihre Bewertung	81
Tabelle 5.23: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen C_{org} - und N_{t} -Vorrat in den Kernflächen-Oberböden der BDF, ausgewählten Korngrößenklassen, jährlichen Mittelwerten des C-Eintrages, des Humussaldos, der Niederschlagssumme (NIED), der Lufttemperatur (LTEM) und der Wirksamen Mineralisierungszeit (WMZ) (0-30 cm, n=40).....	82
Tabelle 5.24: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen C_{hwl} , gemessen bei 450 °C, sowie C_{org} , N_{t} , C_{hwl} (800 °C), N_{hwl} und den mikrobiellen Parametern (n=11).....	86
Tabelle 5.25: Spannweite des Gehaltes an Teilchen < 20 μm sowie der C_{org} -, N_{t} -, C_{hwl} - und N_{hwl} -Gehalte in den Bodenproben der Langzeitinkubationsversuche aus HEUMANN (2003) (n=63).....	87
Tabelle 5.26: Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die Beziehung zwischen Parametern der Bodentextur und der organischen Bodensubstanz sowie N_{fast} , N_{slow} und $N_{\text{fast}}+N_{\text{slow}}$ in den Bodenproben der Langzeitinkubationsversuche aus HEUMANN (2003) (n = 63)	88
Tabelle 5.27: Vergleich zwischen mittels unterschiedlicher Methoden berechneter C_{inert} - und C_{ums} -Gehalte in den BDF-Oberböden im Jahr 2004 (Mittelwerte der vier Kernflächen \pm Standardabweichung)	90
Tabelle 5.28: Parameter der OBS und pH-Wert in den Oberböden der Kompostversuchsvarianten (jeweils Mittelwerte von vier Parzellen \pm Standardabweichung)	93
Tabelle 5.29: Bodenmikrobiologische Kennwerte in den Oberböden der Kompostversuchsvarianten (jeweils Mittelwerte von vier Parzellen \pm Standardabweichung)	94
Tabelle 5.30: Mittlere jährliche C-Einträge auf den Kompostversuchsvarianten	94

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

a	Jahr
Abb.	Abbildung
Al	Aluminium
Al _{ox}	oxalatlösliches Aluminium
AOS	aktive umsetzbare organische Bodensubstanz
BDF	Boden-Dauerbeobachtungsfläche
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
CCB	CANDY Carbon Balance
C _{hwl}	heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff
C _{inert}	inert organischer Kohlenstoff
C _{mik}	in der mikrobiellen Biomasse gebundener Kohlenstoff
CO ₂	Kohlendioxid
C _{org}	organischer Kohlenstoff
C _{ums}	umsetzbarer organischer Kohlenstoff
d	Tag
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)
DOM	Gelöste organische Substanz (dissolved organic matter)
DON	Gelöster organischer Stickstoff (dissolved organic nitrogen)
DWD	Deutscher Wetterdienst
FAT	Feinanteil, Teilchen < 6,3 µm
Fe	Eisen
Fe _{di}	dithionitlösliches Eisen
Fe _{ox}	oxalatlösliches Eisen
FK	Feldkapazität
FM	Frischmasse
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
Gl.	Gleichung
h	Stunde
ha	Hektar
ICP-OES	optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
K	Kernfläche
kf	gesättigte Wasserleitfähigkeit
KVF	Kompostversuchsfläche
lg	dekadischer Logarithmus
ln	natürlicher Logarithmus
M	Molarität (Stoffmengenkonzentration)
Mas.-%	Prozent bezogen auf das Gewicht
MSD	mean squared diameter
n	Stichprobenumfang
N	Stickstoff
N _{fast}	schnell mineralisierbarer Stickstoff (Langzeitinkubationsversuch)
NH ₄ ⁺	Ammonium

N_{hw1}	heißwasserlöslicher Kohlenstoff
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
N_{min}	mineralischer Stickstoff
NO	Stickstoffoxid
NO_3^-	Nitrat
N_{slow}	langsam mineralisierbarer Stickstoff (Langzeitinkubationsversuch)
N_t	Gesamt-Stickstoff
OBS	organische Bodensubstanz
OPS	organische Primärsubstanz
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
pF	Saugspannung, positiver dekadischer Logarithmus der Druckhöhe in cm Wassersäule bzw. hPa
PK	Phosphor, Kalium
PV	Porenvolumen
PWP	Permanenter Welkepunkt
$q\text{CO}_2$	metabolischer Quotient (Basalatmung-C / mikrobielle Biomasse-C)
r	Korrelationskoeffizient
RMSD	root mean squared diameter
S	Sand
SIR	Substratinduzierte Respiration
SOS	stabilisierte umsetzbare organische Bodensubstanz
T	Ton
Tab.	Tabelle
TDR	Time Domain Reflectometry
TM	Trockenmasse
TRD	Trockenrohddichte
TS	Trockensubstanz
TSD	Trockensubstanzdichte
U	Schluff
USDA	United States Department of Agriculture
VIF	Varianzfaktor
vgl.	vergleiche
Vol.-%	Prozent bezogen auf das Volumen
W_e	effektiver Wurzelraum
WMZ	Wirksame Mineralisierungszeit
z. B.	zum Beispiel
%	Prozent
°C	Grad Celsius
Δ	Änderung des Parameters
Θ	Bodenfeuchte
~	ungefähr
\pm	mögliche positive und negative Abweichung (Standardabweichung)

Erklärung der sonstigen Symbole und Abkürzungen aus den im Folgenden aufgeführten Gleichungen: siehe dort.