

## Untersuchungen zur Kohlenstoffdynamik und Bioturbation von Mollisolen

*H. W. Scharpenseel, K. Tsutsuki\*, P. Becker-Heidmann und J. Freytag*

Ordinariat für Bodenkunde der Universität Hamburg, Allendeplatz 2 D-2000 Hamburg 13

\* Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Nagoya University Chikusa, Nagoya, 464 Japan

Eingegangen: 22. November 1985

Angenommen: 28. Januar 1986

### Zusammenfassung – Summary

Alterskurven gegen Bodentiefe zeigen je nach langsamer Entstehung über Pararendzinastadium oder schnellerem Tiefenwachstum des Epipedons unter eher anmoorigen Bedingungen flacher gestreckte oder steilere Gestalt mit eindeutiger Alterszunahme in die Tiefe. Dies und  $^{14}\text{C}$ -Daten mit Regressionen unterschiedlicher Steigungskoeffizienten  $X$  von Mollisolen zeigen, daß Bioturbation nicht einer gleichmäßigen Durchmischung der C-Atome unterschiedlichen Alters entspricht. Höchste  $X$ -Werte kennzeichnen steilste Alterszunahme in die Tiefe und schwächste Bioturbation. Alter/Profilmaximalalter gegen Tiefe aufgetragen ergibt eine Abbaubeziehung. Die steilen Regressionsgeraden stehen für älteste C-Spezies und stärksten Abbau des jungen Materials, die flachen für langsamen Abbau. Vergleichende  $^{14}\text{C}$ -Alter von Kornfraktionen der Feuchtschernoseme „Asel“ und „Söllingen“ ergeben Altersmaxima im Mittel- und Feintonbereich. Körper-C schichtweise gesammelter Regenwürmer ist aus allen Tiefen rezent ( $> 100\%$  NBS). Messungen zum Abbau in verschiedenen Bodentiefen zweier Feuchtschernoseme zeigen beim neutralen Ackerboden wie auch beim sauren Waldboden abnehmende  $\text{CO}_2$ -Freisetzung aus Material wachsender Tiefe.

### Investigations regarding carbon dynamics and bioturbation in Mollisols

Bioturbation in Mollisols (mollic horizons) is not really leading to a homogenisation of C-atoms of different  $^{14}\text{C}$ -ages. Age versus depth curves indicate rather flatly stretched or steeper shapes, dependent on either slow development via an extended pararendzina phase or faster growth of the mollic epipedon under more half bog like conditions.

$^{291}\text{ }^{14}\text{C}$ -dates of Mollisols versus depth of soil result in one mutual and several individualized regression lines for the countries of origin with variable coefficients of  $X$ . Highest levels of  $X$  indicate steepest increase of age towards depth, i.e. weakest bioturbation in the sense of homogenization. When eliminating 16 sand covered Mollisol samples from Tunisia 275 dates remain, which, plotted as age/profile maximum age versus depth, produce regressions of the date collectives of different countries in relation to organic matter decomposition. The steepest regression line indicates maximization of old carbon species and most intensive decomposition of the young organic matter; the flat ones stand for slowed down decomposition.

Comparative  $^{14}\text{C}$ -dates of texture fractions of the aquatic Hapludolls „Asel“ and „Söllingen“ show age maxima in the middle clay and fine clay fractions.

$^{14}\text{C}$ -dating of the body – C of layerwise collected earthworms as well as of fillings of fossil rainworm or *Citellus* tracks reveal for the worm – C exclusively recent bomb – C ( $> 100\%$  NBS)

with youngest C species in the top soil and in the greatest depth of the soil profile. The fossil rainworm and *Citellus* track-fillings are above the measured total soil age.

Studies of the decomposition of organic matter from different soil depth indicate in case of the almost neutral agricultural soil „Söllingen“ expectedly lowest CO<sub>2</sub>-release from the organo-minerally stabilized soil layer at maximum depth (in mgC/100 g soil as well as in mg C/g C<sub>org</sub>).

In case of the more acid forest soil „Asel“ the same trend of diminishing CO<sub>2</sub> release with depth prevails at normal soil-pH as well as under condition of uniformly adjusted pH to 7.5–8.3. The two deepest layers (80–100 cm) fall of the trend by higher rates of decomposition. The unfavorable ratio of organic C (0.139 %) versus carbonate-C (1.54 %) under synchronous pH-increase is considered responsible.

## Einleitung

Die Klassiker der Bodenkunde wie *Dokuchaev* (1883) und *Hilgard* (1893) versuchten die Humusentstehung wie seinen Transport und seine Verteilung in Tschernosemen weitgehend durch bioklimatische Vorgaben zu erklären, was auch bei *Kononova* (1969) mit ihren Humus Typ I–III-Regionen, welche sich durch bestimmte Huminsäure/Fulvosäure-Verhältnisse unterscheiden, noch weitgehend durchdringt.

Demgegenüber heben die Autoren der deutschsprachigen bodenkundlichen Textbücher zur Erklärung des tiefhumosen Epipedons der Mollisole einhellig besonders auf die biodynamischen, durch das Edaphon gesteuerten Mischungsprozesse ab (*Mückenhausen*, 1966 (S. 91), 1974 (S. 393); *Schroeder*, 1984 (S. 95), 1984 (S. 84); *Kuntze et al.*, 1983 (S. 290); *Scheffer-Schachtschabel*, 1984 (S. 78, 343). *Scheffer/Schachtschabel* und Mitarbeiter (1984, S. 343) verweisen einerseits – dem üblichen Modell folgend – auf die völlige Vermischung von Streu und oberem Mineralboden und erwähnen die Schätzung von *Borst* (1968), dergemäß z.B. kalifornische Regosole alle 360 Jahre bis zu 75 cm Tiefe völlig durch die Tätigkeit von Bodenhörnchen homogenisiert werden. Ferner heben sie die besondere Transportleistung der Regenwürmer von meist koprogenen Produkten zur Oberfläche hervor, welche bis zur „Beerdigung“ der ursprünglichen Oberfläche führt, was bereits von *Darwin* beobachtet und durch *Stöckli* (1950) als jährlicher Auftrag in Größenordnung von 10 bis 80 t/ha quantifiziert wird.

Dem Bioturbationsmodell völliger tiefgründiger Vermischung der organischen Substanz in Mollisolen bis hin zur weitgehenden Homogenisierung stehen andererseits Ergebnisse aufgrund von schichtweiser Radiokohlenstoffdatierung von Tschernosemen und basenreichen Braunerden entgegen, welche ähnlich wie bei nur unter schwacher Peloturbation stehenden Vertisolen (*Scharpenseel et al.*, 1986) eine deutliche Alters-Tiefen-Funktion erkennen lassen, also eher für den oberflächlichen Auftrag koprogener Produkte als für eine in voller Tiefe des mollischen Epipedons stattfindende intensive Homogenisierung sprechen. Verschiedene Autoren bestätigten den Alters-Tiefen-Gradienten (*Östlund und Engstrand*, 1963; *Paul, et al.*, 1964; *Kohl und Quitta*, 1966; *Scharpenseel et al.*, 1968; *Scharpenseel*, 1971, 1972; *Scharpenseel und Schiffmann*, 1977 a, b).

Von *Duchaufour* wurden (1972, 1977), offenbar in Erkenntnis dieser die Interpretation komplizierenden Gegebenheiten, die Mischprozesse differenzierter betrachtet und wurde bei der Behandlung der Bodenbildungsprozesse (*Duchaufour*, 1972) auf die Humusbildung versus Trockenzeit (*Nguyen Kha*, 1969) und die von *Paul et al.* (1964) erkannten hohen Alter der organischen Substanz der Mollisole zwischen 1000 und 2000 Jahren, in der „Pedology“ (*Duchaufour*, 1977) zusätzlich auf die Humusfraktionen verschiedenen Alters aufmerksam gemacht.

In *Duchaufour* (1984) wird auch die Bioturbation als Homogenisierungsprozeß dargestellt, aber (S. 127) auf einen oberflächlich verbleibenden, löslichen Teil der organischen Substanz verwiesen.

Die mischende Wirksamkeit der Regenwürmer wird ferner von *Fink* verantwortlich gemacht für die Aufzehrung des Bv-Horizonts bei der Regradierung von Braunerden in der Marchniederung sowie in deluvialen Lössen westlich Budapest zu Tschernosemen. Die zwischenzeitliche, unterhalb des Bv in etwa 80 cm Tiefe, vollzogene Ausbildung eines tieferen Bereichs des Ah-Horizonts führt zur Durchdringung des Bv von unten und zu seiner Aufarbeitung in den gemeinsamen Ah (*Fink*, 1963). Desgleichen wurden von *Fink* (1964) durch anthropogene Bodennutzung und Mischungsprozesse regradierte Tschernoseme auf Löß und Flugsanddecken des pannonischen Raums beschrieben, welche von *Franz* (1955) im anschließenden ungarischen Raum bereits als Paratschernoseme bezeichnet worden waren.

*Zöttl und Kußmaul* (1967) diskutieren solche Regradierungsprozesse durch Regenwurmaktivität als Gegengewicht zur Lessivierung, auf welche Möglichkeit bei Tschernosemen mit schwacher Lessivierung auch von *Blume* (1963) verwiesen wurde.

### Material und Methoden

Diese Arbeit faßt alle eigenen  $^{14}\text{C}$ -Daten von Mollisolen (291 Profildaten) zusammen gemäß Stand 1985, zuzüglich neuer Daten von Mollisol-Körnungsfraktionen und von aus verschiedenen Tiefen zweier Mollisole entnommenen Regenwurmläibern sowie Regenwurm- und Zieselgang-Füllungen. Hinzu kommen *in vitro* Untersuchungen zum Abbau der organischen Substanz aus verschiedenen Entnahmetiefen zweier Mollisole, einem Ackerstandort im Raum Söllingen, südlich von Schöningen und einem Profilaufschluß im Aseler Wäldchen der Hildesheimer Börde\*.

Die  $^{14}\text{C}$ -Datierung wurde nach der Methode der Benzolsynthese mit Hilfe des Chromatokatalsators durchgeführt (*Scharpenseel und Pietig*, 1968/69). Die Abbaueversuche wurden in Weggläsern durchgeführt. Die in einem zentral eingesetzten 100 ml Becherglas vorgelegten 25 ml 0,1 n NaOH wurden nach Zugabe von 3 ml 3 n  $\text{SrCl}_2$ -Lösung regelmäßig mit 0,1 n HCl gegen Phenolphthalein rücktitriert zur Berechnung der  $\text{CO}_2$ -Absorption als Differenz zwischen Bodenprobe und Leerwert (*Scharpenseel et al.*, 1984). Für die Auftrennung der Korngrößenfraktionen bei 0,004 m Na-pyrophosphatlösung eingestelltem pH von 8,5 bis 9,0 nach vorausgehender Ultraschallpeptisation wurden die üblichen Sedimentations- (Schluff-Fraktionen) und Zentrifugationsmethoden (Tonfraktionen) verwandt und folgende Fraktionen präpariert:  $\text{D} < 0,25 \mu$ ;  $0,25 \mu < \text{D} < 0,50 \mu$ ;  $0,50 \mu < \text{D} < 1,0 \mu$ ;  $1,0 \mu < \text{D} < 2,0 \mu$ ;  $2,0 \mu < \text{D} < 20 \mu$ ;  $20 \mu < \text{D}$ .

\* Söllingen: Coarse silty, mixed, non calcareous, mesic, entic Hapludoll  
Asel: Coarse silty, mixed, non acid, mesic, cumulic Hapludoll

## Ergebnisse

In Abb. 1 sind alle  $^{14}\text{C}$ -Daten untersuchter Mollisole mit Meßalter gegen Tiefe dargestellt. Der Altersgradient zur Tiefe ist klar erkennbar und für die verschiedenen Herkunftsländer der Proben durch getrennte Regressionskurven ausgewiesen. Im Gegensatz zu Messungen an Vertisolprofilen, wo oftmals bis zur Schrumpfriftiefe das  $^{14}\text{C}$ -Alter aufgrund der Peloturbation nur geringen Anstieg zeigt (Scharpenseel et al., 1986), ergeben die Mollisole meist von der Oberfläche an abwärts kräftig zunehmende  $^{14}\text{C}$ -Daten, steiler – wie früher bereits dargelegt (Scharpenseel et al., 1968; Scharpenseel, 1972) – bei einer Genese über ausgedehnte Pararendzinaphase, bis zu mehreren

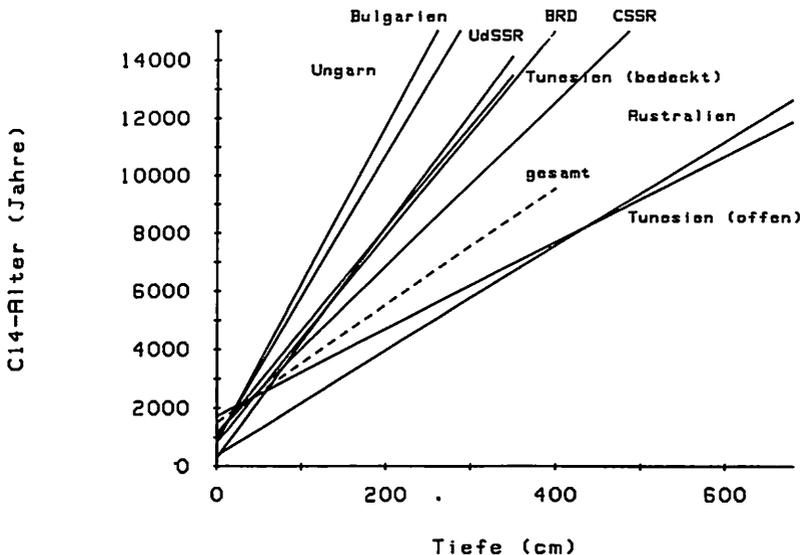
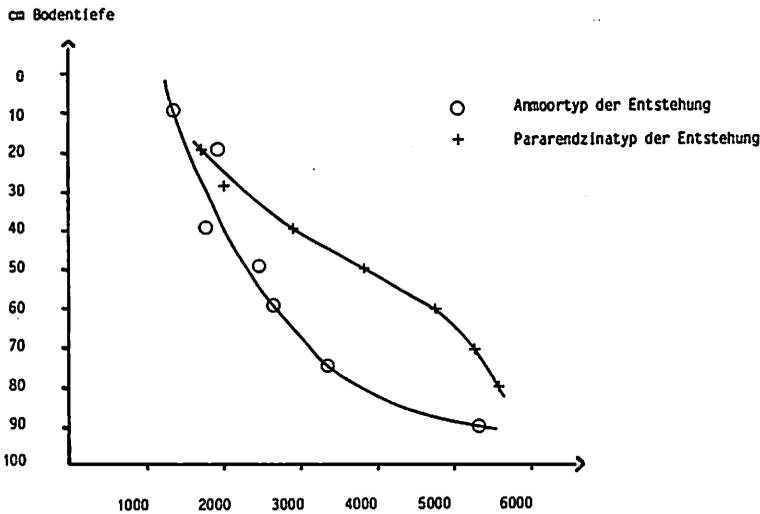


Abbildung 1: Auftragung aller (291) Mollisol-daten Alter gegen Tiefe und Regressionen für die verschiedenen Herkunftsländer.

Figure 1: Plotting of all (291) Mollisol dates age versus depth as well as of the regressions for different countries of origin

Dezimetern nur schwach, darunter dann stärker ansteigend bei vorausgehender anmooriger Bildungsphase (Abb. 2). Verjüngungseinflüsse durch Tiertransport, Wurzelwachstum und Perkolatation können nicht allein für den Altersgradienten verantwortlich sein, welcher das Bioturbationsmodell im Sinne eines Homogenisierungsvorganges in Frage stellt. Die gemessenen Maximalalter im tiefsten Bereich des mollischen Epipedons sind relativ hoch in Vergleich mit der geoklimatisch vorgegebenen Hauptbildungsphase, etwa der Tschernoseme mit Maximum während des Boreals. In einer Arbeit über Alters/Tiefen-Beziehungen bei den Vertisolen (Scharpenseel et al., 1986) sowie bei Gupta und Polach (1985) sind die für den Gesamtaltersbereich und prozentischen

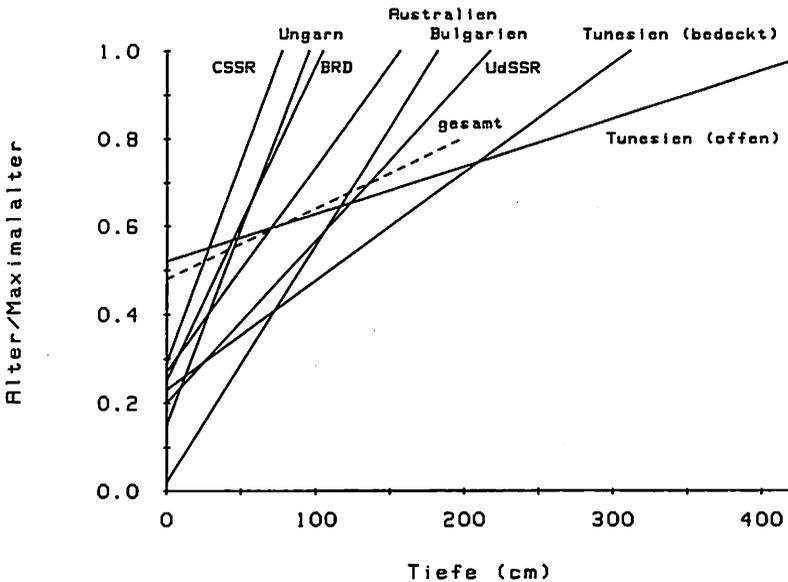


**Abbildung 2:** C-14 Profilalterskurven von Mollisolen mit typischer Gestalt für die Art der Entstehung (Tschernoseme aus Söllingen, s. *Scharpenseel et al.* 1968)

**Figure 2:** C-14 age curves of Mollisol profiles with typical shape for mood of soil formation (chernozems from Söllingen, ref. *Scharpenseel et al.*, 1968)

Kontaminationsbereich mit rezemem oder andererseits  $^{14}\text{C}$ -freiem, totem Kohlenstoff charakteristischen Korrekturkurven-Scharen dargestellt. Sie zeigen z.B. in *Scharpenseel et al.* (1986), daß ein 10 000 Jahre alter Boden bei Mischung mit 5 % rezemem C noch ca. 9000 Jahre, mit 10 % noch ca. 8000 Jahre, bei 20 % Beimischung noch etwa 6700 Jahre, bei 40 % noch etwa 4000 Jahre SMVZ (scheinbare mittlere Verweilzeit) erbringt. Falls durch Bioturbation eine homogene Mischung des gesamten mollischen Epipedons erfolgte, könnten die tieferen Bereiche des Ah-Horizonts bei einem maximalen Bodenalter von 8–9000 Jahren keine 5–6000 Jahre mehr anzeigen, zumal ja der Anteil der Kohlenstoffspezies aus der Frühphase der Bodenbildung mengenmäßig noch unentwickelt war und zurücktritt. In Konsequenz muß angenommen werden, daß die junge organische Substanz vornehmlich in einer oberflächennahen Einmischungs- und Abdeckungszone verbleibt.

In Abb. 3 sind die auf Herkunftsländer bezogenen Alter/Maximalalter gegen Tiefe Regressionskurven dargestellt, in Tabelle 1 die Regressionsgleichungen für Abb. 1 und 3. Wie schon anderorts (*Scharpenseel et al.*, 1986) dargestellt, ergibt die Fassung Alter/Maximalalter gegen Tiefe einen Abbaubezug. Steile Regressionslinie und Alter/Höchstalter-Werte nahe 1,0 zeigen Überwiegen der Höchstalter-C-Spezies an, d.h. schnellen Abbau des anfallenden jungen Kohlenstoffs. Flache Regressionslinien und Alter/Maximalalter-Werte nahe 0 deuten auf Überwiegen und Abbauehemmung der vorwiegend jungen organischen Substanz.



**Abbildung 3:** Auftragung aller Mollisol-daten Alter/Profilhöchstalter gegen Tiefe und Regressionen für die verschiedenen Herkunftsländer

**Figure 3:** Plotting of all Mollisol dates age/maximum profile age versus depth as well as of the regression for different countries of origin

Ein hoher Steigungsfaktor  $X$  der Regressionsgleichungen für Alter gegen Tiefe (Tab. 1) deutet auf starken Anstieg des  $^{14}\text{C}$ -Alters gegen Tiefe und schwache Bioturbation; hoher  $X$ -Wert der Regressionsgleichung Alter/Maximalalter gegen Tiefe steht für intensiven, schnellen Abbau.

Tsutsuki und Ponamperuma (1982), Martin et al. (1983) sowie Scharpenseel et al. (1984) zeigen, daß der organische Abbau biotisch-zymogen, abiotisch, photochemisch, über  $\text{CO}_2$  wie Methan und verschiedenste einfache aliphatische und aromatische Produkte verläuft in Intensitätsabhängigkeit u.a. vom Ionengleichgewicht des Milieus. Abbaubereitschaft der organischen Substanz aus verschiedenen Tiefenstufen wurde unter gleichen in vitro Rahmenbedingungen an 2 Tschernosemprofilen untersucht. Der Ackerboden „Söllingen“ zeigte in ganzer Tiefe nahezu neutralen pH, der oberflächennah versauerte Waldboden „Asel“ dagegen eine  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ -Zunahme von 3,7 auf 7,3. Für einen weiteren Ansatz wurde der Aselboden aller Tiefenstufen gleichmäßig auf pH 7,5 bis 8,3 aufgekalkt.

Im tiefgründig nahezu neutralen Söllingenboden (Abb. 4 a, b) zeigen sich deutlich höhere Abbauraten in den oberflächennahen Bodenproben niedrigen Alters, sowohl in mg C/100 g Boden wie auch in mg C/g  $\text{C}_{\text{org}}$ .

Im oberflächennah versauerten Aselboden (Abb. 5 a, b) ergibt sich die gleiche Tendenz in mg C/100 g Boden trotz des nach unten hin ansteigenden pH-Werts. Eine

**Tabelle 1:** Regressionsgleichungen, geordnet nach Herkunftsländern der Mollisole für Alter gegen Tiefe und Alter/Profilmaximalalter gegen Tiefe**Table 1:** Regression equations covering separate countries of origin, for age versus depth as well as age/profile maximum age versus depth

Symbol	Herkunftsland	Regressionsgleichung und Korrelations-signifikanz für „Alter gegen Tiefe“		Regressionsgleichung und Korrelations-signifikanz für „Alter/-Maximalalter gegen Tiefe“	
§	Bundesrepublik Deutschland	n = 115	r = 0,69*** y = 35,5 X + 810	n = 115	r = 0,73*** y = 0,00712 X + 0,25
ℓ	CSSR	n = 38	r = 0,89*** y = 28,4 X + 1175	n = 28	r = 0,79*** y = 0,00911 X + 0,29
*	UdSSR	n = 15	r = 0,93*** y = 39,5 X + 284	n = 15	r = 0,74** y = 0,00366 X + 0,20
%	Ungarn	n = 17	r = 0,69** y = 49,0 X + 893	n = 17	r = 0,79*** y = 0,00885 X + 0,15
+	Australien	n = 24	r = 0,56** y = 18,0 X + 364	n = 24	r = 0,54** y = 0,00463 X + 0,27
&	Bulgarien	n = 10	r = 0,97*** y = 54,3 X + 818	n = 10	r = 0,92*** y = 0,00535 X + 0,02
#	Tunesien (offen)	n = 56	r = 0,70*** y = 14,9 X + 1719	n = 56	r = 0,53*** y = 0,00108 X + 0,52
<	Tunesien (bedeckt)	n = 16	r = 0,74** y = 35,3 X + 1107	n = 16	r = 0,54* y = 0,00246 X + 0,23
Alle Mollisoldaten		n = 291	r = 0,71*** y = 20,1 X + 1513	n = 281	r = 0,45*** y = 0,00161 X + 0,48

Trendinversion mit höherem Abbau aus 60–80 cm Tiefe als in 40–60 cm Tiefe entsteht im Falle der Berechnung als mg C pro g C<sub>org</sub>, Ergebnis des ungünstigen org.C/Karb.C Verhältnisses.

Nach pH-Angleichung (Abb. 6 a, b) wiederholt sich für mg C/100 g Boden der bisherige Trend mit höchsten Abbauraten bei dem oberflächennahen Bodenmaterial. Bei der Darstellung mg C/g C<sub>org</sub> wird die Probe des tiefsten Bereichs wiederum wegen des niedrigen org.C-Gehaltes zum Ausreißer.

Die an sich stets geringeren Abbauraten in den Probematerialien aus größerer Tiefe sind indikativ für die hier bereits vollzogene stärkere Anlagerung der Huminstoffe als chemisch und physikalisch geschützte organo-mineralische Komplexe (*Gerasimov* und *Chichagova*, 1971; *Jenkinson* und *Rainer*, 1977) an die Tonminerale und Interdomänenräume. Es zeigt ferner, durch den stark reduzierten Abbau in den tieferen Schichten, daß wenig Haftpunkte freiwerden für die Anlagerung frischer Humifizierungsprodukte und entsprechend im tiefsten Profilbereich – wie beobachtet – hohe <sup>14</sup>C-Alter zu

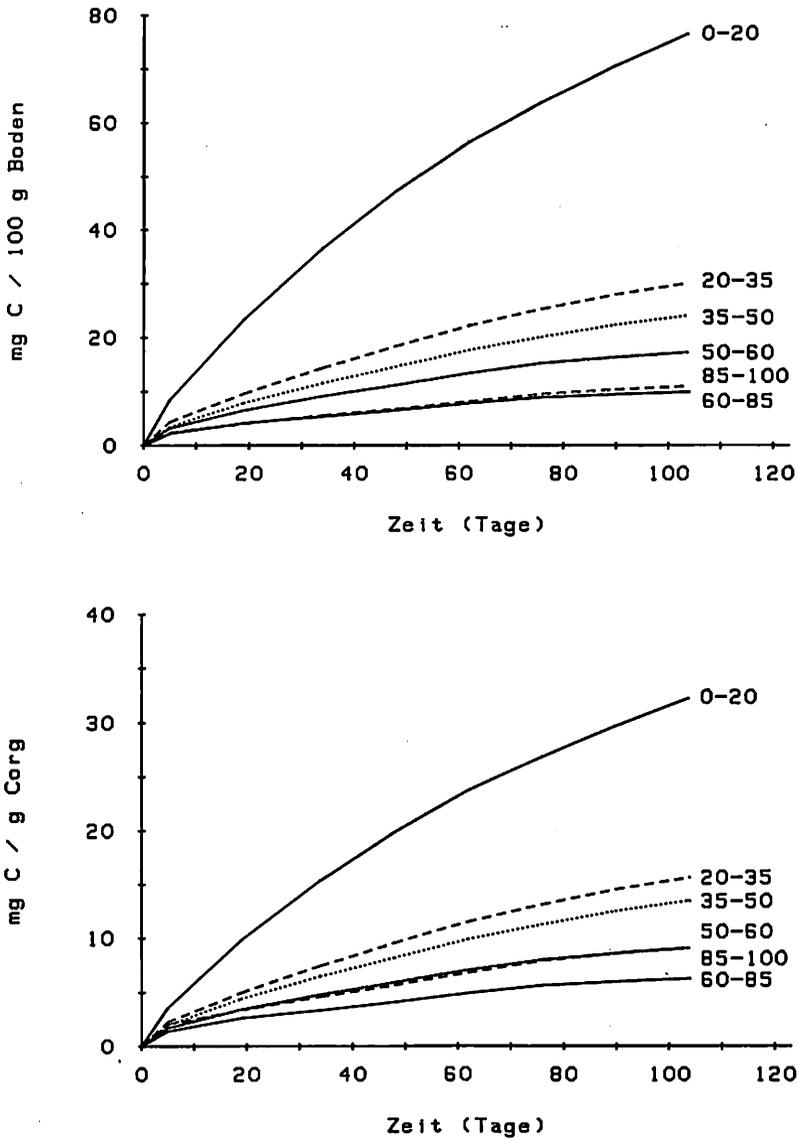
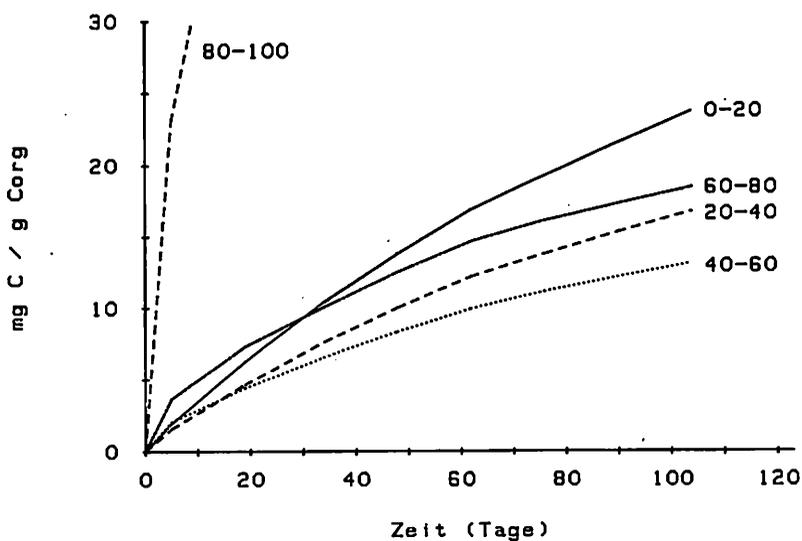
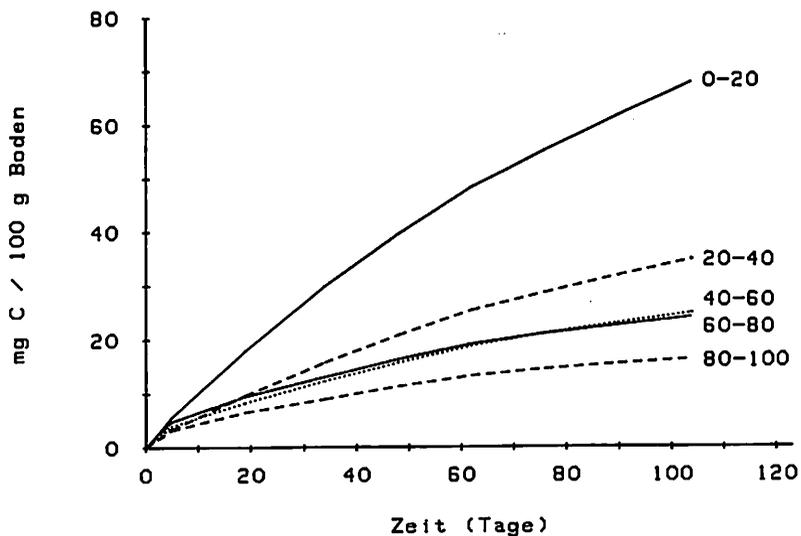


Abbildung 4a: CO<sub>2</sub>-Freisetzung als Indikation für organischen Substanz Abbau in Bodenproben aus verschiedenen Tiefenschichten, „Söllingen“, mg C/100 g Boden

4b: - mg C/g C<sub>org</sub>

Figure 4a: CO<sub>2</sub>-release as indicator of organic matter decomposition in soil samples of different depth, „Söllingen“, mg C/100 g soil

4b: - mg C/g C<sub>org</sub>

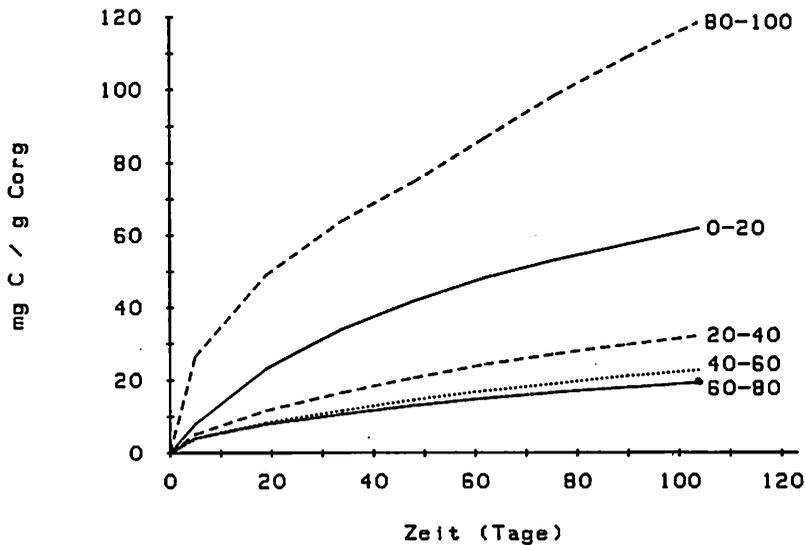
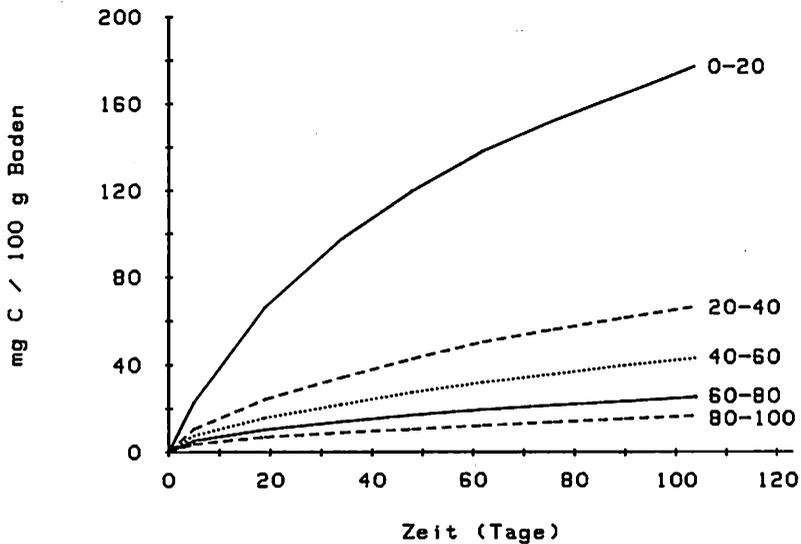


**Abbildung 5a:** CO<sub>2</sub>-Freisetzung als Indikation für organischen Substanz Abbau in Bodenproben aus verschiedenen Tiefenschichten, „Asel-natürlicher pH-Wert“, mg C/100 g Boden

**5b:** – mg C/g C<sub>org</sub>

**Figure 5a:** CO<sub>2</sub>-release as indicator of organic matter decomposition in soil samples of different depth, „Asel-original pH-level“, mg C/100 g soil

**5b:** – mg C/g C<sub>org</sub>



**Abbildung 6a:** CO<sub>2</sub>-Freisetzung als Indikation für organischen Substanz Abbau in Bodenproben aus verschiedenen Tiefenschichten, „Asel-pH in allen Schichttiefen auf pH 7,5–8,3 eingestellt“, mg C/100 g Boden

**6b:** – mg C/g C<sub>org</sub>

**Figure 6a:** CO<sub>2</sub>-release as indicator of organic matter decomposition in soil samples of different depth, „Asel -pH in all depth layers adjusted to pH 7,5–8,3“, mg C/100 g soil

**6b:** – mg C/g C<sub>org</sub>

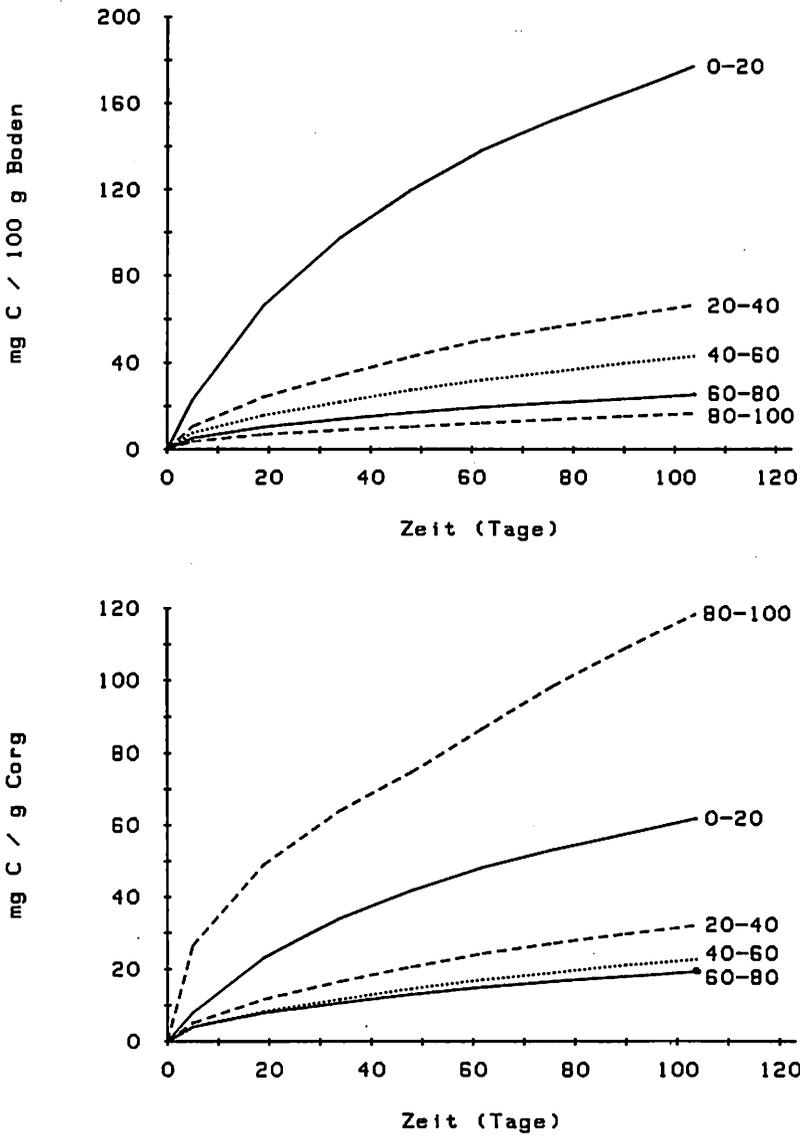


Abbildung 6a: CO<sub>2</sub>-Freisetzung als Indikation für organischen Substanz Abbau in Bodenproben aus verschiedenen Tiefenschichten, „Asel-pH in allen Schichttiefen auf pH 7,5-8,3 eingestellt“, mg C/100 g Boden

6b: - mg C/g C<sub>org</sub>

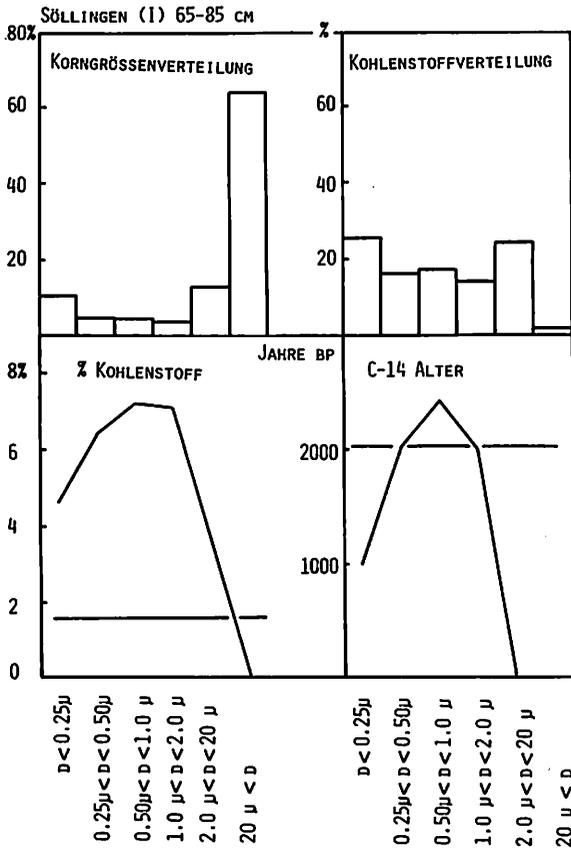
Figure 6a: CO<sub>2</sub>-release as indicator of organic matter decomposition in soil samples of different depth, „Asel -pH in all depth layers adjusted to pH 7,5-8,3“, mg C/100 g soil

6b: - mg C/g C<sub>org</sub>

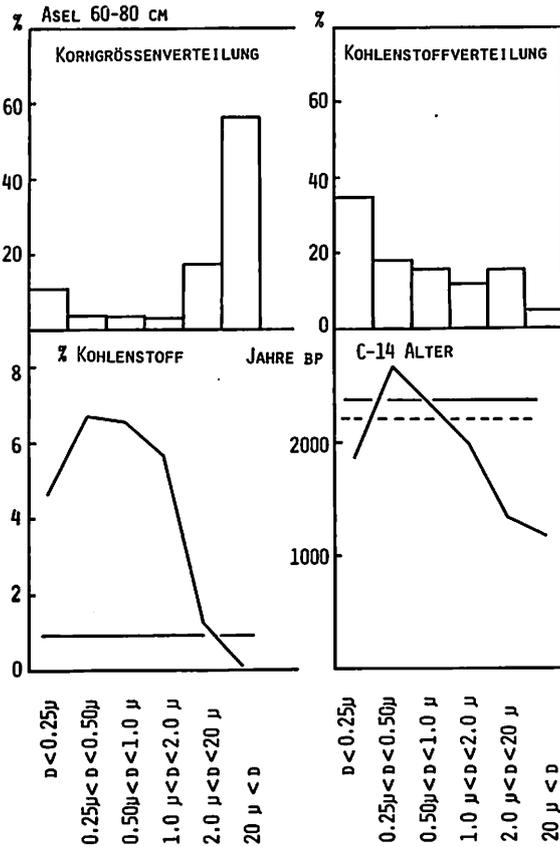
erwarten sind. Eine Einmischung junger organischer Substanz durch Bioturbation im Sinne einer Homogenisierung ist wenig wahrscheinlich.

Als Zusatzuntersuchungen zum Studium der C-Dynamik in Mollisolen wurden aus dem tiefsten Ah-Bereich der Böden Söllingen und Asel die Kornklassen präparativ getrennt und in ihnen individuell der C-Gehalt und das <sup>14</sup>C-Alter gemessen (Abb. 7, 8, 9). C-Konzentrations- und -Alterstrend sind gleichlaufend mit einem Maximum in den Fraktionen 0,5–1,0 µ bei Söllingen I, 0,2–2,0 µ bei Söllingen II und 0,25–0,50 µ bei Asel. Frühere Untersuchungen hatten für eine rheinische Löß-Parabraunerde/Hapludalf ein Maximum im Grobton-Feinschluffbereich erbracht (*Scharpenseel, 1971*). *Goh et al. (1977)* fanden das Alter der Ton-Humus Fraktion signifikant jünger als das Alter der nichtfraktionierten Bodenprobe.

Die unterschiedlich gelegenen % C- und <sup>14</sup>C-Altersmaxima stehen sicher einerseits in Beziehung zur Gesamtoberfläche, Oberflächenladung und Ladungsdichte; sie zeigen andererseits, daß die feinsten Tonteilchen wohl jüngere Bildungen sind und entspre-



**Abbildung 7:** Körnung, Kohlenstoffgehalte und C-14 Alter in den verschiedenen Kornfraktionen, „Söllingen I“, 65–85 cm  
**Figure 7:** Texture, carbon contents and C-14-age in different textural fractions, „Söllingen I“, 65–85 cm



**Abbildung 8:** Körnung, Kohlenstoffgehalte und C-14 Alter in den verschiedenen Kornfraktionen, „Söllingen II“, 65-85 cm (inverse Reihenfolge in der Sammlung der Fraktionen)  
**Figure 8:** Texture, carbon contents and C-14-age in different textural fractions, „Söllingen II“, 65-85 cm (inverse order in fraction collection)

chend jüngeren Ton-Humus angelagert haben. Eine gewisse Verjüngung der Feintonfraktion mag jedoch auch herrühren von im Dispersionsmittel (pH 8,5) gelöstem jüngeren Humus, welcher im Ablauf des Fraktionierungsvorganges zum Feinton die längste Expositionszeit hatte. Im Falle der Probe Söllingen II wurde bewußt die Reihenfolge der Fraktionsgewinnung umgekehrt, was den Feinton zur Fraktion mit dem höchsten <sup>14</sup>C-Alter machte.

Zur Überprüfung der Transport- und Inkorporationsgewohnheiten der Regenwürmer in Mollisolen wurden aus dem Mollisolprofil „Aseler Wald“ die Regenwürmer mit größter Vorsicht aus den verschiedenen Tiefenstufen gesammelt, eingefroren, gefriergetrocknet und zu Benzol verarbeitet. Aus dem Regenwurm-armen Ackerboden „Söllingen“ wurden Auskleidungen von unbesetzten Regenwurm- und Ziesel/Hamstergängen auspräpariert. Die Radiokohlenstoffalter gehen aus Abb. 10 und Tab. 2 hervor und zeigen, daß der Regenwurmkohlenstoff aus allen Tiefenstufen mit einem schwachen Gradienten innerhalb des charakteristischen Bombenkohlenstoff-Niveaus rezent

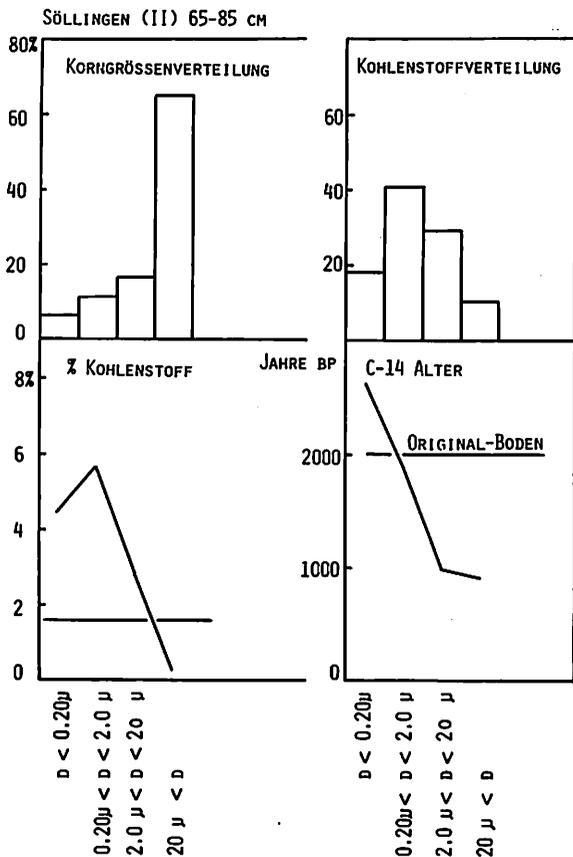


Abbildung 9: Körnung, Kohlenstoffgehalte und C-14 Alter in den verschiedenen Kornfraktionen, „Asel“, 60-80 cm  
 Figure 9: Texture, carbon contents and C-14-age in different textural fractions „Asel“, 60-80 cm

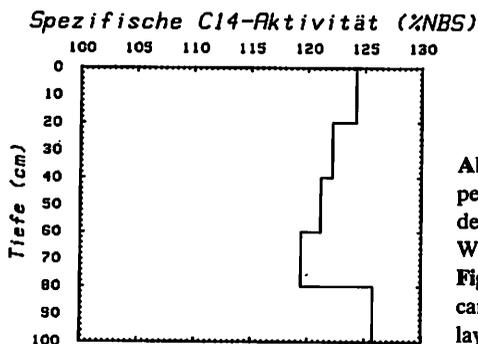


Abbildung 10: Spezifische C-14-Aktivität des Körperkohlenstoffs von Regenwürmern aus verschiedenen Tiefenstufen des Tschernosems „Aseler Wald“

Figure 10: Specific activity of C-14 in body-carbon of earthworms, collected in different depth layers of the chernozem „Aseler Wald“

ist. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Regenwürmer, welche meist einen fast senkrechten Fluchtgang in den tiefsten Bereich des Ah-Horizontes ausgebildet haben, alle Nahrungsaufnahme und C-Inkorporierung in ihre Körpersubstanz aus dem

**Tabelle 2:** C-14 Daten von fossilen Regenwurm- und Ziesel/Hamster-Gangfüllungen in Vergleich zum C-14 Alter des Bodens

**Table 2:** C-14 dates of fossil rainworm and Citellus track fillings in comparison with soil C-14 age at the same depth level

Probenherkunft	Probenbeschreibung	Probenalter	% NBS-Standard
Söllingen 100 cm Tiefe	Bodenprobe (karbonatfrei)	3890 ± 65	61,61 ± 0,50
Söllingen 100 cm Tiefe	Regenwurmang-füllung	4130 ± 80	59,83 ± 0,59
Asel 80-100 cm	Bodenprobe (karbonatfrei)	2670 ± 60	71,74 ± 0,53
Asel 80-100 cm	Regenwurmang-füllung	5600 ± 90	49,79 ± 0,58
Asel 80-100 cm	Zieselgangfüllung	2940 ± 60	69,37 ± 0,52

oberflächennahen Rezentbereich vornehmen, aber auch ihre koprogenen Produkte dort belassen (s. *Stöckli*, 1950). In einigen Mollisolprofilen, welche wir schichtweise der <sup>14</sup>C-Datierung unterwarfen, zeigte sich im untersten A-Horizontbereich eine Trendinversion im <sup>14</sup>C-Alter, welche wohl in Richtung auf eine in geringem Umfang erfolgende Abscheidung koprogener Produkte in der größten Tiefe des Regenwurmanges, meist im Übergang zum C-Horizont gedeutet werden kann (Beispiele: *Scharpenseel* et al., 1968; *Scharpenseel*, 1971; *Scharpenseel* et al., 1969: Bonn 33-40, 106-113, 114-119, 121-128; *Scharpenseel* et al., 1969: Bonn 380-384; *Scharpenseel* et al., 1984: Hamburg III, Bonn 2255-2272).

In dem Wurm-C-Profil Asel (Abb. 10) ist im Oberboden typischer, rezenter Bomben-C (s. *Meyer-Spasche* und *Scharpenseel*, 1980), welcher in die Tiefe hin abnimmt, wohl ein Zeichen leichter Vermischung mit älteren tiefengemäßen C-Spezies. Ganz unten nimmt der Bombenkohlenstoff in den Regenwürmern wieder zu als deutliches Anzeichen, daß hier im tiefsten Bereich des Wurmanges wieder der rezente Boden-C als Wurmkörper-Kohlenstoff stark überwiegt. Regenwurm-Gangfüllungen und ein Ziesel/Hamstergang (Tabelle 2) sind älter als die Bodenproben gleicher Tiefenstufe. Es handelt sich offenbar um fossile Tiergänge.

Auch die Ergebnisse der Wurmkohlenstoff-Datierung sprechen gegen ein Modell von Bioturbation im Sinne stetiger Homogenisierung.

## Literatur

- Blume, H.P.* (1963): Bodenkundliche Studien im Pannon-Becken und seinen westlichen Randgebieten. Schriftenreihe d. Landw. Fak. d. Univ. Kiel, 34, Parey.
- Borst, G.* (1968): 9. Intern. Congr. Soil Sci., 2,19. Cit. *Scheffer/Schachtschabel*, Lehrbuch d. Bodenkunde, 11. Aufl. 1984, S. 343, Enke, Stuttgart.

- Dokuchaev, V.V.* (1883): Russian Chernozem, SPB 1883, nach Izd. Akad. Nauk, SSSR 1949.
- Duchaufour, Ph.* (1972): *Processus de Formation des Sols*, 85, C.R.D.P., Nancy.
- Duchaufour, Ph.* (1977): *Pedology*, S. 87 und 243. Allen & Unwin, London.
- Duchaufour, Ph.* (1984): *Pédologie (Abrégé de Pédologie)*, S. 126, Masson, Paris.
- Fink, J.* (1963): Die Veränderungen der Böden in der Kulturlandschaft. Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 105, III, 453–460.
- Fink, J.* (1964): Bodensequenzen in Österreich. 8th Intern. Congr. Soil Science, Bucharest, 741–749.
- Franz, H.* (1955): Zur Kenntnis der Steppenböden im pannonischen Gebiet Österreichs. Die Bodenkultur, 8, 2.
- Gerasimov, J.P. und Chichagova, O.A.* (1971): Some problems in the radiocarbon dating of soil. Soviet Soil Sci. 3–11.
- Goh, K.M., Molloy, B.P.J. und Rafter, T.A.* (1977): Radiocarbon dating of quaternary loess deposits, Banks Peninsula, Canterbury, New Zealand, Quaternary Research 7, 177–196.
- Gupta, S.K. und Polach, H.A.* (1985): Radiocarbon Dating Practices at ANU. Radiocarbon Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, Canberra, s. 131, Australien.
- Hilgard, E.* (1893): Über den Einfluß des Klimas auf die Bildung und Zusammensetzung des Bodens. Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik. B. 6, Heidelberg.
- Jenkinson, D.S. und Rayner, J.H.* (1977): The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Sci. 123: 298–305.
- Kohl, G. und Quitta H.* (1966): Berlin Radiocarbon Measurements II. Radiocarbon 8, 27.
- Kononova, M.M.* (1969): Humus of the main soil types and soil fertility. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia, 32, 1–19.
- Kuntze, H., Niemann, J., Roeschmann, G. und Schwerdtfeger, G.* (1983): Bodenkunde, S. 289, Ulmer, Stuttgart.
- Martin, U., Neue, H.U., Scharpenseel, H.W. und Becker, P.M.* (1983): Anaerobe Zersetzung von Reisstroh in einem gefluteten Reisboden auf den Philippinen. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 38, 245–250.
- Meyer-Spasche, H. und Scharpenseel, H.W.* (1980): Die Grundbelastung von Böden mit  $^{14}\text{C}$  und dessen Transfer zum Menschen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 143, 5, 537–545.
- Mückenhausen, E.* (1966): Bodentypen und Bodensystematik in Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, Band II, S. 91. Springer Wien.
- Mückenhausen, E.* (1975): Bodenkunde. S. 393. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Nguyen Kha und Duchaufour Ph.* (1969): *Pédologie*, Gand, XIX, 1,5. cit. n. Duchaufour, 1972.
- Östlund, H.G. und Engstrand, L.G.* (1963): Stockholm natural radiocarbon measurements V. Radiocarbon 5: 203–227.
- Paul, E.A., Campbell, C.A., Rennie, D.A. und Mc Callum, K.J.* (1964): Investigation of the dynamics of soil humus utilizing carbon dating techniques. Transactions 8th Intern. Soil Congr. Bucharest, III, 201–208.
- Scharpenseel, H.W., Tamers, M.A. und Pietig, F.* (1968): Altersbestimmung von Böden durch die Radiokohlenstoffdatierungsmethode. 9th Intern. Congress of Soil Science, Transactions, III, 577–589, Adelaide.
- Scharpenseel, H.W., und Pietig, F.* (1968/69): Einfache Boden- und Wasserdatierung durch Messung der  $^{14}\text{C}$ - oder Tritiumkonzentration. Geoderma, 2, 273–289.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F. und Tamers, M.A.* (1968): Bonn radiocarbon measurements I. Radiocarbon, 10, 8–28.
- Scharpenseel, H.W., Pietig, F. und Tamers, M.A.* (1969): University of Bonn natural radiocarbon measurements II. Radiocarbon, II, 3–14.
- Scharpenseel, H.W.* (1971): Radiocarbon dating of soils – problems, troubles, hopes. Paleopedology – Origin, Nature and Dating of Paleosols, ed. D.H. Yaalon 77–88, Israel University Press, Jerusalem.
- Scharpenseel, H.W.* (1972): Messung der natür-

- lichen C-14 Konzentration in der organischen Substanz von rezenten Böden, eine Zwischenbilanz. *Z. Pflanzenernähr., Bodenkd.* 133, 3, 241-263.
- Scharpenseel, H.W. und Schiffmann, H.* (1977a): Radiocarbon dating of soils, a review. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 140, 159-174.
- Scharpenseel, H.W. und Schiffmann, H.* (1977b): Soil radiocarbon analysis and soil dating. *Geophysical Surveys* 3, 143-156.
- Scharpenseel, H.W., Wurzer, M., Freytag, J. und Neue, H.U.* (1984): Biotisch und abiotisch gesteuerter Abbau von organischer Substanz im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 147, 4, 502-516.
- Scharpenseel, H.W., Schiffmann, H. und Hintze, B.* (1984): Hamburg University radiocarbon dates III. *Radiocarbon*, 26, 2, 196-205.
- Scharpenseel, H.W., Freytag, J. und Becker-Heidmann, P.* (1986): C-14-Altersbestimmungen und  $\Delta^{13}\text{C}$ -Messungen an Vertisolen unter besonderer Berücksichtigung der Geziraböden des Sudan. *Z. Pflanzenernähr., Bodenkd.* 149, 277-289.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P.* (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. S. 78 und 343, Enke Stuttgart.
- Schroeder, D.* (1984): Bodenkunde in Stichworten. S. 95, 112, Hirt.
- Schroeder, D.* (1984): Soils - Facts and Concepts -. S. 84, Int. Potash Institute, Bern.
- Stöckli, A.* (1950): *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 48, 264. Cit. *Scheffer/Schachtschabel*, Lehrbuch der Bodenkunde, 11. Aufl. 1984, S. 78, Enke, Stuttgart.
- Tsutsuki, K. und Ponnamparuma, F.N.* (1982): Decomposition of organic matter in anaerobic soils. 13th Annual Scientific Meeting Philippine Crop Science Society, Cebu City, Proceedings.
- Zöttl, H.W. und Kussmaul, H.* (1967): Tonverlagerung in Lössböden unter Laubmischwald und Acker. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, Tomo XXVI, 1-4, S. 381-394, Madrid.

[P4422B]