

Isolierung und Charakterisierung unterschiedlich löslicher Fraktionen organischer Bodensubstanz als eine Möglichkeit C-Pools in C-Umsatz-Modellen zu validieren und weiter zu entwickeln

RUTH H. ELLERBROCK, KURT CHRISTIAN KERSEBAUM &
MICHAEL KAISER

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V. ZALF, Institute for Soil Landscape Research, Eberswalderstr. 84, D-15374 Muencheberg, Germany

(Received 11 August 2004; accepted 12 October 2004)

Zusammenfassung

C-Umsatzmodelle arbeiten mit konzeptionell abgeleiteten Kohlenstoff-Pools unterschiedlicher Umsetzbarkeit, um Management bedingte Veränderungen im Gehalt der organischen Bodensubstanz (OBS) abzuschätzen. Bekannt ist, dass die OBS durch verschiedene chemische und physikalische Prozesse stabilisiert wird. Ziel der Untersuchungen ist die Erfassung und Charakterisierung chemisch geschützter und ungeschützter OBS-Anteile mittels sequentieller Extraktion, um experimentell ermittelte Daten zur Validierung berechneter C-Pools heranzuziehen. Da Veränderungen in der OBS nur langfristig zu erfassen sind, wurden für die Untersuchungen Böden aus Langzeitfeldexperimenten herangezogen. Unterschiedlich stabile OBS-Anteile wurden mittels sequentieller Extraktion isoliert. Dabei wird angenommen, dass die wasserlösliche OBS leicht und die natriumpyrophosphatlösliche OBS schwer umsetzbar ist. Die isolierten OBS-Anteile wurden quantifiziert und den, mit dem C-Umsatzmodell ROTH-C berechneten Werten des stabilen HUM-Pools gegenübergestellt. Parallel aufgenommene Fourier Transform Infrarot Spektren (FT-IR) zeigen, dass die Zusammensetzung der natriumpyrophosphatlöslichen OBS-Anteile durch langjährig differenzierte Düngung beeinflusst wird. Die erfassten Unterschiede in der Zusammensetzung korrelieren stark mit den Sorptionseigenschaften der OBS. Die Isolierung unterschiedlich stabiler OBS-Anteile erlaubt somit nicht nur eine Validierung der mit C-Umsatz-Modellen berechneten stabilen C-Pools, sondern gibt auch einen Einblick, wie deren Sorptionsverhalten durch Veränderungen in der Bewirtschaftung beeinflusst werden kann.

Stichwörter: *Organische Bodensubstanz, sequentielle Extraktion, FT-IR Spektren, Langzeitfeldexperimente, Kohlenstoffumsatzmodelle*

(Isolation and characterization of soil organic matter fractions different in solubility as a possibility to evaluate and to improve C-pools in C-turnover models)

Abstract

Carbon-turnover models use C-pools different in stability to predict changes in soil organic matter (OBS) content due to changes in management. It is known that soil organic matter will be stabilized by different chemical and physical processes. The aim of this study is the characterisation of chemically protected and unprotected soil organic matter fractions isolated by sequential extraction and the validation of the C-pools determined by a C-turnover model with the experimentally obtained data of the isolated soil organic matter fractions. Long-term field experiments were used for this investigations as changes in soil organic matter content need more than 30 years. Soil organic matter fractions different in stability were isolated by sequential extraction, assuming that the water soluble fraction represents the unstable and the sodium pyrophosphate soluble fraction a stable part of soil organic matter. The amount of the isolated fractions were quantified and compared with the corresponding stable C-pool (HUM) simulated with the C-turnover model ROTH-C. Fourier Transform Infrared spectra of the soil organic matter fractions show that their composition is influenced by different long-term fertilization. The observed difference in soil organic matter composition is related to their sorption properties. Therefore, the isolation of the different soil organic matter fractions allows on one hand the validation of C-pools simulated with a carbon turnover model and gives on the other hand information on changes in their sorption behavior related to their composition due to changes in management.

Keywords: *Soil organic matter, sequential extraction, FT-IR spectra, long-term field experiments, C-turnover models*

Einleitung und Problemstellung

Gehalt und Zusammensetzung organischer Bodensubstanz (OBS) haben großen Einfluss auf Bodeneigenschaften wie die Kationenaustauschkapazität und werden u.a. durch Landnutzung und Bewirtschaftung beeinflusst (Ellerbrock et al. 1999a,b). Zur Abschätzung des Kohlenstoffumsatzes in Böden werden vielfach C-Umsatzmodelle herangezogen (Powlson et al. 1996). Die organische Bodensubstanz (OBS) wird in diesen Modellen üblicherweise in aktive, langsam umsetzbare sowie passive Pools eingeteilt (Coleman et al. 1996), denen entsprechende Umsatzzeiten zugeordnet werden, die im Wesentlichen auf der Altersverteilung der organischen Substanz beruhen. Zur Zeit gibt es allerdings kaum Möglichkeiten die C-Pools experimentell zu erfassen (Pennock und Frick, 2001; Wattel-Koekkoek et al. 2003). Zwar konnten z.B. Sohi et al. (2001) zeigen, dass OBS-Anteile, die mittels Dichtefraktionierung isoliert wurden, sich in ihrer biologischen Reaktivität unterscheiden. Diese OBS-Anteile repräsentieren allerdings nur 5% der gesamten OBS (Baldock und Skjemstad, 2000; Sohi et al. 2001; Ludwig et al. 2003).

Wasserlösliche OBS-Komponenten sind für Mikroorganismen leichter zugänglich und unterliegen demnach kürzeren Umsatzzeiten (Stevenson, 1994). Mit dem wasserlöslichen OBS-Anteil könnte daher der leichtumsetzbare C-Pool abgebildet werden. Sposito (1989) und Stevenson (1994) beschreiben die Stabilisierung der OBS durch chemische und physikalische Wechselwirkungen mit der festen Mineralphase des Bodens. Eine Möglichkeit der Stabilisierung der OBS ist die Komplexbildung der OBS über polyvalente Kationen an mineralische Partikel. In Folge der dadurch verminderten Wasserlöslichkeit wird die

Bioverfügbarkeit der komplexierten organischen Bodensubstanz herabgesetzt. Es kann daher angenommen werden, dass dieser OBS-Anteil langen Umsatzzeiten unterliegt und entsprechend auch Bodeneigenschaften wie die Kationenaustauschkapazität langfristig beeinflusst. Dieser OBS-Anteil sollte sich mit Natriumpyrophosphatlösung aus seiner Bindung zur Mineralphase lösen lassen. Das Pyrophosphatanion kann die für die Bindung an die Mineralphase maßgeblichen (Stevenson, 1994) polyvalenten Kationen komplexieren und damit die an die Mineralphase gebundene OBS in Lösung bringen (Greenwood und Earnshaw, 1984). Durch Kombination von Wasser- mit anschließender Natriumpyrophosphatextraktion lässt sich zunächst die wasserlösliche (leichter abbaubare) und danach die komplexierte (schwerer abbaubare) OBS aus dem Boden isolieren (Kaiser und Ellerbrock 2005). Erste Untersuchungen ($\delta^{13}\text{C}$ - und ^{14}C -Messungen) (Kaiser und Ellerbrock, 2005) zeigen, dass wie vermutet die wasserlöslichen OBS-Anteile weniger stabil sind als die natriumpyrophosphatlöslichen. Die sequentielle Extraktion ist also prinzipiell geeignet, unterschiedlich stabile OBS-Anteile zu isolieren.

Ziel der Untersuchung ist es, mittels sequentieller Extraktion wasser- und natriumpyrophosphatlösliche OBS-Anteile aus Böden verschiedener Langzeitfeldexperimente zu isolieren und zu quantifizieren. Des Weiteren werden die Veränderungen des Gehaltes an organischer Bodensubstanz (TOC) mit dem C-Umsatzmodell ROTH-C 26.3 berechnet und die simulierten C-Gesamtgehalte sowie die des schwerumsetzbaren C-Pools mit den gemessenen C_{org} -Gehalten der Böden und den experimentell ermittelten Mengen der natriumpyrophosphatlöslichen OBS-Fraktion verglichen. Darüber hinaus wird untersucht, wie sich die unterschiedliche Düngung der Versuchsglieder auf die OBS-Zusammensetzung auswirkt. Da sich Veränderungen in der OBS erst langfristig einstellen, bieten Langzeitfeldexperimente hervorragende Bedingungen für die Untersuchungen.

Material und Methoden

Standorte

Für die Untersuchungen wurden Langzeitfeldexperimente auf lehmigen Böden (Bad Lauchstädt, Broadbalk) und sandigen Böden (Groß Kreutz, Müncheberg) ausgewählt (Tabelle I). Die Proben aus Bad Lauchstädt und Broadbalk wurden im Rahmen eines DAAD Projektes gemeinsam mit dem IARC Rothamsted untersucht. Beide Böden weisen vergleichbare Ton und Schluffgehalte (ca. 200 g kg^{-1} Ton und 677 bzw. 600 g kg^{-1} Schluff) aus. Die Standorte unterscheiden sich jedoch in den klimatischen Bedingungen. Ergänzend wurden sandige Standorte in Deutschland untersucht. Die Bodenproben wurden 1997 den Stallmist-, Stallmist+NPK-, NPK- sowie den ungedüngten Flächen entnommen (Tabelle II). Alle Bodenproben wurden luftgetrocknet, auf 2 mm gesiebt und geteilt.

C_{org} -, KAK- und pH-Werte der Böden

In den Proben wurde der C_t -Gehalt nach DIN ISO 10694/7a (1994) mit einer Elementaranalyse (LECO) erfasst. Der Carbonat-Kohlenstoff wurde mit einem Carbomat (Wösthoff) bestimmt. Beide Messungen erfolgten in zwei Wiederholungen. Der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff wurde aus der Differenz zwischen C_t und Carbonat-Kohlenstoff berechnet. Die pH-Wert Bestimmung erfolgte in einer 0.01 molaren Calciumchlorid-Lösung gemäß DIN ISO 10390 (1997). Die Kationenaustauschkapazität der Böden wurde gemäß DIN 19684 (1977) mit 5 g Boden als austauschbare

Tabelle I. Standortcharakteristik der untersuchten Langzeit-Feldexperimente.
Table I. Characteristics of the studied long-term field experiments.

Standort	Anlage- jahr	Fruchtfolge	Textur	Ton	Schluff	Sand	Soil type (FAO, 1990)	Nd [mm a ⁻¹]	T [°C]
Groß Kreutz	1967	WW, ZR, SG, K	Lehmiger Sand	50	220	730	Albic Luvisol/ Luvisol Arenosol	532	8.9
Müncheberg ^b	1963	K, WW, ZR, SG	Lehmiger Sand	50	210	740	Podzoluvisol to Arenosol	527	8.2
Bad Lauchstädt ^a	1902	SG, WW, ZR, SG	Lehm	211	677	112	Haplic Chernozem	490	8.9
Broadbalk ^c	1843	H, M, 3xWW	Lehm	200	600	200	Chromic Luvisol	704	9.2

SG: Sommergerste, K: Kartoffel, WW: Winterweizen, ZR: Zuckerrübe, H: Hafer, M: Mais

Nd: Niederschlag, T: Temperatur

^aKörschens und Müller 1996; ^bRogasik et al. 1997; ^cRandall et al. 1995.

Tabelle II. Eingesetzte Mengen an Stallmist- (dt/ha) und N-Dünger (kg/ha) der ausgewählten Düngerkombinationen der Langzeitfeldexperimente Bad Lauchstädt, Broadbalk, Groß Kreutz und Müncheberg.

Table II. Amount of applied farm yard manure (dt/ha) and nitrogen (N; kg/ha) of the studied fertilizer combinations at the long-term field experiments Bad Lauchstädt, Broadbalk, Groß Kreutz and Müncheberg.

Plot	Müncheberg		Groß Kreutz		Bad Lauchstädt		Broadbalk	
	STM _{dm} [dt/ha a]	N [kg/ha a]	STM _{dm} [dt/ha a]	N [kg/ha a]	STM _{dm} * [dt/ha a]	N [kg/ha a]	STM _{dm} [dt/ha a]	N [kg/ha a]
Kontrolle	–	–	–	–	–	–	–	–
N	–	150	–	150	–	155	–	144
STM	32	–	50	–	150	385	–	–
STM + N	32	150	50	150	150	520	350	420

*Stallmist-Menge an Trockensubstanz; – :nicht vorhanden.

Bariumionen bestimmt. Die erhaltenen Daten wurden mit denen einer Blindlösung korrigiert.

Sequentielle Extraktion

Die freien wasserlöslichen OBS-Anteile wurden von den durch Komplexbildung mit der Mineralphase gegen mikrobiellen Abbau geschützten OBS-Anteilen durch eine sequentielle Extraktion abgetrennt.

A. Wassereextraktion

5 g der Bodenproben werden mit 50 ml destilliertem Wasser (Nierop und Buurman, 1998) 24 h bei Raumtemperatur auf einem Kipp-Rollen-Schüttler extrahiert. Der wasserlösliche OBS-Anteil wird vom Feststoffrückstand abgetrennt und der Rückstand 2-mal mit je 5 ml destilliertem Wasser gewaschen. Das Waschwasser wird mit dem Extrakt vereinigt. Auf der Lösung schwimmende leichte Partikel werden abgesiebt. Danach wird nochmals zentrifugiert um enthaltene Tonpartikel abzutrennen. Danach wird das Extrakt filtriert (0,45 µm), dialysiert (Nadir Dialyseschlauch; Porengröße 2.5 – 3 nm) und gefriergetrocknet.

B. Natriumpyrophosphatextraktion

Der Feststoffrückstand der Wasserextraktion wird anschließend mit einer 0.1 molaren Natriumpyrophosphatlösung nach Hayes (1985) extrahiert. Die Mischung wird 6 h mit einem Kipp-Rollenschüttler geschüttelt und der Extrakt abgetrennt. Der Rückstand wird zweimal mit je 5 ml Natrium pyrophosphatlösung gewaschen. Die waschlösung wird mit dem Extrakt vereinigt, zentrifugiert und filtriert ($0,45\ \mu\text{m}$). Das Extrakt wird danach mit 1 M Salzsäure auf pH 2 angesäuert, um die säureunlösliche OBS Fraktion auszufällen. Zur Vervollständigung der Fällung wird die angesäuerte Lösung 12 h auf $+5^\circ\text{C}$ gekühlt. Der ausgefällte, säureunlösliche Anteil (OBS(PY)) wird durch Zentrifugation (35 Min, 3000U/Min) von der überstehenden Lösung getrennt, dialysiert und gefriergetrocknet.

Jede der Extraktionen erfolgt in drei Wiederholungen. Die erhaltenen gefriergetrockneten OBS-Fractionen werden ausgewogen und FT-IR spektroskopisch untersucht. Danach werden die Proben 8h bei 430°C verascht, um den Anteil an anorganischen Komponenten zu ermitteln (Ellerbrock und Gerke, 2004).

FT-IR Spektroskopie

Die wasser und natriumpyrophosphatlöslichen Fraktionen der Bodenproben werden FT-IR spektroskopisch (FTS135, Biorad; KBr-Technik) charakterisiert. Während die Wellenzahl die Art der funktionellen Gruppe identifiziert, ergibt sich aus der Absorptionsintensität ein Maß für den Anteil der jeweiligen funktionellen Gruppe in der untersuchten Probe. Durch Spektrensubtraktion (Ellerbrock und Gerke, 2004) werden die Spektren der organischen Komponenten erhalten. In den Spektren werden Absorptionsbanden, welche für hydrophobe und hydrophile Gruppen der OBS charakteristisch sind, analysiert: Die CH-Banden der hydrophoben Methyl- und Methylen Gruppen erscheinen bei $2920\ \text{cm}^{-1}$ (asymmetrische Streck-) und bei $2860\ \text{cm}^{-1}$ (symmetrische Streckschwingungen) (Capriel et al., 1995). Beide Banden werden hier gemeinsam ausgewertet. Die Absorptionsbanden der hydrophilen C=O-Gruppen erscheinen bei $1640 - 1615\ \text{cm}^{-1}$ und $1740 - 1720\ \text{cm}^{-1}$ (Celi et al., 1997; Günzler und Böck, 1990). Die Auswertung der Banden erfolgt mit BioRad[®] Software relativ zur intensiven COC-Bande bei $1100\ \text{cm}^{-1}$.

Modellierung des C-Umsatzes

Für die Simulation des Kohlenstoffumsatzes wurde das Modell ROTH-C 26.3 (Jenkison und Coleman, 1994) verwendet. Das Modell berechnet den Umsatz von 3 unterschiedlichen Kohlenstoffpools mit einer zeitlichen Auflösung von einem Monat. Für die Berechnungen wurden die langjährigen monatlichen Mittelwerte (Bad Lauchstädt: 1954 – 1994, Broadbalk: 1961 – 1990, Müncheberg: 1963 – 1995) für Temperatur, Niederschlag und potentielle Evapotranspiration der Standorte verwendet. Entsprechend der Versuchsdauer der Langzeitexperimente betrug der Simulationszeitraum in Bad Lauchstädt 88 Jahre (1906 – 1994), in Broadbalk 153 Jahre (1844 – 1997) und in Müncheberg 35 Jahre (1963 – 1998). Für die Simulation wurde jeweils die Modelloption einer vorangehenden 10000 Jahre Simulation zur Equilibrierung der Kohlenstoffpools genutzt. Das Modell unterscheidet 5 unterschiedliche Kohlenstoffpools: IOS = inerte organische Substanz, die nicht an den Umsatzprozessen beteiligt ist, HUM = Humifizierter stabilisierter Kohlenstoff, der kaum am Umsatz beteiligt ist (Umsatzkoeffizient $0.02\ \text{Jahr}^{-1}$), aber den größten Anteil der OBS ausmacht, RPM = resistant plant material, welches aus schwer mineralisierbaren Rückständen mit einem mittleren Abbaukoeffizienten von $0.3\ \text{Jahr}^{-1}$ besteht, DPM = decomposable plant material, welches

durch einen hohen Abbaukoeffizienten (10 Jahr^{-1}) charakterisiert ist sowie dem Kohlenstoff in mikrobieller Biomasse BIO, mit einem Umsatzkoeffizienten von 0.66 Jahr^{-1} . Für die Einschwingphase wurde ein Kohlenstoffinput von 1.45 t C ha^{-1} für Broadbalk angesetzt. Die Kohlenstoffinputs für Bad Lauchstädt und Müncheberg betrugen 2.1 bzw. 0.92 t C ha^{-1} und wurden auf die Sommermonate begrenzt. Mit Ausnahme des IOM-Pools wurden alle Fraktionen mit Null gestartet. Für IOM wurden in Broadbalk 3.8 t C ha^{-1} , in Bad Lauchstädt 3.0 t C ha^{-1} und in Müncheberg 3.8 t C ha^{-1} angenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Böden weisen deutliche Unterschiede im C_{org} -Gehalt auf (Abbildung 1a). Der C_{org} -Gehalt steigt in der Reihenfolge ungedüngt < NPK- < STM- gedüngt an. Dieser Unterschied ist jedoch für die Böden aus Müncheberg, Groß Kreutz und Bad Lauchstädt nicht so groß wie für die Böden aus Broadbalk. Dies kann zum einen durch Unterschiede im Tongehalt erklärt werden. Zum anderen weisen die Standorte in Deutschland andere klimatische Verhältnisse auf als der Standort Broadbalk. Hinzu kommt, dass die verwendeten Dünger in unterschiedlichen Mengen eingesetzt werden (Tabelle I und Tabelle II). Darüber

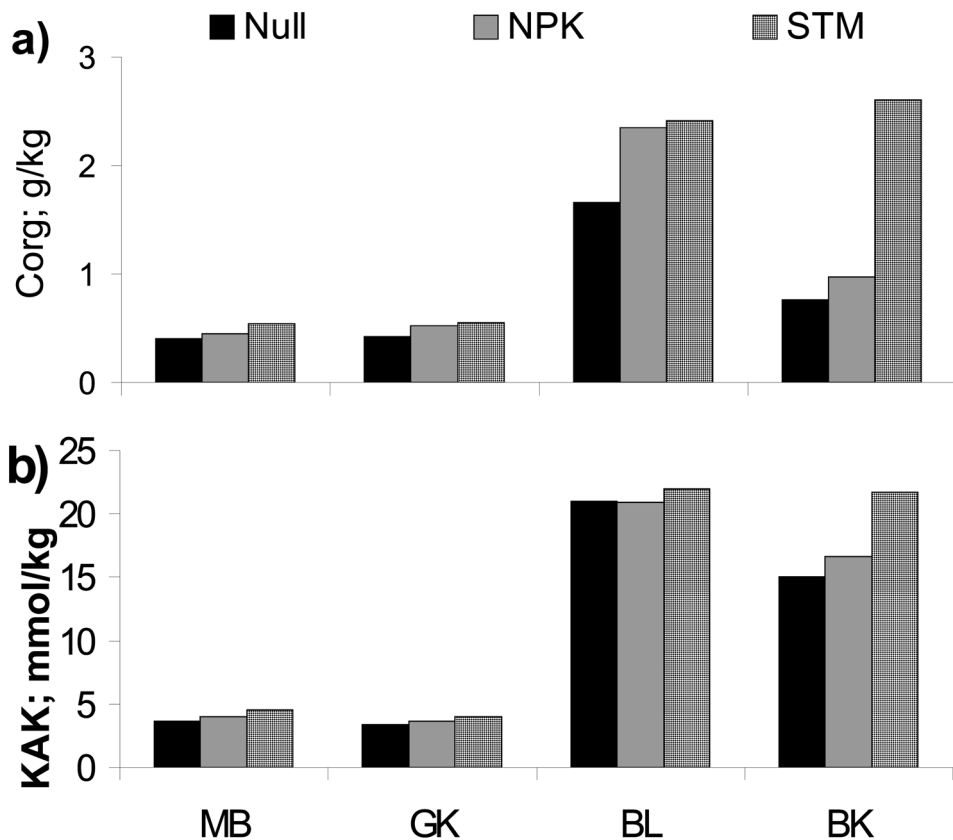


Abbildung 1. a) C_{org} -Gehalte und b) Kationenaustauschkapazität der untersuchten Böden (MB: Müncheberg; GK: Groß Kreutz; BL: Bad Lauchstädt; BK: Broadbalk).

Figure 1. a) C_{org} contents and b) cation exchange capacity of the studied soils (MB: Müncheberg; GK: Groß Kreutz; BL: Bad Lauchstädt; BK: Broadbalk).

hinaus enthält die Schwarzerde aus Bad Lauchstädt relativ große Mengen an ‘‘altem Kohlenstoff’’ (Ludwig et al., 2003). Aufgrund des höheren Tongehaltes haben die lehmigen Böden (Bad Lauchstädt und Broadbalk) eine höhere Kationenaustauschkapazität als die sandigen Böden (Abbildung 1b). Allerdings weisen die unterschiedlich gedüngten Böden aus Broadbalk anders als die Bad Lauchstädter Böden auch deutliche Unterschiede in der Kationenaustauschkapazität auf.

Neben den Unterschieden im C_{org} -Gehalt sind auch Unterschiede in den FT-IR Spektren der verschiedenen OBS-Fractionen festzustellen (Abbildung 2 und 3). Zwar weisen alle FT-IR Spektren die gleichen charakteristischen Banden auf, jedoch unterscheidet sich die Absorptionsintensität dieser Banden teilweise erheblich. Die FT-IR Spektren der wasserlöslichen OBS aus den sandigen Böden weisen im Vergleich zu denen der lehmigen Böden intensivere O-H und C=O Banden auf. Es sieht so aus, als ob die C=O reicheren OBS-Komponenten in den lehmigen Böden weniger gut wasserlöslich sind als in den sandigen Böden. Diese Beobachtung kann man mit der Bildung organo-mineralischer Komplexe erklären. Deren Bildung dürfte in tonreicheren Böden stärker ausgeprägt sein als in tonarmen, sandigen Böden (Stevenson, 1994).

Die Spektren der OBS(W)- und OBS(PY)-Fraktionen der sandigen Böden (Abb. 2 und 3) lassen erkennen, dass die Zusammensetzung dieser Fraktionen gleichfalls stark durch die Art

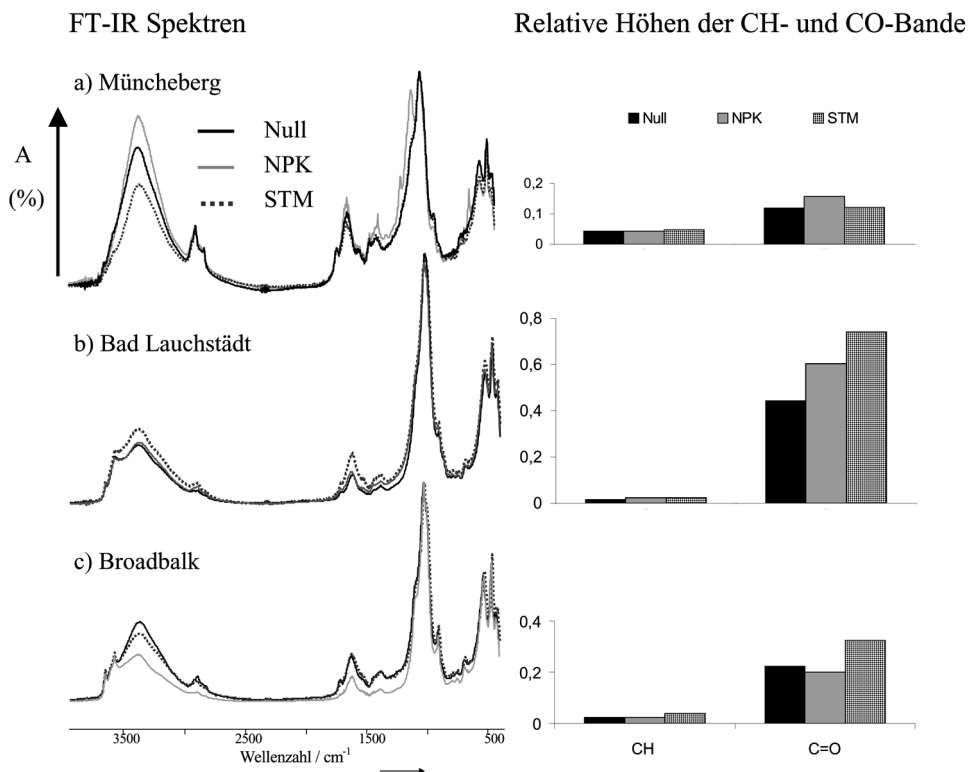


Abbildung 2. FT-IR Spektren der OBS(W)-Fraktionen aus unterschiedlich gedüngten Plots der Langzeitfeldexperimente a) Münchenberg, b) Bad Lauchstädt und c) Broadbalk sowie die relativen Höhen der CH und CO-Banden in den FT-IR Spektren.

Figure 2. FT-IR spectra of OBS(W)-fractions from the differently fertilized soils of the long-term field experiments a) Münchenberg, b) Bad Lauchstädt, and c) Broadbalk as well as the relative heights of the CH and CO bands in the FT-IR spectra.

FT-IR Spektren

Relative Höhen der CH- und CO-Bande

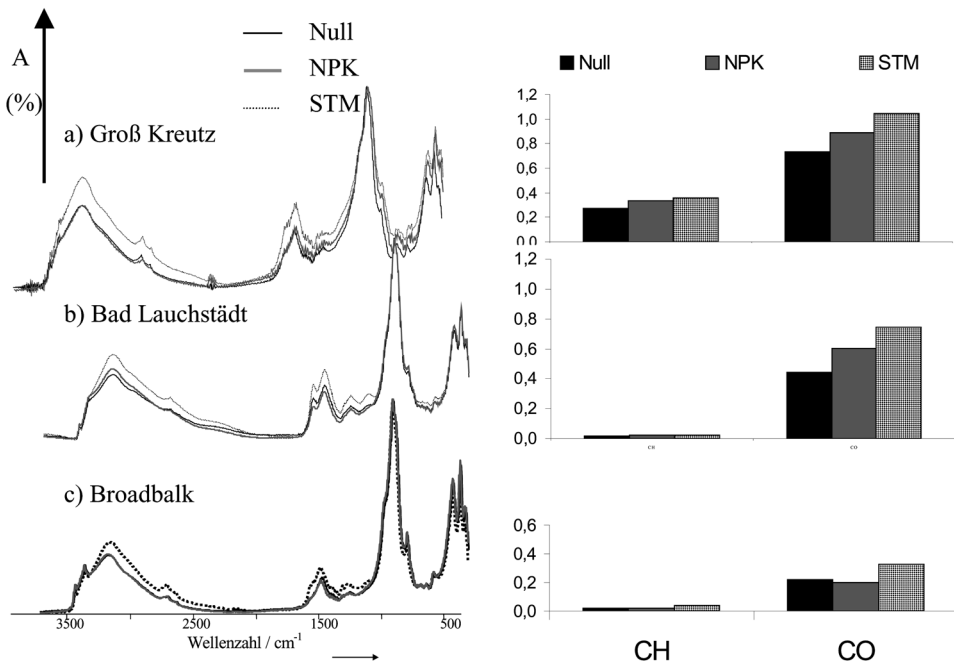


Abbildung 3. FT-IR Spektren der OBS(PY)-Fraktionen aus unterschiedlich gedüngten Plots der Langzeitfeldexperimente (a) Groß Kreutz, (b) Bad Lauchstädt und (c) Broadbalk sowie die relativen Höhen der CH und CO-Banden in den FT-IR Spektren.

Figure 3. FT-IR spectra of the OBS(PY)-fractions from the differently fertilized soils of the long-term field experiments (a) Groß Kreutz, (b) Bad Lauchstädt and (c) Broadbalk as well as the relative heights of the CH and CO bands in the FT-IR spectra.

der Düngung beeinflusst wird. So weisen die FT-IR Spektren der OBS(PY) der STM gedüngten Böden jeweils die intensivsten C=O Banden auf. Die OBS(PY) dieser Böden enthält also mehr C=O Gruppen als die der NPK- oder ungedüngten Böden. Dies ist sowohl für die lehmigen als auch für die sandigen Böden zu beobachten und wurde schon früher an Gesamtextrakten (= OBS(PY) ohne vorherige Entfernung des wasserlöslichen Anteils) sandiger Böden gezeigt (Ellerbrock et al. 1999a,b). Zum Anderen unterscheiden sich auch die OBS(PY)-Fraktionen der beiden Standorte Bad Lauchstädt und Broadbalk, die sich in der Textur kaum unterscheiden. Dies lässt sich vermutlich auf Unterschiede in Niederschlag und seiner Verteilung und der Temperatur sowie auf Unterschiede in Fruchtfolge und im Eisengehalt des Bodens zurückführen. Die genannten Faktoren können vor allem die leicht umsetzbare OBS(W) beeinflussen. Für diese werden auch die größten Differenzen gefunden.

Mit dem Kohlenstoffumsatzmodell ROTH-26.3 wurde die Menge der unterschiedlich stabilen C-Pools für die Langzeitfeldexperimente Bad Lauchstädt, Broadbalk und Müncheberg auf der Basis der langjährigen Klimaverhältnisse und der Bewirtschaftung simuliert. Die berechneten C-Pools wurden den experimentell ermittelten Daten (C_{org} -Werte und OBS(PY)-Auswaagen) gegenübergestellt (Abbildung 4). Wie erwartet korrelieren die C_{org} -Werte der Broadbalkproben (Abbildung 4a) gut mit den berechneten Total-C-Pools. Für die Proben aus Müncheberg und Bad Lauchstädt ergibt sich eine ähnlich gute Korrelation (Abbildung 4a).

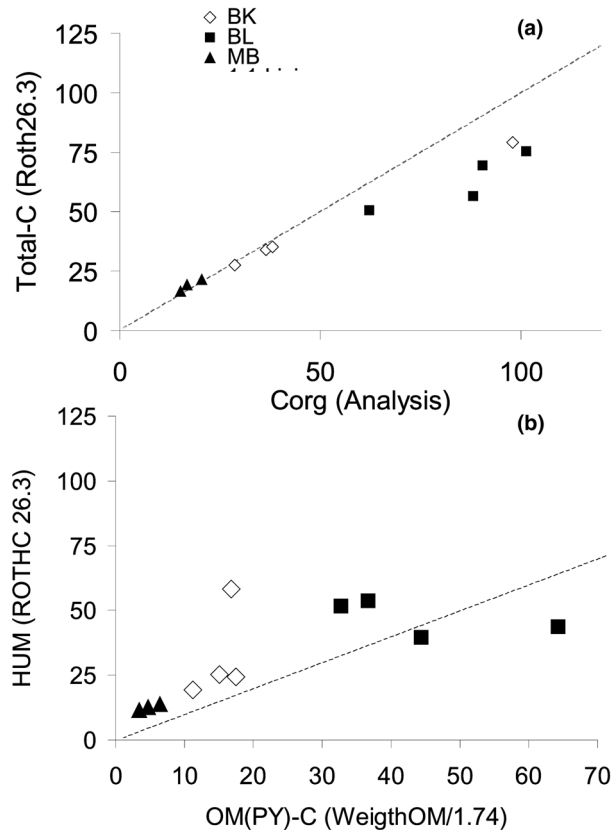


Abbildung 4. Mit ROTH-C26.3 berechnete C-Pools vs gemessene OBS-Mengen jeweils in kgC/ha: (a) Total C-Pool vs C_{org} -Gehalt (Gesamt C) und (b) HUM-Pool vs OBS(PY)-Menge (Stabiler C_{org} -Anteil).

Figure 4. With ROTH-C simulated C-pools vs experimentally determined amounts of soil organic matter (in kgC/ha): (a) Total C-pool vs C_{org} amount (total C) and (b) HUM-Pool vs OBS(PY)-amount (stable part of C_{org}).

Dagegen stimmen die berechneten Mengen des HUM-Pools (HUM steht für humifizierte stabile OBS-Anteile) nicht gut mit den experimentell ermittelten OBS(PY)-Mengen überein. Die Werte der Müncheberger Proben und der Broadbalk Proben liegen zwar dicht an der 1:1 Linie. Jedoch weichen die Daten der Bad Lauchstädter Proben stark von dieser ab. Auf der anderen Seite zeigen $\delta^{13}C$ -Analysen an Proben aus einem Langzeitfeldexperiment in Halle (Ludwig et al. 2003), dass die OBS(PY)-Fraktion einen relativ stabilen Anteil der OBS darstellt. Für die OBS Fraktionen dieses Bodens war es möglich, über $\delta^{13}C$ -Messungen den Anteil an jungem C zu bestimmen, da auf einem Teil der Versuchsfläche in Halle 1963 eine C3-Pflanzenmonokultur (Winterroggen) durch eine C4-Pflanzenmonokultur (Mais) ersetzt (Merbach et al., 1990) und auf einem Teil die C3-Pflanzenmonokultur weitergeführt wurde. Da C3- und C4-Pflanzen das ^{13}C -Isotop in unterschiedlichem Maß anreichern, lässt sich über $\delta^{13}C$ -Analyse der Anteil an jungem (hier maisbürtigem) C ermitteln (Ludwig et al., 2003). Dies ist für die BL-Proben nicht möglich, da hier ein Fruchtwechsel zwischen C3- und C4-Pflanzen nicht stattgefunden hat. Untersuchungen von Ludwig (mündliche Mitteilung, 2004) zeigen zudem, dass die aus $\delta^{13}C$ -Analysen abgeleiteten Umsatzzeiten der OBS(PY)-Fraktionen mit denen vergleichbar sind, die für den HUM-Pool in ROTH-C (26.3) angenommen werden. Daher sollten die Daten der OBS(PY)-Fraktion eigentlich gut zu den

simulierten Mengen des HUM-Pools passen. Abb. 4b zeigt jedoch, dass für die untersuchten Böden gerade das Gegenteil der Fall ist. Daraus läßt sich schliessen, dass das Modell, respektive die in ihm wirksamen Gleichungen, stärker von Standortfaktoren (Tongehalt/-bestand, Eisen-/Mangangehalt u.a.) abhängen, als bislang berücksichtigt, oder die Inputs über Ernte- und Wurzelrückstände nicht korrekt abgeschätzt wurden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Validierung von C-Umsatzmodellen. Darüber hinaus wird es zukünftig möglich, die Modelle um einen qualitativen Term zu ergänzen, um die Ergebnisse der C-Umsatzmodellierung auch für Aussagen zu Änderungen der Sorptionseigenschaften von Böden und somit hinsichtlich ihres Stofftransporteigenschaft zu nutzen.

Schlußfolgerungen

Die sequentielle Extraktion ist prinzipiell zur Isolierung unterschiedlich stabiler OBS-Anteile geeignet. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Zusammensetzung der isolierten OBS-Fractionen durch Düngung und Fruchtfolge beeinflusst werden. Auch chemisch geschützte OBS-Anteile werden langfristig in ihrer Zusammensetzung durch die Art der Düngung verändert. Die Spektren der chemisch geschützten Fraktion (OBS(PY)) der untersuchten Böden zeigen, dass die Stallmistdüngung jeweils die höchsten C=O Gehalte in dieser OBS-Fraktion bedingt. Dies stimmt mit Beobachtungen an anderen Langzeitfeldexperimenten überein (Ellerbrock, 2001). Die Art der Düngung beeinflusst also nicht nur den C_{org} -Gehalt des Bodens, sondern auch die OBS-Zusammensetzung. Letzteres hat Einfluss auf das Kationenaustauschvermögen der untersuchten OBS(PY).

Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen (Ludwig et al., 2003) zeigen, dass OBS(PY) älter ist als OBS(W). Entsprechend sollte OBS(PY) einen stabilen C-Pool repräsentieren. Falls dies grundsätzlich zutrifft, wird es zukünftig möglich sein, isolierte OBS-Fractionen zu nutzen, um einige der in C-Umsatzmodellen verwendeten theoretischen C-Pools experimentell zu ermitteln. Damit wird eine Überprüfung der Poolgrößen mit experimentellen Werten möglich. Weiterhin können die an den OBS-Fractionen bestimmten Eigenschaften genutzt werden, um die C-Umsatzmodelle um einen qualitativen Term zu ergänzen.

Danksagung

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Forsten und dem Ministerium für Land- und Forstwirtschaft des Landes Brandenburg sowie vom Deutschen Akademischen Austauschdienst in Form eines Reisestipendiums (Kooperation mit dem IARC Rothamsted) gefördert. Die Bodenproben aus Broadbalk sowie deren C_{org} und KAK-Werte wurden von Prof. D.S. Powlson, Dr. J. Gaunt und Dr. S. Sohi (IARC Rothamsted) dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Die Probenahme in Bad Lauchstädt wurde durch Prof. Dr. M. Körschens, Dr. I. Merbach und Dr. E. Schulz (UfZ Leipzig/Halle) und die in Groß Kreutz durch Herrn Zimmer (LVL Güterfelde) unterstützt. Herr Rath führte die FT-IR Analysen durch.

Literatur

- Baldock JA, Skjemstad JO. 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organ Geochem* 31:697–710.
- Capriel P. 1997. Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *Eur J Soil Sci* 48:457–462.

- Celi L, Schnitzer M, Nègre M. 1997. Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by a wet chemical method, Fourier-Transform infrared spectrometry and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonance. A comparative study. *Soil Sci* 162:189–197.
- Coleman K, Jenkinson DS, Crocker GJ, Grace PR, Klir J, Körschens M, Poulton PR, Richter DD. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma* 81:29–44.
- DIN 19684. 1977. Part 8: Chemische Laboruntersuchungen: Bestimmung der Austauschkapazität des Bodens und der austauschbaren Kationen. In: Fachnormenausschuß Wasserwesen (FNW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Ed.) Berlin: Deutsche Normen, Beuth Verlag.
- DIN ISO 10694/7a. 1994. Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes und des Gesamtkohlenstoffgehaltes nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse). In: Fachnormenausschuß Wasserwesen (FNW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Ed.) Berlin: Deutsche Normen, Beuth Verlag.
- DIN ISO 10390. (1997) Bodenbeschaffenheit: Bestimmung des pH-Wertes. In: Fachnormenausschuß Wasserwesen (FNW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Ed.) Berlin: Deutsche Normen, Beuth Verlag.
- Ellerbrock RH, Höhn A, Rogasik J. 1999a. Functional analysis of soil organic matter as affected by long-term manurial treatment. *Eur Soil Sci* 50:65–71.
- Ellerbrock RH, Höhn A, Gerke HH. 1999b. Characterization of soil organic matter from a sandy soil in relation to management practice using FTIR spectroscopy. *Plant and Soil* 213:55–61.
- Ellerbrock RH, Höhn A, Gerke HH. 2001. FT-IR Studies on Soil Organic Matter from Long-term Field Experiments. In: Rees RM et al. Sustainable Management of Soil Organic Matter. CABI Publishing 34–41.
- Ellerbrock RH, Gerke HH. 2004. Characterisation of organic matter from aggregate coatings and biopores by Fourier Transform Infrared spectroscopy. *Eur J Soil Sci* 55:219–228.
- FAO. 1990. Guidelines for Soil Profile Description. 3rd Edition. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- Greenwood NN, Earnshaw A. 1984. Chemistry of the Elements. Pergamon Press, Oxford.
- Günzler H, Böck H. 1990. IR-Spektroskopie. Verlag Chemie, Weinheim.
- Hayes MHB. 1985. Extraction of humic substances from soil. In: Humic Substances in Soil, Sediment, and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization (eds GR Aiken, DM McKnight, RL Wershaw, P MacCarthy), pp. 329–362. New York: Wiley Interscience.
- Jenkinson DS, Coleman K. 1994. Calculating the annual input of organic matter to soil from measurements of total organic carbon and radiocarbon. *Eur J Soil Sci* 45:167–174.
- Kaiser M, Ellerbrock RH. 2005. Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment. *Geoderma* (in press).
- Körschens M, Müller A. 1996. The Static Experiment Bad Lauchstädt, Germany. In: Powlson DS, Smith P, Smith JU. (Eds.): *Evaluation of Soil Organic Matter Models – Using Existing Long-Term Datasets*. NATO ASI Series I: Global Environmental Change, Vol. 38. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 369–376.
- Ludwig B, John B, Ellerbrock R, Kaiser M, Flessa H. 2003. Stabilization of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. *Eur J Soil Sci* 54:117–126.
- Merbach W, Schmidt L, Wittenmayer L. 1999. Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale). Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- Nierop KGJ, Buurman P. 1998. Composition of soil organic matter and its water-soluble fraction and young vegetation on drift sand, central Netherlands. *Eur J Soil Sci* 49:605–615.
- Pennock DJ, Frick AH. 2001. The Role of field studies in landscape-scale applications of process models: an example of soil redistribution and soil organic carbon modeling using CENTURY. *Soil Tillage Research* 58:182–191.
- Powlson DS, Smith P, Smith JU. (Eds.) 1996. Evaluation of Soil Organic Matter Models Volume I 38. Berlin: Springer Verlag.
- Randall EW, Mahieu N, Powlson DS, Christensen BT. (1995). Fertilization effects on organic matter in physically fractionated soils as studied by ¹³C NMR: Results from two long-term field experiments. *Eur J Soil Sci* 46:557–566.
- Rogasik J, Obenauf S, Lüttich M, Ellerbrock RH. 1997. Faktoreinsatz in der Landwirtschaft - Ein Beitrag zur Ressourcenschonung (Daten und Analysen aus dem Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch). *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 42:247–263.
- Sohi SP, Mahieu N, Arah JRM, Powlson DS, Madari B, Gaunt JL. 2001. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci Soc Am J* 65:1121–1128.
- Sposito G. 1989. The Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Stevenson FJ. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons, New York.
- Wattel-Koekkoek EJW, Buurman P, van der Plicht J, Wattel E, van Breemen N. 2003. Mean resistance time of soil organic matter associated with kaolinite and smectite. *Eur J Soil Sci* 54:269–278.