Beitrag der Regenwürmer zur Stickstoff-Mineralisation bei verschiedenen mineralischen N-Düngern

Beate Helling

Synopsis

Effects of earthworms on nitrogen mineralization when different mineral N-fertilizers are used

This study was undertaken to determine the degree to which nitrogen mineralization is increased by earthworms when different mineral nitrogen fertilizers are applied. In order to test the influence of earthworms on N mineralization a new method was designed. 240 enclosures made of gauze were set vertically into the soil, and one *L. terrestris* was exposed in every second enclosure. The experiment was performed in a latin square design on a conventionally cultivated field. The field was divided into 4 plots for each variant: urea, calcium nitrate and a variant lacking nitrogen fertilizer.

Earthworms enhanced mineral nitrogen content (N_{min}), especially nitrate in soils, over the course of the season. The N_{min} content varied between the different fertilizers. The enhancement of N mineralization due to *L. terrestris* was highest in the urea-fertilized variant and least in the calcium nitrate variant. On the basis of the values so obtained the annual contribution of earthworms to the mineral nitrogen content in the field under study was calculated.

Regenwürmer, Lumbricus terrestris, Stickstoff-Mineralisierung, Stickstoff-Dünger, Freilanduntersuchung

earthworms, Lumbricus terretris, nitrogen-mineralization, nitrogen fertilizer, field study

1 Einleitung

Um den Stickstoffbedarf von Hochleistungspflanzen zu sichern, wird in der Intensiv-Landwirtschaft Nitrat oder Ammonium als anorganischer Dünger zugeführt. Teilweise kommt es dabei zu Überdüngungen, die aus wirtschaftlichen und umweltrelevanten Aspekten vermieden werden sollten. Für den effektiven Ressourcen- und Umweltschutz ist die Kenntnis des Beitrags der Bodenfauna für die Umsetzungsvorgänge der N-Dünger wichtig.

Obwohl die positiven Effekte der Regenwürmer auf die Bodenfruchtbarkeit vielfach dokumentiert wurden (LEE 1985, TOMATI & al. 1988, BASKER & al. 1992), wird der Bodenfauna seitens der Agronomen allgemein kaum Beachtung geschenkt (CROSSLEY & al. 1989). Um Erträge zu steigern, wird eher routinemäßig mehr gedüngt, obwohl die Effizienz der Düngung häufig 50% nicht übersteigt (PEOPLES & al. 1994).

Untersuchungen über den Einfluß von organischen und anorganischen Düngern auf das Vorkommen und die Abundanz der Regenwürmer und der übrigen Bodenfauna sind schon häufig durchgeführt worden. Zumeist wurden diese Populationsparameter im Freiland nach der Ausbringung von Düngern regelmäßig untersucht (z. B. MARSHALL 1977, EDWARDS & LOFTY 1982, MA & al. 1990). Untersuchungen, die den Einfluß verschiedener mineralischer Stickstoffdünger auf die Steigerung der N-Mineralisation durch Regenwürmer zum Gegenstand hatten, wurden bisher noch nicht durchgeführt. Diese Informationen können in Zeiten, in denen die Düngung ökologische und ökonomische Aspekten berücksichtigen sollte, wichtige Hinweise liefern.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde ein neues Versuchsdesign entwickelt (HELLING 1996), welches aufgrund der einfachen Ausbringung mehrere unabhängige Wiederholungen pro Versuchsvariante und somit eine statistische Absicherung der Ergebnisse ermöglichte. Im folgenden wird zuerst der Einfluß verschiedener Dünger im Experiment betrachtet und dann eine modellhafte Abschätzung des Regenwurmeinflusses auf Schlagebene vorgenommen.

2 Material und Methoden

Der Freilandversuch wurde im Untersuchungsgebiet Neuenkirchen des Sonderforschungsbereiches 179 »Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen« durchgeführt. Dieses Gebiet liegt etwa 35 km südlich von Braunschweig im nördlichen Harzvorland und ist landwirtschaftlich intensiv genutzt. Bei dem Boden der Untersuchungsfläche handelt es sich um eine Haftnässepseudogley-Parabraunerde (lehmiger Schluff). Im Untersuchungsjahr 1995 und im Vorjahr wurde Winterweizen angebaut. Auf der Untersuchungsfläche wurde ein Stickstofformenversuch in einem lateinischen Quadrat angelegt, mit 4 Parzellen für jede Düngungsvariante: Harnstoff, Kalksalpeter und eine Kontrolle ohne Stickstoffzufuhr. Die 4. Variante konnte aus Zeitgründen

nicht beprobt werden. Der Dünger wurde zwischen Mitte März und Anfang Juni in 4 Applikationen mit einer Aufwandmenge von 212 kg N ha^{-1} a^{-1} ausgebracht.

Um den Einfluß der Regenwürmer auf die Stickstoffmineralisation zu untersuchen, wurde eine neue Methode entwickelt (HELLING 1996). 240 Enclosures (80 cm lang, Ø 3 cm) aus Gaze (Maschenweite 0,18 cm) wurden am 03. 03. 1995 vertikal im Boden eingebracht und für eine Periode von 138 Tagen im Freiland exponiert. Die Enclosures wurden 60 cm tief in den Boden eingegraben. Die überstehenden 20 cm wurden mit einem Nylonband zugebunden, um ein Entweichen der Regenwürmer zu verhindern. Für die Installation im Feld wurde eine Bodensäule im Durchmesser der Enclosures mit Hilfe eine Pürckhauer-Bohrstockes entnommen. Der einzufüllende Boden wurde für alle in einer Untersuchungsparzelle befindlichen Enclosures gemeinsam von einer Stelle getrennt für die beiden Tiefenfraktionen 0–30 cm und 30–60 cm entnommen und mit einem Sieb homogenisiert. Somit konnte gewährleistet werden, daß in den Enclosures einer Parzelle der annähernd gleiche Boden war. Er wurde in Näherung auf das Porenvolumen der Untersuchungsfläche verdichtet (durchgehend 47%). Die Untersuchung erfolgte mit adulten Tieren der Art *Lumbricus terrestris* L. Pro Enclosure wurde mittig ein Loch vorgegeben und auf das Vergraben des Tieres gewartet, bevor der Enclosure zugebunden wurde.

In jeder Parzelle des lateinischen Quadrates wurden 10 Enclosures mit je einem *L. terrestris* und 10 ohne Regenwurm ausgebracht. Die Entnahme der Enclosures erfolgte ungefähr im zweiwöchigen Rhythmus, wobei an jedem Termin 8 Enclosures (4 mit *L. terrestris*, 4 ohne) pro Düngevariante ausgegraben wurden.

Der entnommene Boden wurde auf seinen Gehalt an mineralischem Stickstoff untersucht. Nach der Extraktion mit 1 M KCL wurden Nitrat-N und Ammonium-N mit einem Chem Lab Autoanalyser gemessen. Zu Beginn der Untersuchung wurden Bodenproben aus den 12 Parzellen analysiert. Sie unterschieden sich bezüglich ihres N_{min}-Gehaltes nicht voneinander.

Die Unterschiede im N_{min}-Gehalt, die sich durch den Regenwurmeinfluß ergaben, wurden genauso wie die Unterschiede zwischen den Düngevarianten für die untransformierten Daten mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) auf ihre Signifikanz getestet. Die Termine der Probenahmen wurden dabei als Meßwiederholungen behandelt. Der Signifikanztest wurde mit dem Fisher-LSD-Test durchgeführt. Zuvor waren die Daten auf ihre Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test) und die Gleichheit der Varianz (F Test) untersucht worden.

Da es während der Freilandexposition der Enclosures zu einer Reduktion des N_{min}-Gehaltes im Boden durch Auswaschung, Pflanzenentzug und Umsetzung in die mikrobielle Biomasse kommt, kann aus den erhaltenen N_{min}-Werten kein direkter Mineralisationsbeitrag der Regenwürmer errechnet werden. Dieser wurde in einem Laborversuch mit der von SCHEU (1989) beschriebenen Methode quantifiziert. Um eine Vorstellung von dem Mineralisationsbeitrag von *L. terrestris* auf der Untersuchungsfläche in den unterschiedlichen Düngevarianten zu erhalten, wurde die ermittelte tägliche Stickstoffmineralisation von *L. terrestris* auf eine jährliche Aktivitätsdauer von *L. terrestris* (250 Tage) hochgerechnet. Unter Einbeziehung der im Freiland nachgewiesenen Biomassen läßt sich der Beitrag der Regenwürmer zum mineralischen Stickstoff in kg N ha^{-1} ausrechnen. Dieser Wert wurde mit der Kontrolle gleichgesetzt. Die beiden gedüngten Varianten wurden relativ dazu ebenfalls mit ihrer auf 1g Regenwurmbiomasse bezogenen Differenz der N_{min}-Gehalte dargestellt. So ergibt sich eine Hochrechnung aus den relativen Daten ohne direkt aus den erhaltenen Werten der Freiland-Enclosures hochzurechnen.

3 Ergebnisse

Der Gehalt an mineralischem Stickstoff ist im von Regenwürmern beeinflußten Boden im Jahresverlauf deutlich höher. Abb. 1 zeigt den Verlauf des N_{min}-Gehaltes in der ungedüngten Variante für die 8 Probenahmen des Freilandversuche.

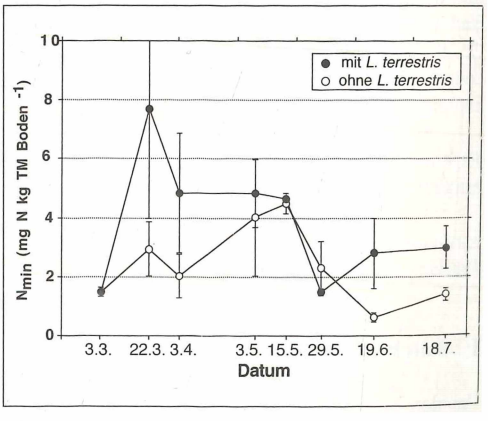

Abb. 1
Mittelwerte (n = 4) der N_{min}-Gehalte (± Standardabweichung) aus den Enclosures mit und ohne *L. terrestris* in der ungedüngten Variante (Start: 03.03.1995, Parabraunerde, Winterweizen).

Fig. 1
Mean N_{min}-content (n = 4; ± SD) over the growing season in enclosures with (black circles) and without (open circles) *L. terrestris* in the unfertilized variant (start: 03.03.1995, gleyic luvisol, winter wheat). TM= dry weight, Boden= soil.

3.1 Einfluß unterschiedlicher Dünger

Um die Unterschiede der Harnstoff und Kalksalpeter-Düngung sowie der ungedüngten Kontrolle im Gehalt an mineralischem Stickstoff darzustellen, zeigt Abb. 2 die über alle Probetermine gemittelten N_{min}-Werte jeweils mit und ohne Besatz von *L. terrestris*.

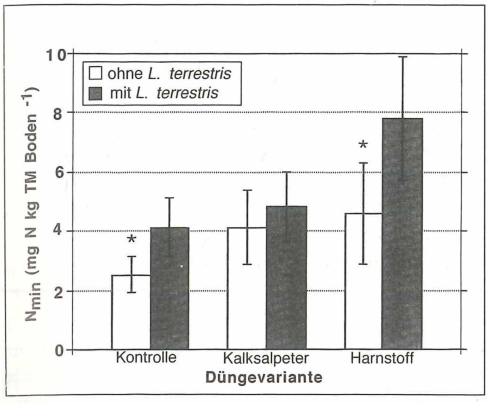

Abb. 2
Mittelwert (± 95% Konfidenzintervall) des N_{min}-Gehaltes des Bodens in den 3 Düngevarianten, jeweils mit und ohne *L. terrestris*. Sterne markieren signifikante Differenzen durch den Besatz mit *L. terrestris* innerhalb einer Variante (* P<0,05, ANOVA, Fishers LSD-Test).

Fig. 2
Mean N_{min}-content (±95% confidence interval) in the soil for the 3 treatments, for enclosures containing an earthworm (dark bars) and those without (light bars). * = significant difference within a variant associated with the presence of *L. terrestris*. (* P<0,05, ANOVA, Fishers LSD-test). Kontrolle = control, Kalksalpeter = calcium nitrate, Harnstoff = urea, Düngevariante = fertilizer treatment, TM = dry weight, Boden = soil.

In der Kontrolle ist der Gehalt an N_{min} durch den Einfluß von *L. terrestris* signifikant höher als ohne Regenwurm. Es wird etwa das Niveau der beiden Düngevarianten ohne Besatz mit Regenwurm erreicht. Auch in der Harnstoff-Variante zeigt sich ein signifikant höherer Gehalt an mineralischem Stickstoff durch den Einfluß von *L. terrestris*. In der Kalksalpeter-Variante hingegen ist kein Unterschied zwischen »mit und ohne« Regenwurm festzustellen. Relativ zur Kontrolle verringert sich sogar die Steigerung im N_{min}-Gehalt durch die Aktivität von *L. terrestris* nach Düngung mit Kalksalpeter.

Betrachtet man nun die Einzelkomponenten, Nitrat und Ammonium, aus denen sich der mineralische Stickstoff zusammensetzt, wird eine sehr unterschiedliche Beeinflussung durch *L. terrestris* deutlich.

Tab. 1
Prozentuale Differenz zwischen den Enclosures mit und ohne Regenwurm für den NO^-_3- und NH^+_4-Gehalt in den drei Düngevarianten, ohne Regenwurm = 100%.

Table 1
Percentage difference in NO^-_3-content and NH^+_4-content between the enclosures with and without earthworm for each of the 3 fertilizer treatments, without earthworm = 100%. Kontrolle = control, Kalksalpeter = calcium nitrate, Harnstoff = urea, Düngevariante = fertilizer treatment.

	Düngevariante		
	Kontrolle	Kalksalpeter	Harnstoff
NO^-_3-Gehalt (%)	246	160	228
NO^+_4-Gehalt (%)	87	37	112

In Tab. 1 ist der Einfluß des Regenwurmes auf den NO_3^-- und NH_4^+-Gehalt als prozentuale Differenz dargestellt. Die größte Steigerung im NO_3^--Gehalt wird in der Kontrolle durch die Anwesenheit von *L. terrestris* erzielt. Ein ähnlich starker Zuwachs erfolgt in der Harnstoff-Variante, wobei die Erhöhung im NO_3^--Gehalt in der Variante mit der Kalksalpeterdüngung am geringsten ist.

Ganz anders stellt sich der prozentuale Unterschied zwischen Enclosures mit und ohne Regenwurmbesatz dar, wenn man den Parameter NH_4^+ betrachtet. In der ungedüngten- und der Kalksalpeter-Variante kommt es zu Abnahmen, in der Harnstoff-Variante zu einer geringfügigen Erhöhung über den 100% Wert. Während in der ungedüngten Kontrolle nur geringe Abnahmen im NH_4^+-Gehalt durch den Regenwurmeinfluß gemessen wurden, beträgt die Abnahme in der Kalksalpeter-Variante 63%.

Es zeigt sich also, daß der Einfluß von *L. terrestris* in den 3 Varianten sehr unterschiedlich ist und in der Reihenfolge Harnstoff > Kontrolle > Kalksalpeter abnimmt. Es wird insbesondere der NO_3^--Gehalt in Anwesenheit der Regenwürmer erhöht.

3.2 Abschätzung des Regenwurmeinflusses auf Schlagebene

Die modellhafte Hochrechnung des Mineralisationsbeitrages der Regenwürmer zum N_{min}-Gehalt zeigt für die drei Düngevarianten deutliche Unterschiede (Abb. 3).

Die Untersuchungsfläche ist mit 5,2g *L. terrestris*-Lebendgewicht pro m^2 im Jahr 1995 ein vergleichsweise sehr schlechter Regenwurm-Standort. Betrachtet man jedoch einen vergleichbaren Acker gleicher Bodenart südlich von Hannover mit höheren

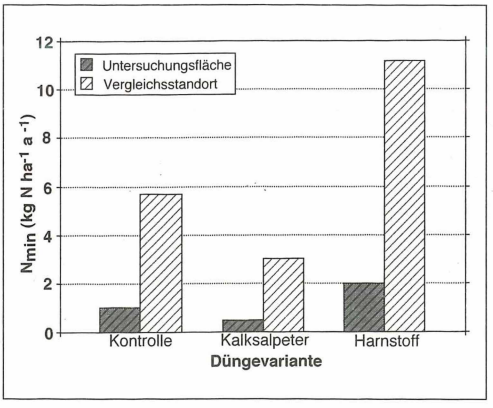

Abb. 3
Abschätzung der Mineralisationsbeiträge von *L. terrestris* mit Hilfe der Freilandversuche für die Biomassen der Untersuchungsfläche (5,2g Lebendgewicht m^{-2}) und eines Vergleichsstandorts (29,4g Lebendgewicht m^{-2}) nach POIER & RICHTER (1992).

Fig. 3
Estimation of N_{min} contribution by *L. terrestris* of the soil after application of various N-fertilizers, allowing for the earthworm abundances on the study site (5,2 g fresh weight m^{-2}, dark bars) and abundances of a comparable field (29,4 g fresh weight m^{-2}, light bars) from POIER & RICHTER (1992). Kontrolle = control, Kalksalpeter = calcium nitrate, Harnstoff = urea, Düngevariante = fertilizer treatment, ha = hectare, a = year.

Biomassen (POIER & RICHTER 1992), wird der Beitrag von *L. terrestris* bei Düngung mit Harnstoff mit etwa 7% der Jahresdüngung schon bemerkenswert. Auch hier wird sehr deutlich, wie gering der Beitrag der Regenwürmer mit nur 3 kg ha^{-1} in der Behandlung mit Kalksalpeter ist.

4 Diskussion

Die Erhöhung der N_{min}-Werte in Gegenwart von Regenwürmern, wie sie in allen drei Varianten zu erkennen ist, ist auch von anderen Autoren schon beschrieben worden (z. B. MARINISSEN & DE RUITER 1993, CURRY & al. 1995, TOMATI & GALLI 1995). Hierbei handelt es sich nicht um eine direkte Einflußnahme der Regenwürmer auf die Mineralisation, sondern um einen indirekten Effekt durch die Steigerung mikrobieller Aktivität im Boden. Während der Darmpassage erhöht sich nicht nur der Gehalt an mineralischem Stickstoff in der abgelegten Losung im Vergleich zum Ausgangsboden (TIWARI & al. 1989, PARKIN & BERRY 1994), sondern auch die Anzahl der Mikroorganismen (GORBENKO & al. 1986). Dauerstadien der Mikroorganismen können während der Darmpassage durch die günstigen Bedingungen wieder aktiviert werden (EDWARDS & BOHLEN 1996).

Der unterschiedliche Einfluß der Regenwürmer auf den N_{min}-Gehalt bei verschiedenen Düngern kann mehrere Gründe haben. Eine mögliche Ursache könnte eine direkte Beeinflussung von *L. terrestris* durch die applizierten Dünger sein, z. B. durch veränderte Acidität des Bodens. Dünger können auch indirekt durch die Erhöhung der pflanzlichen Biomasse wirken, die als Bestandsabfall zurück in den Boden gelangt und dort für eine Vergrößerung der Nahrungsressourcen der Regenwürmer sorgt (EDWARDS & BOHLEN 1996).

MAKESCHIN (1990) faßt in seiner Literaturübersicht den Einfluß von Düngern auf die Abundanzen von Regenwürmern verschiedener Lebensräume zusammen. Danach haben die beiden untersuchten mineralischen Stickstoffdünger keinen Einfluß auf Regenwürmer. Demzufolge ist es naheliegend, den Grund für diese Untersuchungsergebnisse in einer Förderung bzw. Hemmung der mikrobiellen Aktivität durch die zugeführten Stickstofformen zu suchen. MAI & FIEDLER (1970) ermittelten eine deutliche Erhöhung der Bakterien und Pilzzahlen durch Düngung allgemein. Durch die Zugabe von Harnstoff verdoppelten sich die Zahlen sogar im Vergleich zu Kalkammonsalpeter. Auch JACKSON & al. (1989) ermittelten in Tracer- Experimenten als Hauptstickstoff-Quelle für Mikroorganismen im Boden Ammonium, ein Zersetzungsprodukt von Harnstoff. Eine erhöhte Zahl an Mikroorganismen könnte auch zu einer Erhöhung der Gehalte an N_{min} führen und damit die signifikant höheren N_{min}-Werte nach Applikation von Harnstoff erklären. Diese Präferenz der Mikroorganismen für Harnstoff und NH_4^+ könnte somit die gesteigerten N-Mineralisationsraten in Gegenwart der Regenwürmer bei Harnstoffdüngung erklären. Ein Dünger, der NO_3^- als Hauptbestandteil hat, führt zu einer vergleichsweise geringeren Mineralisationsrate.

In den Freiland-Enclosures mit Regenwürmern wurden deutlich höhere NO_3^--Gehalte als NH_4^+-Gehalte gemessen. Die Tatsache, daß die Exkretionsprodukte der Regenwürmer neben Proteinen vor allem Ammonium und Harnstoff enthalten (EDWARDS & BOHLEN 1996), steht nur in scheinbarem Widerspruch, ebenso wie die Tatsache, daß die dominante anorganische Stickstofform in der Regenwurmlosung auch Ammonium ist (LAVELLE & MARTIN 1992). In den gemäßigten Breiten verläuft die Nitrifikation schneller als die Ammonifikation. LAVELLE & al. (1992) ermittelten einen gleichzeitigen Anstieg des Nitratgehaltes und eine Abnahme des Ammoniumgehaltes mit zunehmendem Alter der Losung, ein Prozeß der schon am ersten Tag beginnt.

In den Enclosures ohne Regenwürmer wurde mehr Ammonium als Nitrat nachgewiesen, was auf

eine schlechtere Belüftung des Bodens durch das Fehlen der Regenwürmer zurückzuführen sein könnte. Dieser Effekt tritt jedoch bei allen Düngungen gleichermaßen auf. Trotzdem ergeben sich Unterschiede zwischen den Düngungen, die sich auf den Einfluß der Regenwürmer in Gegenwart der unterschiedlichen Stickstofformen zurückführen lassen.

Trotz der Düngung mit Harnstoff konnte mehr NO_3^- als NH_4^+ in der Harnstoff-Variante mit Regenwurm nachgewiesen werden, was die bereits diskutierte starke Aktivität und den Zuwachs der Mikroorganismen in dieser Düngevariante unterstützt. Diese durch die Regenwürmer gesteigerte Aktivität wird auch durch die Tatsache verdeutlicht, daß in der Kalksalpeter-Variante die NH_4^+-Gehalte in den Enclosures ohne *L. terrestris* wesentlich über denen der Enclosures mit Regenwurm liegen, die Nitrifikation also deutlich langsamer verläuft.

Der in dieser Untersuchung mit Hilfe von Labordaten quantifizierte Beitrag der Regenwürmer für die Untersuchungsfläche ist relativ gering. Unter Einbeziehung höherer, aber durchaus üblicher, Biomassen von *L. terrestris* wie sie POIER & RICHTER (1992) nachwiesen, beläuft sich der Beitrag bei Harnstoffdüngung immerhin auf etwa 7% der jährlich applizierten Düngermenge. GERSCHAU & al. (1992) ermittelten auf einer intensiv bearbeiteten Parabraunerde bei Göttingen Biomassen von *L. terrestris*, die bei 60g m^{-2} lagen. Eine Hochrechnung auf Schlagebene ergibt einen Beitrag von *L. terrestris*, der in der Harnstoff-Variante etwa 15% der Jahresdüngung entsprechen würde. Wenn man im Vergleich dazu den Effekt der Kalksalpeterdüngung betrachtet, dann beläuft sich der Regenwurmbeitrag auf nur knapp 2 bzw. 4% der jährlich applizierten Düngermenge.

In die hier aufgeführte Kalkulation geht nur die Aktivität von *L. terrestris* ein. Die Mineralisation der toten Biomasse, die schon SATCHELL 1967) als einen beachtlichen Faktor einschätzt, bleibt ebenso unberücksichtigt, wie der Beitrag der anderen Arten. Die Hochrechnungen des Mineralisationsbeitrages von Regenwürmern unter Zuhilfenahme von Laborversuchen liefern bei anderen Autoren sogar höhere Werte. CURRY & BYRNE (1992) ermittelten bei einer Biomasse von 51g m^{-2} einen Stickstoffbeitrag der Regenwürmer von 33 kg ha^{-1} für ein Winterweizenfeld. MARINISSEN & DE RUITER (1993) fanden ähnliche Werte, sie führen die Differenz der N-Mineralisation zwischen einem konventionell und einem integriert bewirtschafteten Winterweizenfeld zu 40% auf die Regenwurmaktivität zurück.

Die hier im Labor ermittelte Mineralisationsrate von *L. terrestris*, die den Hochrechnungen zugrunde liegt, ist insgesamt relativ gering und liegt unter der von SCHEU (1994) mit demselben Versuchsaufbau ermittelten. Unter Verwendung von N^{15}-markiertem Stickstoff wurden 2–4 fach höhere tägliche Umsatzraten als in dieser Untersuchung berechneten (PARMELEE, mündliche Mitteilung). Damit existieren zwar Unterschiede zur Literatur, die die Größenordnung des N_{min} Beitrages durch Regenwürmer betreffen. Der entscheidende Punkt, der hier demonstriert werden sollte, sind jedoch die extrem unterschiedlichen Mineralisationsbeiträge in den verschiedenen Düngevarianten, die sich in Laborversuchen auch für die anderen Arten des Standortes abzeichnen (HELLING 1997). Danach führt die Düngung mit Kalksalpeter bei den häufigen Arten der Untersuchungsfläche zu einer wesentlich geringeren Steigerung der N-Mineralisation als Düngung mit Harnstoff.

Aufgrund der hier dargestellten Zusammenhänge sollte überlegt werden, ob das Vorhandensein und die Dichte von Regenwürmern nicht stärker in Stickstoffkalkulationen, Auswahl des Düngemitteltyps und daraus resultierend in die Berechnung von Aufwandmengen für Düngestickstoff auf Ackerstandorten einbezogen werden sollten.

Danksagung

Ich danke Prof. Dr. O. Larink für seine wertvollen Hinweise bei der Arbeit. Die Untersuchung fand im Rahmen des SFB 179 »Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen« statt und wurde mit Mitteln der DFG gefördert.

5 Literatur

BASKER, A., MACGREGOR, A.N & J.A. KIRKMAN, 1992: Influence of soil ingestion by earthworms an the availability in soil: An incubation experiment. – Biol. Fertil. Soils 14: 300–303.

CROSSLEY, D.A.J., COLEMANN, D.C. & P.F. HENDRIX, 1989: The importance of the Fauna in Agricultural Soils: Research Approaches and Perspectives. – Agric. Ecosystems Environ. 27: 47–55.

CURRY, J.P. & D. BYRNE, 1992: The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland. – Soil Biol. Biochem. 24: 1409–1412.

CURRY, J.P., BYRNE, D. & K.E. BOYLE, 1995: The earthworm population of a winter cereal field and its effects on soil and nitrogen turnover. – Biol. Fertil. Soils 19: 166–172.

EDWARDS, C.A. & J.R. LOFTY, 1982: Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. – Soil Biol. Biochem. 14: 515–521.

EDWARDS, C.A. & P.J. BOHLEN, 1996: Biology and Ecology of Earthworms. – Chapman & Hall, London, 426 S.

GERSCHAU, M.-B., L. GROUTHES & W. CLAUPEIN, 1992: Einfluß der Bewirtschaftungsintensität auf die Regenwurmaktivität in einem Lößboden. – Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 5: 217–220.

GORBENKO, A., PANIKOV, N.S. & D.V. ZVYAGINTSEV, 1986: The effect of invertebrates on the growth of soil microorganisms. – Mikrobiologia 55: 515–521.

HELLING, B., 1996: Eine neue Methode zur Untersuchung des Einflusses von Regenwürmern auf den N_{min}-Gehalt des Bodens. – Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 81: 121–124.

HELLING, B., 1997: Einfluß der Regenwürmer auf die Stickstoff-Mineralisation und die bodenbiologische Aktivität landwirtschaftlich genutzter Flächen bei verschiedenen N-Düngern. – Agrarökologie 23: 1–140.

JACKSON, E.L., SCHIMEL, J.P. & M.K. FIRESTONE, 1989: Short-term partitioning of ammonium and nitrate between plants and microbes in an anual grassland. – Soil Biol. Biochem. 21: 409–415.

LAVELLE, P. & A. MARTIN, 1992: Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soil of the humid tropics. – Soil Biol. Biochem. 24: 109–122.

LAVELLE, P., G. MELENDEZ, B. PASHANASI & R. SCHAEFER, 1992: Nitrogen mineralization and reorganisation in casts of the geophagus tropical earthworm *Pontoscolex corethurus* (Glossoscolecidae). – Biol. Fertil. Soils 14: 49–53.

LEE, K.E., 1985: Earthworms- their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. – Academic Press, New York, 411 S.

MAI, H. & H.J. FIEDLER, 1970: Bodenmikrobiologische Untersuchungen an einem Stickstoffformenversuch. – Arch. f. Forstwesen 19: 1049–1061.

MAKESCHIN, F., 1990: Die Regenwurmfauna forstlich und landwirtschaftlich genutzter Böden und deren Beeinflussung durch Düngung. – Kali-Briefe 20: 49–63.

MARINISSEN, J.C.Y. & P.C. DE RUITER, 1993: Contribution of earthworms to carbon and nitrogen cycling in agro-ecosystems. – Agric. Ecosystems Environ. 47: 59–74.

MARSHALL, V.G., 1977: Effects of manures and fertilizers on soil fauna: A review. – Commonwealth Bureau of Soils, C.A.B., Wallingford, 79 S.

PARKIN, T.B. & E.C. BERRY, 1994: Nitrogen transformations associated with earthworm casts. – Soil Biol. Biochem. 26: 1233–1238.

PEOPLES, M.B., HERRIDGE, D.F. & J.K. LADHA, 1994: Biological Nitrogen Fixation: An Efficient Source of Nitrogen for Sustainable Agricultural Production. – Transact. 15th World Congr. of Soil Sci. 4a: 241–244.

POIER, K.R. & J. RICHTER, 1992: Spatial Distribution of Earthworms and Soil Properties in an Arable Soil. – Soil Biol. Biochem. 24: 1601–1608.

SATCHELL, J.E., 1967: Lumbricidae. – In: A. Burges & F. Raw (ed.): Soil Biology. – Academic Press, London: 259–322.

SCHEU, S., 1989: Die saprophage Makrofauna (Diplopoda, Isopoda und Lumbricidae) in Lebensräumen auf Kalkgestein: Sukzession und Stoffumsatz. – Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme A 57: 1–302.

SCHEU, S., 1994: The influence of earthworms (Lumbricidae) on nitrogen mineralization in different ecosystems on limestone. – Mitt. hamb. zool. Mus. Inst. 89: 129–137.

TIWARI, S.C., TIWARI, B.K. & R.R. MISHRA, 1989: Microbial populations, enzyme activities and nitrogen-phosphorous-potassium enrichment in earthworm casts and in surrounding soil of a pineapple plantation. – Biol. Fertil. Soils 8: 178–182.

TOMATI, U. & E. GALLI, 1995: Earthworms, soil fertility and plant productivity. – Acta Zool. Fennica 196: 11–14.

TOMATI, U., GRAPPELLI, A. & E. GALLI, 1988: The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. – Biol. Fertil. Soils 5: 288–294.

Adresse

Dr. Beate Helling
Zoologisches Institut
AG Bodenzoologie
Spielmannstraße 8
D-38092 Braunschweig
e-mail: B.Helling@tu-bs.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: 27_1996

Autor(en)/Author(s): Helling Beate

Artikel/Article: Beitrag der Regenwürmer zur Stickstoff-Mineralisation bei verschiedenen mineralischen N-Düngern 107-112