

EINFLUSS VON KLIMA UND TEXTUR AUF DIE BIOLOGISCHE AKTIVITÄT BEIM UMSATZ DER ORGANISCHEN BODENSUBSTANZ

UWE FRANKO und BURKHARD OELSCHLÄGEL

*Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung,
Bad Lauchstädt, Deutschland*

Der Umsatz organischer Bodensubstanzen läßt sich durch Kinetiken 1. Ordnung beschreiben. Die Reaktionskoeffizienten sind von der Bodentemperatur und -feuchte sowie den Aervationsverhältnissen im Boden abhängig. Unter Verwendung des Quasistationaritätsprinzips können die Umsatzprozesse in einer biologischen Zeitbasis, der wirksamen Mineralisierungszeit (WMZ), auf einfache und überschaubare Art und Weise beschrieben werden. Die standortspezifischen Werte der WMZ müssen in der Regel durch zeitaufwendige Simulationsrechnungen über verschiedene Fruchtfolgen ermittelt werden. Zur Vereinfachung wurde eine Regressionsgleichung entwickelt, mit deren Hilfe eine Abschätzung der standorttypischen Jahressumme der WMZ bei Kenntnis des Jahresmittels der Lufttemperatur, des Niederschlags sowie des Feinanteilgehaltes im Boden möglich ist.

STICHWÖRTE: organische Bodensubstanz, Umsatz organischer Bodensubstanz, Abhängigkeit von Klima und Textur, Modellierung.

EFFECT OF CLIMATE AND TEXTURE ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL ORGANIC MATTER TURNOVER

The turnover of soil organic matter can be described by first order kinetics. The reaction coefficients depend on soil temperature, soil moisture and soil aeration. With the help of the quasi-stationarity principle the processes of turnover can be formulated and evaluated using a biologically-orientated time base, the so-called efficient mineralization time (EMT). Usually the site-typical values of EMT are calculated by time consuming simulations of different crop rotations. A regression equation has been established in order to simplify this procedure. Mean annual EMT is estimated using mean air temperature, precipitation and the content of clay and fine silt in soil.

KEY WORDS: soil organic matter, turnover of organic matter, climate and texture dependence, modeling.

1. EINLEITUNG

Der Humus bzw. die organische Bodensubstanz (OBS) nimmt für zahlreiche Prozesse und Bodeneigenschaften eine Schlüsselstellung ein. Zur quantitativen Kennzeichnung der organischen Substanz wird häufig der Kohlenstoff (C) benutzt, wobei ein Umrechnungsfaktor von 1,724 vom Humus zum Kohlenstoff unterstellt wird (Kononova, 1958).

Neben den Wechselwirkungen des C-Gehaltes mit wichtigen Bodenfruchtbarkeitskennziffern ist die Akkumulation von Kohlenstoff im Boden auch aus der Sicht der globalen CO_2 -Bilanz von Interesse. Der Kohlenstoffaustausch zwischen Boden und Atmosphäre erfolgt unter Vermittlung der Biomassebildung des Pflanzenbestandes. Die im Boden vorhandene organische Substanz unterliegt einem ständigen mikrobiellen Abbau bis hin zum CO_2 , das über die sogenannte Bodenatmung an die Atmosphäre abgegeben wird. Auf der anderen Seite wird dem Boden über organische Dünger sowie Ernte- und Wurzelrückstände organische Primärschubstanz (OPS) zugeführt, die durch die mikrobielle Aktivität in OBS umgesetzt wird. Dabei ist die Intensität der mikrobiellen Tätigkeit und damit die Wirkung eines bestimmten C-Inputs auf den C-Gehalt des Bodens in hohem Maße von den durch Klima und Bodentextur vorgegebenen Standortbedingungen abhängig. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Darstellung eines Modells zur Quantifizierung der Standortwirkung auf den Umsatz von organischen Substanzen im Boden, das die Voraussetzung zur Quantifizierung der bewirtschaftungsspezifischen C-Akkumulation bildet.

2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Wesentliche Umweltbedingungen für die mikrobiellen Umsatzprozesse von OBS und OPS sind die Bodentemperatur, der Bodenwassergehalt und die Aeration des Bodens. Für jede dieser Umweltbedingungen gibt es ein Optimum, bei dem die Umsatzprozesse mit größtmöglicher Geschwindigkeit ablaufen. Unter der Annahme, daß sich die Umsatzprozesse der verschiedenen Formen organischer Substanzen durch Reaktionskinetiken 1. Ordnung beschreiben lassen, lautet die Reaktionsgleichung für eine einfache Zerfalls- oder Bildungsreaktion unter (konstanten) Optimalbedingungen:

$$dG/dt = kG \quad (1)$$

mit

t : Zeit,

k : Reaktionsgeschwindigkeitskoeffizient (Konstante),

G : Menge der betrachteten organischen Substanz

Optimalbedingungen sind im allgemeinen nur bei speziellen Experimenten im Labor einzuhalten. Im Freiland erfolgt der Umsatz wesentlich langsamer. Der Grad der Verlangsamung wird häufig durch eine Reduktionsfunktion R angegeben, deren Wert in Abhängigkeit von den betrachteten Umweltgrößen zwischen 0 und 1 schwankt:

$$dG/dt = kR(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) G \quad (2)$$

mit

R : Reduktionsfunktion in Abhängigkeit von den zeitveränderlichen Umweltgrößen x_1, x_2, \dots, x_n

Man kann diese Verlangsamung jedoch auch als Zeittransformation auffassen. Danach ist nur der durch die Reduktionsfunktion angegebene Bruchteil (t') der Kalenderzeit (t) für die Umsatzprozesse wirksam:

$$t' = tR(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)). \quad (3)$$

Der Umsatz organischer Substanzen erfolgt bezüglich der Zeiteinheit eines Tages relativ langsam. Unter Anwendung des Quasistationaritätsprinzips sind für Zeitspannen eines Tages die Umweltgrößen $x_1(t), \dots, x_n(t)$ und damit auch die Reduktionsfunktion R als Konstante anzusehen. Unter dieser Voraussetzung erhält man aus (2) und (3) nach Variablensubstitution in der Differentialgleichung (2) eine Reaktionsbeschreibung, die formal mit dem Ansatz für optimale Bedingungen identisch ist:

$$dG/dt' = kG. \quad (4)$$

Daran anlehnend wurde für t' nach Kartschall (1986) der Begriff 'Wirksame Mineralisierungszeit' (WMZ) geprägt. Die WMZ ist immer ein Bruchteil der Kalenderzeit und gibt an, wieviel Tage unter optimalen Bedingungen im Labor erforderlich wären, um bei einem gegebenen Standort die gleiche Umsatzleistung wie im Freiland zu erzielen. Zur Standortkennzeichnung ist vor allem die WMZ eines Kalenderjahres von Interesse, um dem Jahreszyklus der landwirtschaftlichen Produktion Rechnung zu tragen.

Der Vorteil von (4) als Differentialgleichung mit konstanten Koeffizienten besteht in der einfachen Berechenbarkeit ihrer Lösungen, was für eine Implementierung dieses Konzepts in Bodensimulationsmodelle günstig ist. Das WMZ-Prinzip ist weiterhin für Systeme von Reaktionsgleichungen 1. Ordnung anwendbar, sofern für alle eingehenden Reaktionsgeschwindigkeitskoeffizienten der gleiche Reduktionsfunktionsterm gültig ist. Damit lassen sich die Transformationsprozesse verschiedener Fraktionen der organischen Bodensubstanz durch Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen beschreiben (Franko, 1989).

Als gute Möglichkeit zur Modellierung des Umwelteinflusses auf den Kohlenstoff-Stickstoff Umsatz erwies sich die Darstellung der Reduktionsfunktion R in (1) durch einen separablen Ansatz für den Einfluß der Bodentemperatur T , der Bodenfeuchte F sowie der Aervationsverhältnisse A :

$$R = R(T, F, A) = R_T(T) R_F(F) R_A(A). \quad (5)$$

Die Reduktionsfunktion R_F für den Einfluß der Temperatur wird auf der Basis des Van't Hoff-Gesetzes formuliert. In dem hier realisierten Modell wird unterstellt, daß Temperatursteigerungen über 35 °C keine weitere Änderung der Aktivität bewirken:

$$R_T(T) = Q^{(T-35)/10} \quad \text{für } T \leq 35, \text{ sonst } 1 \quad (6)$$

mit

T : Bodentemperatur in °C,
 $Q = 2, 1$ (Franko, 1989).

Auf die Abbildung des Rückgangs der Umsatzaktivität bei hohen Temperaturen konnte verzichtet werden, da derartige Temperaturwerte im Boden der zu betrachtenden Standorte praktisch nicht erreicht werden.

Zur Beschreibung der Bodenfeuchtwirkung wird ein Ansatz nach Freytag et al. (1985) verwendet:

$$R_F(F) = 4 v(1-v) \quad \text{für } v \leq 0,5; \text{ sonst } 1. \quad (7)$$

mit

$$v = F/PV,$$

F : volumetrische Bodenfeuchte,

PV : Porenvolumen.

Die Reduktionsfunktion für den Wassereinfluß wurde so abgewandelt, daß nur der ansteigende Ast der Funktion $f(v) = 4 v(v-1)$ bis zum Optimalwert $v=0,5$ verwendet wird. Für darüber hinausgehende Werte von v wird keine weitere Veränderung der Reduktionsfunktion für den Wassergehalt unterstellt. Diese Modifikation trägt der Tatsache Rechnung, daß die experimentell zu beobachtende Verringerung der Umsatzaktivität bei sehr feuchtem Boden nicht durch das Wasser an sich, sondern durch die verringerte Durchlüftung bewirkt wird.

Bei der Beschreibung der Aerationwirkung auf den Umsatz organischer Substanzen wird berücksichtigt, daß die Durchlüftung um so schlechter ist, je geringer das Luftvolumen ist und je tiefer sich das betrachtete Volumenelement im Boden befindet.

Diese Dämpfung der Umsatzaktivität mit zunehmender Bodentiefe wird in Abhängigkeit von der Textur beschrieben. Zur Quantifizierung der Textur dient dabei der Feinanteilgehalt des Bodens. Die Reduktionsfunktion zur Beschreibung der Aeration lautet (Franko, 1989):

$$R_A(\varepsilon_L, h, FAT) = \exp\left(-h^* \sqrt{\frac{\vartheta(FAT) * R_T(T) * R_F(F)}{\varepsilon_L * (\varepsilon_L - \varepsilon_P)}}\right) \quad (8)$$

mit

h : Bodentiefe (cm)

FAT : Feinanteilgehalt des Bodens in Masse-% (Korngrößen $\leq 6.3 \mu\text{m}$ d.h. Ton+Feinschluff)

ε_P : relatives pocket-Volumen (konstanter Parameter)

ε_L : relatives Luftvolumen

$\vartheta(FAT)$: vom Feinanteilgehalt des Standortes abhängiger Parameter.

Da für die meisten Standorte keine durchgehenden Messungen von Bodentemperatur und -feuchte vorliegen, ist zur praktischen Ausführung von WMZ-Berechnungen ein Bodenzustandsmodell für diese Größen erforderlich. In dem Bodensimulationssystem CANDY (Engel et al., 1993) sind sowohl Submodelle zur Temperatur- und Wasserdynamik als auch ein Modul zur Berechnung der WMZ integriert. CANDY arbeitet in Tagesschritten und benötigt neben Bodenparametern Daten zu Niederschlag, Globalstrahlung und Lufttemperatur sowie die Bewirtschaftungsdaten (Aufgang, Ernte, Bodenbearbeitung, Düngung).

Durch Addition der WMZ-Tageswerte zu Jahreswerten ist man in der Lage, verschiedene Wettersituationen oder Standorte miteinander zu vergleichen. Ermittelt man die WMZ-Jahreswerte über einen hinreichend langen Zeitraum (ca. 15 Jahre), so erhält man einen repräsentativen Mittelwert und kann mit dessen Hilfe die Reproduktion der organischen Substanz relativ gut abschätzen.

3. ABLEITUNG EINER NÄHERUNGSFORMEL

Zur Anwendung des WMZ-Konzeptes auf größere geographische Einheiten (Agrarökosysteme) ist es vorteilhaft, die WMZ-Jahressummen ohne Simulationsexperimente aus einfach auswertbaren Regressionsbeziehungen unter Verwendung vorliegender Standortdaten bestimmen zu können. Aus der bekannten Berechnungsvorschrift (3) bis (6) der WMZ kommen dafür die bodenphysikalischen Parameter, das Standortklima sowie der Pflanzenbestand (bzw. die Fruchtfolge) in Frage, da sie Bodentemperatur und -wassergehalt bestimmen.

Von experimentellen Untersuchungen her ist bekannt (Körschens, 1980), daß der Abbau organischer Substanzen wesentlich durch die Textur des Bodens beeinflusst ist. Der Feinanteilgehalt des Bodens als ein wesentliches Texturmerkmal wurde als bodenspezifische WMZ-Einflußgröße für die aufzustellende Regressionsbeziehung ausgewählt.

In numerischen Experimenten zeigte sich, daß der Einfluß verschiedener Fruchtfolgen auf den Jahres-WMZ-Wert unkritisch war, sofern man sinnvolle, dem Standorttyp entsprechende Fruchtarten in den Rotationen unterstellte. Entsprechend wurde der Fruchtfolgeeinfluß in dem Regressionsansatz vernachlässigt.

Als Witterungsgrößen wurden das Jahresmittel der Lufttemperatur (LTEM) und die Jahresniederschlagsmenge (NIED) in die Regressionsbeziehungen aufgenommen. Die Globalstrahlung als weitere in Bodenzustandsmodellen häufig verwendete Witterungsgröße in der speziellen Form des Jahresmittels verbesserte die Anpassungsgüte der untersuchten Regressionsmodelle unwesentlich und wurde deshalb nicht einbezogen.

Die für die Parametrisierung einer Regressionsbeziehung notwendigen 'Beobachtungen' der WMZ wurden aus Simulationsläufen gewonnen. Dazu erfolgte aus einer Witterungsdatenbank eine Auswahl der Beobachtungsergebnisse von 11 Stationen, von denen jeweils mindestens 15 Jahre Witterungsaufzeichnungen vorlagen und die den gesamten Wertebereich standortspezifischer Kombinationen von Lufttemperatur und Niederschlag möglichst gut überdeckten (Abb. 1).

Die Witterungsdaten wurden zur Parametrisierung eines statistischen Wettergenerators verwendet (Oelschlägel, 1992, 1993). Er ist ein hilfreiches Simulationswerkzeug, um von einem Standort beliebig viele Jahresverläufe mit synthetischer Witterung bereitzustellen.

Dem Wesen nach ist dieser Generator ein Modell über die zu synthetisierenden Witterungselemente in Form von statistischen Verteilungsannahmen. Diese Verteilungsfunktionen enthalten noch freie Parameter. Diese Parameter werden mit Hilfe realer Wetterbeobachtungen des betrachteten Standortes den konkreten Gegebenheiten angepaßt. Dabei wird implizit eine stochastische Stationarität der

Jahresniederschlagssumme in mm

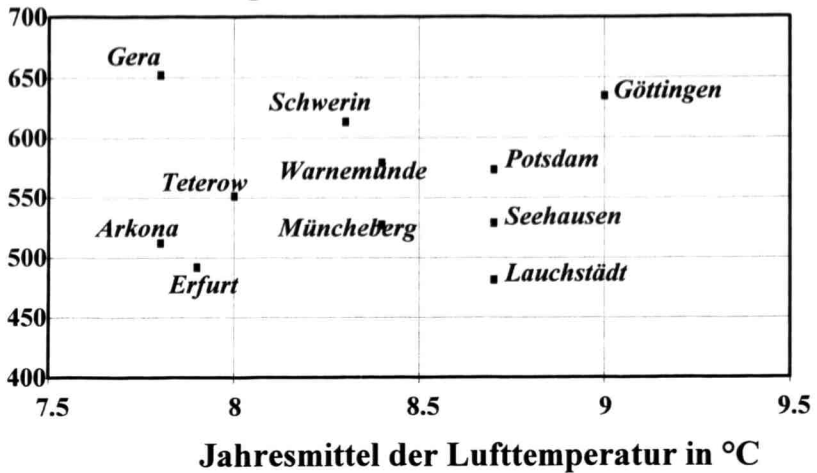


Abb. 1 graphische Darstellung der Jahrescharakteristika der ausgewählten Wetterdaten von 11 Stationen

Witterung bezüglich verschiedener Jahre sowie aus Gründen der Sparsamkeit an eingesetzten Parametern auch für den Zeitraum eines Monats vorausgesetzt.

Nach der Festlegung aller Verteilungen kann mit Hilfe eines Pseudo-Zufallszahlengenerators die dem jeweiligen Tag entsprechende Witterung 'ausgespielt' werden.

In den folgenden Untersuchungen wurde ein spezieller Wettergenerator verwendet, der Tageswerte von Lufttemperatur, Niederschlag sowie Globalstrahlung bereitstellt. Diese Größen sind für die Simulationsläufe des Systems CANDY erforderlich. Die Parametrisierung erfolgte für jeweils einen Monat im Block mit folgenden Verteilungsannahmen:

- Das Auftreten von Niederschlag an einem Tag ist eine Zufallsgröße, die den Regeln einer homogenen Markov-Kette 1. Ordnung gehorcht. An Tagen mit Niederschlag verhält sich die Niederschlagsmenge wie eine Weibull-verteilte Zufallsgröße mit einem monatspezifischen Parametersatz.
- Lufttemperatur und Globalstrahlung sind Komponenten eines normalverteilten Zufallsvektors. Die Werte des gleichen Tages sind korreliert. Die Persistenz beider Wetterelemente zu eng benachbarten Terminen wird durch ein vektorielles, autoregressives Modell 1. Ordnung in den standardisierten Werten berücksichtigt. In Abhängigkeit davon, ob am vorliegenden Tag Niederschlag auftritt oder nicht, gehen unterschiedliche Parameterwerte in die Berechnung ein. Dadurch soll dem explizit nicht berücksichtigten Faktor Bewölkung Beachtung geschenkt werden.

Die Verwendung des Wettergenerators erwies sich in den Simulationsläufen zur Berechnung der standorttypischen WMZ-Jahressumme als vorteilhaft. Um den Einfluß der verschiedensten Kombinationen von Fruchtarten und speziellen Jahreswitterungen berücksichtigen zu können, wurden Langzeitsimulationen über 40 Rotationen mit dreigliedrigen Fruchtfolgen durchgeführt und deren Ergebnisse gemittelt. Reale Wetterdaten dieses Umfangs sind dagegen praktisch nicht zu erhalten.

Zur Ableitung einer Näherungsformel für den Jahreswert der WMZ wurden mit der Witterung der in Abb. 1 aufgeführten Standorte Simulationsläufe auf verschiedenen Stufen des Feinanteilgehaltes (FAT) zur WMZ-Bestimmung durchgeführt (vgl. Tabelle 1).

Eine erste statistische Untersuchung der Simulationsergebnisse zeigte, daß die WMZ-Variabilität deutlich besser durch die Größe FAT als durch die Kombination der Witterungsgrößen Lufttemperatur (LTEM) und Niederschlag (NIED) beschrieben werden konnte. Im Ergebnis der statistischen Betrachtung verschiedener polynomieller Ansätze in LTEM und NIED bei jeweils konstanten FAT-Stufen entstand letztlich das folgende Modell:

$$WMZ(FAT, LTEM, NIED) = P_0(FAT) + P_1(FAT) * LTEM + P_2(FAT) * NIED \quad (9)$$

Die Parameter P_0 , P_1 und P_2 wurden für die FAT-Stufen 6, 8, 11,5, 22, 32 und 44 M% bestimmt und sind gemeinsam mit weiteren Resultaten der Regressionsrechnung mit Modell (9) in Tabelle 1 aufgeführt. Die Werte für die mittlere Abweichung der Modellwerte (9) und der Simulationsergebnisse übersteigen nicht den Wert von 1 d, was im Rahmen der erreichbaren Genauigkeiten als ausreichend angesehen werden kann.

Für die Gl. (9) ist charakteristisch, daß der absolute Fehler bei der Approximation der WMZ-Jahressumme mit steigendem FAT-Gehalt bei gleicher Witterung fällt, als Beispiel können die Werte in Tabelle 2 auf der Basis der Witterung des Standortes Bad Lauchstädt dienen.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Regressionsergebnisse nach Gl. (9) für verschiedene Werte des Feinanteils (FAT): Schätzwerte der Koeffizienten (P_0 , P_1 , P_2), Wurzel aus mittlerer quadratischer Abweichung zwischen Daten und Modell (RMS) und Bestimmtheitsmaß (B)

FAT (Masse-%)	P_0	P_1	P_2	RMS (in d)	B
6	9,0870	3,3541	0,015698	0,96	0,81
8	10,2234	3,1825	0,01325	0,92	0,79
11,5	14,5547	3,0629	0,003204	0,80	0,77
15	23,0218	2,1824	-0,009797	0,58	0,82
22	23,6263	2,1698	-0,02726	0,83	0,87
32	22,9473	2,0054	-0,03232	0,97	0,86
44	22,9300	1,8676	-0,03178	0,94	0,87

Tabelle 2 Vergleich der Werte der WMZ-Jahressumme, berechnet durch Simulation sowie approximiert nach Gl. (9), Witterung: Bad Lauchstädt

FAT-Stufe (Masse-%)	WMZ (d) Simulation	WMZ (d) nach Formel (9)
6	47,2	46,4
8	45,7	44,9
11,5	44,2	43,6
15	38,7	38,2
22	30,8	30,7
32	26,0	26,2
44	25,0	25,2

4. DISKUSSION

In Tabelle 3 ist für einige Dauerversuchsstandorte die nach der dargestellten Methodik Gl. (9) ermittelte WMZ-Jahressumme ausgewiesen. Zur Bewertung der praktischen Verwertbarkeit dieser Kennzahl für die standorttypische Umsatzaktivität sind die von Körschens (1980) aus Dauerversuchen abgeleiteten Werte der C-Akkumulation gegenübergestellt. Die C-Anreicherung bezieht sich dabei auf die Differenz im C-Gehalt bei einer jährlichen Stalldunggabe von 50 dt/ha gegenüber einer Variante ohne organische Düngung.

Bezieht man die Kohlenstoffzufuhr zum Boden nicht auf die Kalenderzeit, sondern auf die biologisch wirksame Zeit (hier: WMZ), so erhält man den C-Input aus der Sicht des biologischen Systems. Unterstellt man weiter, daß in den einzelnen Fällen die Qualität des eingesetzten Stalldungs vergleichbar war, dann muß die C-Akkumulation diesem Fluß proportional sein. Abb. 2 stellt diesen Sachverhalt graphisch dar. Die Abweichungen von der Ideallinie sind durch den Einfluß der verschiedenen Fruchtfolgen und durch die Variabilität der Stalldungeigenschaften zu erklären.

Tabelle 3 WMZ-Jahressumme nach Modell (9) sowie C-Akkumulation der organischen Bodensubstanz bei jährlicher Stalldunggabe von 50 dt/ha (C-Differenz)

Standort	WMZ (d)	C-Differenz in M%
Thyrow	46,1	0,07
Rostock	45,8	0,1
Seehausen	37,4	0,13
Bad Lauchstädt	26,7	0,2

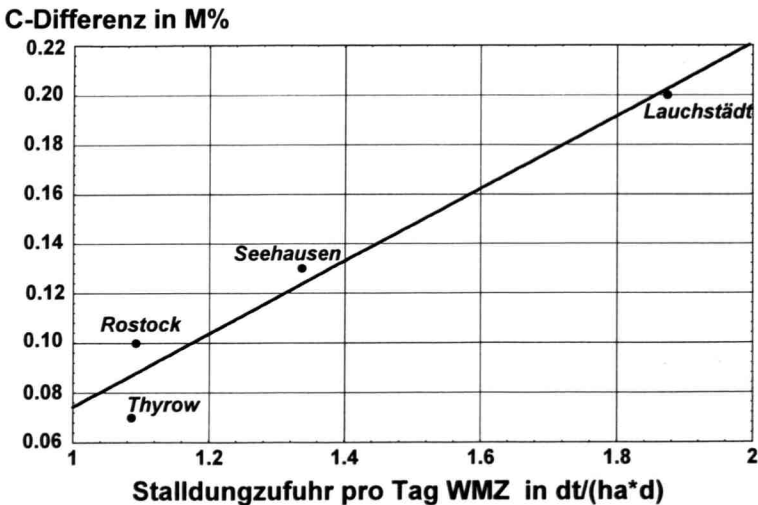


Abb. 2 C-Akkumulation(M%) in Abhängigkeit von der Stalldungzufuhr pro Tag WMZ für ausgewählte Versuchsstandorte. Angaben der C-Akkumulation bei jährlichem Stalldung-Input von 50 dt/ha nach Körschens (1980)

Danksagung

Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Förderkennzeichen 01 LK 9106/2) gefördert.

Literatur

- Engel, Th.; Klöcking, B.; Priesack, E.; Schaaf, Th.: Simulationsmodelle zur Stickstoffdynamik. *Schriftenreihe Agrarinformatik*, Bd. 25 (1993), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 99–110
- Franke, U.: C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanzen im Boden. *Dissertation B, AdL Berlin* (1989), 140 S.
- Freytag, H.E.; Lüttich, M.: Zum Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenatmung unter Einbeziehung der Trockenraumdichte. *Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde*, Bd. 29, Heft 8 (1985), S. 485–492
- Kartschall, T.: Simulationsmodell der Bodenstickstoffdynamik. *Dissertation A, AdL Berlin* (1986), 150 S.
- Kononova, M. M.: Die Humusstoffe des Bodens. *Dt. Verl. d. Wiss.*, Berlin (1958), S. 36
- Körschens, M.: Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. *Dissertation B, AdL, FZB Müncheberg, B. Bad Lauchstädt* (1980).
- Oelschlägel, B.: Zur Anwendung eines Wettergenerators bei der Modellierung von Bodenprozessen. *Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik*, Bad Lauchstädt (1992), S. 131–140
- Oelschlägel, B.: Möglichkeiten zur Prognose der Auswirkung vermuteter Klimaveränderungen auf die Prozesse der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik des Bodens. *Referate der 14. GIL-Jahrestagung*, Leipzig (1993), S. 73–77