

Räumliche Variabilität von Regenwürmern und Bodenparametern auf einem intensiv bearbeiteten Lößstandort

Beate Helling

Synopsis

Spatial distribution of earthworms and soil parameters in an intensively used agricultural loess soil

In an arable loess soil the earthworm fauna and soil parameters affecting their distribution were assessed by triple sampling of a 100-point-grid pattern. The sampling grid was situated at the edge of the field, bordered at two sites by a field path and a drainage ditch. The data were evaluated by geostatistical methods. The four earthworm species (*L. terrestris*, *A. caliginosa*, *A. rosea*, *O. lacteum*) were found in an extremely low abundance in the field. Their distribution was very uneven and markedly aggregated along the drainage ditch, but to different degrees in the different species.

Distribution maps of the organic matter content and the pore volume of the soil were made by kriging interpolation. Areas with higher organic matter content and pore volume could also be detected along the drainage ditch. The distribution of earthworms seems to be determined to a higher degree by agricultural tillage practice than by the studied soil properties.

Agrarökosysteme, Regenwürmer, Räumliche Verteilung, Bodenparameter, Geostatistik

Agroecosystems, earthworms, spatial distribution, soil parameters, geostatistics

1 Einleitung

Der Boden ist ein extrem heterogener Lebensraum. Bodenparameter variieren nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch über das Tiefenprofil (IMMLER & ZAHN 1994, PATGIRI & BARUAH 1995). Der Grad der Variation ist z.B. abhängig von Bodenbildungsprozessen und der Bearbeitungspraxis. Infolgedessen ist auch die Verteilung von Bodenorganismen sehr variabel, jedoch nicht zufällig (EDWARDS & BOHLEN 1996). Mögliche Faktoren, die die flächenhafte Verteilung bestimmen, sind physikochemische Parameter, die Verfügbarkeit von Nahrung und das Reproduktions- und Ausbreitungspotential der einzelnen Taxa.

Regenwürmer gehören zu den bestuntersuchten Gruppen des Edaphon, die in Agrarökosystemen in Bezug auf die Biomasse häufig die dominante Gruppe der Bodenfauna darstellen. Aus der flächenhaften Variabilität von Bodeneigenschaften resultiert vermutlich auch eine räumliche Verteilung der Regenwürmer, die jedoch noch weitgehend unerforscht ist (LIANG & THOMSON 1994).

Um den Einfluß von Standortparametern auf die Regenwurmfaua zu ermitteln, wurden bisher häufig ortsunabhängig Korrelationen errechnet (BRIONES & al. 1992, LIANG & THOMSON 1994). Es existieren jedoch nur wenige Untersuchungen, die die räumliche Verteilung der Regenwurmfaua im Detail ermitteln (POIER & RICHTER 1992, STEIN & al. 1992).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, in Rasteruntersuchungen auf einem intensiv bewirtschafteten Acker die räumliche Verteilung der Regenwürmer zu ermitteln und durch die gleichzeitige Erfassung von Bodenparametern eine mögliche Erklärung für diese Verteilung zu finden.

2 Material und Methode

Die Rasterbeprobungen 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 (lehmgiger Schluff) (OTHMER & BORK 1989).

Alle drei Rasterbeprobungen (Frühjahr und Herbst 1995, Frühjahr 1996) wurden in einer Ecke der Untersuchungsfläche angelegt, um so eventuelle Randeffekte mit erfassen zu können. Der westliche Rand wurde durch einen Feldweg, der nördliche durch einen Drainagegraben gebildet. Während die beiden Raster 1995 in Anlehnung an POIER & RICHTER (1992) 100 Rasterpunkte im 10 m Abstand enthielten, war die gleiche Anzahl Rasterpunkte im Frühjahr 1996 in unregelmäßigen Abständen angeordnet (kleinster Probenabstand: 2,5 m, größter: 10 m). Die Rasterbeprobungen wurden zu einem Zeitpunkt durchgeführt, als aufgrund angemessener Boden-

feuchte und einer Mindesttemperatur von 6 °C von einer hohen Regenwurmakktivität ausgegangen werden konnte.

Pro Rasterpunkt wurden auf 0,25 m² die Regenwürmer mit der Oktett-Methode (THIELEMANN 1986a) elektrisch ausgetrieben. Im Labor wurden die Fänge in der Regel am selben Tag lebend bestimmt und gewogen (Wägung auf 0,01 g genau). Mit Hilfe der Glasröhrchen-Methode nach THIELEMANN (1986b) und dem Jungtierbestimmungsschlüssel (THIELEMANN 1989) wurden auch die juvenilen Regenwürmer bis zur Art bestimmt. Zur Artdetermination der Adulten wurde ergänzend folgende Literatur herangezogen: GRAFF (1953), SIMS & GERARD (1985).

Im Anschluß an die Regenwurmaustreibung wurden pro Rasterpunkt verschiedene regenwurmrelevante Bodenparameter aufgenommen. Vor der Bestimmung der organischen Substanz des Bodens wurden die groben Pflanzenteile herausgesammelt und die getrockneten Bodenproben gesiebt (200 µm). In einer Doppelbestimmung (zwei Proben pro Rasterpunkt) wurde die organische Substanz (Gew. %) anhand des Glühverlustes im Muffelofen (3 h bei 600 °C) ermittelt. Mit dieser Methode wird die organische Substanz des Bodens nur recht ungenau ermittelt. Es ist nicht auszuschließen, daß freies Carbonat mit erfaßt wurde. Da in dieser Untersuchung nur ein Vergleich der Probestellen zueinander durchgeführt werden sollte und alle Proben gleich behandelt wurden, wurde die Methode dennoch gewählt.

Zur Ermittlung des Porenvolumens erfolgte die Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung mit Hilfe von Stechzylindern (100 cm³). Für jeden Rasterpunkt wurden zwei Stechzylinderproben aus den oberen 5 cm entnommen und bei 105 °C für 24 h getrocknet. Die Berechnung des Porenvolumens erfolgte nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989).

Um räumliche Abhängigkeiten zu ermitteln, wurden für die untersuchten Parameter die Semivariante $\gamma(h)$ ermittelt. Als Darstellungsform wurde das gebräuchlichste Mittel der Geostatistik, das Semivariogramm, gewählt. Es beschreibt die durchschnittliche Varianz der Meßwertdifferenzen von Punktepaaren mit einem Abstand h in einem Meßfeld als Funktion von eben diesem Abstand. Die Kenngrößen eines Semivariogrammes sind: 1. Nugget (C⁰), gibt den Wert an, an dem die Kurve die Ordinate schneidet, 2. Sill (C+C⁰), beschreibt den Grenzwert auf der Ordinate, der sich ergibt, wenn innerhalb des untersuchten Raums/Fläche eine Grenze räumlicher Abhängigkeit existiert, und 3. Range (A⁰), der Wert, der auf der Abszisse in Höhe des Sill die Reichweite räumlicher Korrelation zweier Meßwerte, also die Distanz, angibt. Bei der Wahl der Öffnungswinkel für die Erstellung des Semivariogrammes wurde darauf geachtet, daß jedem Punkt mindestens 30 Punkte-

paare zugrunde lagen und zwischen den Punkten annähernd eine Gleichverteilung gegeben war.

Die drei strukturellen Eigenschaften des Semivariogrammes und die Eingangsdaten werden zusammen als Grundlage für das Kriging benötigt. Die Block-Kriging-Interpolation ist ein Schätzverfahren mit gewichteter Mittelwertbildung zur Schätzung von Werten an Stellen ohne Datenerhebung aus vorhandener Datenbasis. Die Darstellungsform als Isoliniendiagramm läßt den Trend erkennen, dem die Bodeneigenschaften auf der Untersuchungsfläche unterliegen (ROSSI & al. 1992, LIEBHOLD & al. 1993). Die Berechnungen wurden mit dem Programmpaket GEO-EAS 1.2.1 Environmental Protection Agency USA durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Artenzusammensetzung

Im Jahr 1995 wurden mit *Lumbricus terrestris* L., *Aporrectodea caliginosa* (Savigny), *Aporrectodea rosea* (Savigny) und *Octolasion lacteum* (Örley) vier Arten auf dem Standort nachgewiesen, während 1996 nur drei Arten erfaßt wurden (*A. rosea* nicht). In Tab. 1 ist die Artenzusammensetzung der Untersuchungsfläche in den drei Rasterbeprobungen als Mittelwert der 100 Rasterpunkte für die Biomasse und die Abundanz dargestellt. Es wird deutlich, daß *L. terrestris* und *O. lacteum* im Jahr 1995 zusammen mehr als 75% der Regenwurmbiomasse und Abundanz repräsentierten. In der Rasterbeprobung vom April 1996 wurden weniger Regenwürmer gefunden als im Vorjahr. Zudem war die Zönosestruktur deutlich verändert.

3.2 Räumliche Variabilität der Regenwürmer

Die Regenwurmabundanzen schwankten in allen drei Rastern sehr stark zwischen den einzelnen Rasterpunkten, im Frühjahr 1996 beispielsweise zwischen 0–7 Individuen pro Rasterpunkt mit einem Mittelwert von einem Individuum. Im Semivariogramm der Regenwurmabundanzen fluktuieren die Einzelwerte um das Niveau der Gesamtvarianz. Daraus läßt sich keine räumliche Abhängigkeit der in diesen Rasterbeprobungen gefundenen Verteilung erkennen. Der Vergleich der einzelnen Rasterpunkte zeigte aber eine deutliche räumliche Zonierung, die sich in allen drei Rastern wiederfindet. Um diese darzustellen, wurden hier beispielhaft die Ergebnisse der Rasterbeprobung vom Frühjahr 1995 als Balkendiagramm wiedergegeben (Abb. 1). Die Regenwürmer wurden besonders gehäuft am nördlichen Rand in der Nähe des Drainagegrabens erfaßt.

Tab. 1
Mittlere Biomasse und Abundanz der Regenwürmer in Prozent der Gesamtbio­masse bzw. Gesamtabundanz in den drei Rasterbeprobungen (n = 100). A: Abundanz, B: Biomasse, In.: Individuen.

Table 1
Mean biomass and abundance of earthworms in percent of the total biomass and abundance, respectively, in the three grid samples (n= 100). A: abundance, B: biomass, In.: individuals.

Datum	L. terrestris		O. lacteum		A. caliginosa		A. rosea		Gesamt­mittelwert	
	B (%)	A (%)	B (%)	A (%)	B (%)	A (%)	B (%)	A (%)	B (gm ⁻²)	A (In.m ⁻²)
April 1995	27	54	52	29	17	13	4	4	2,8	11
Sept. 1995	45	44	37	37	17	20	1	3	5,2	11
April 1996	41	24	25	25	34	57	-	-	2,4	4

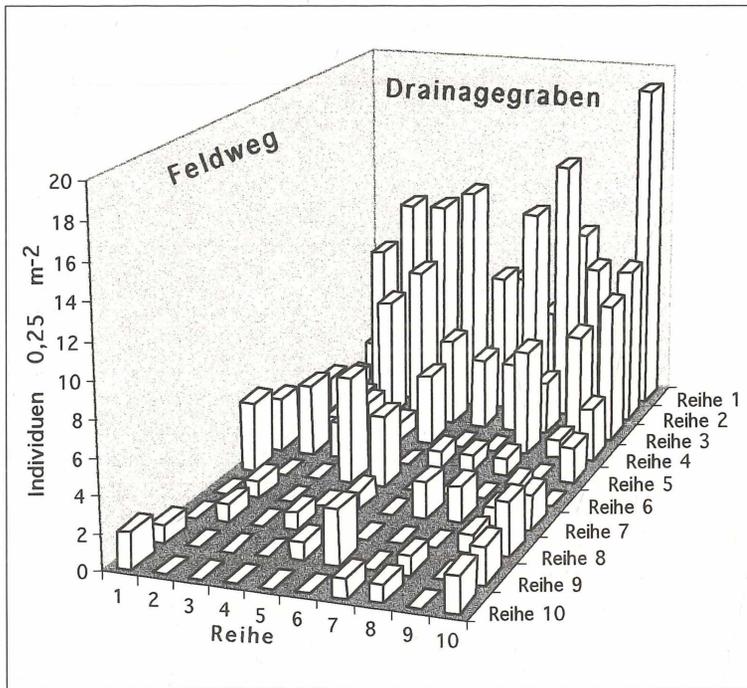


Abb. 1
Räumliche Verteilung der Regenwur­mabundanzen bei der Rasterbeprobung im April 1995.

Fig. 1
Spatial distribution of the earthworm abundance in the grid sampling in April 1995.

3.3 Räumliche Variabilität der Bodenparameter

Die Bodenparameter, die parallel zu der Regenwurm­erfassung aufgenommen wurden, sollten Aufschluß über mögliche Gründe der Verteilung der Regenwürmer geben. Die organische Substanz schwankte zwischen 4,40–9,02%, mit einem Mittelwert von 6,44%. Abb. 2A zeigt das Semivariogramm für die organische Substanz auf der Untersuchungsfläche. Es ergibt sich eine Autokorrelation in dem Bereich von 0–35 m. Darüber hinaus ist keine Abhängigkeit mehr festzustellen. In der Isolinien­darstellung für die organische Substanz besteht eine Tendenz zu höherer

organischer Substanz entlang des Drainagegrabens (Abb. 2B).

Die Werte für das Porenvolumen innerhalb des Proberasters lagen zwischen 43,58–59,86%, mit einem Mittelwert von 49,50%. Abb. 3A zeigt das Semivariogramm für das Porenvolumen. Bis zu einer Distanz von 75 m ist eine Autokorrelation festzustellen, darüber hinaus ist keine Abhängigkeit mehr vorhanden. In der Isolinien­darstellung werden Bereiche höheren Porenvolumens besonders entlang des Drainagegrabens und in 80 m Entfernung von diesem deutlich (Abb. 3B).

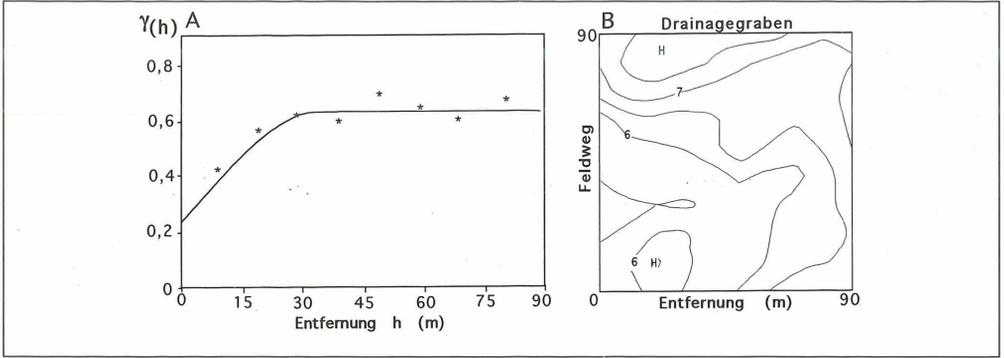


Abb. 2

A: Semivariogramm der organischen Substanz (sphärisches Modell); $\gamma(h)$ =Semivarianz. Modellparameter: Nugget (C^0) = 0,225, Sill ($C + C^0$) = 0,625, Range (A^0) = 35 m.
 B: Flächenhafte Verteilung der organischen Substanz (in Prozent). Interpolation erfolgte durch Block-Kriging. H = hohe Werte.

Fig. 2

A: Semivariogram of the organic matter content (spheric model); $\gamma(h)$ =semivariance. Model parameters: nugget (C^0) = 0.225, sill ($C + C^0$) = 0.625, range (A^0) = 35 m.
 B: Distribution of the organic matter content (in percent). The grid points were interpolated by block kriging. H = high values.

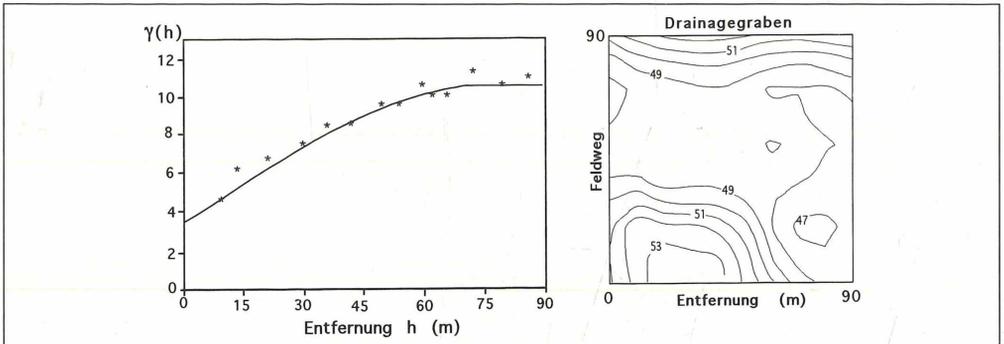


Abb. 3

A: Semivariogramm des Porenvolumens (sphärisches Modell); $\gamma(h)$ = Semivarianz. Modellparameter: Nugget (C^0) = 3,5, Sill ($C + C^0$) = 10,5, Range (A^0) = 75 m.
 B: Flächenhafte Verteilung des Porenvolumens (in Prozent). Interpolation erfolgte durch Block-Kriging.

Fig. 3

A: Semivariogram of the pore volume (spheric model); $\gamma(h)$ =semivariance. Model parameters: nugget (C^0) = 3.5, sill ($C + C^0$) = 10.5, range (A^0) = 75 m.
 B: Distribution of the pore volume (in percent). The grid points were interpolated by block kriging.

3.4 Diskussion

Artenzusammensetzung und Abundanz

Bei den vier Regenwurmartenspezies der Untersuchungsfläche handelt es sich um typische Vertreter der Kulturlandschaft (GRAFF 1953, SIMS & GERARD 1985), obgleich *O. lacteum* auf Ackerstandorten nicht regelmäßig anzutreffen ist. Im Vergleich zu anderen Regenwurmbiomassen und -abundanz auf Ackerstandorten weist die Fläche jedoch sehr geringe Regenwurmbiomassen und -abundanz auf. EDWARDS & BOHLEN (1996) geben für Ackerstandorte eine große Variabilität der Abundanz an, die zwischen

5–287 Individuen m^{-2} liegen kann. Mit nur 4–11 Individuen m^{-2} lag die Untersuchungsfläche am unteren Ende dieser Skala. Bodenart und pH-Wert ($CaCl_2$: 7,0) ließen eigentlich höhere Abundanz und Biomassen erwarten EDWARDS & BOHLEN (1996). Andere Untersuchungen zeigten jedoch auf Lössparabraunerden sehr ähnliche Abundanz, die zwischen 4–11 Individuen m^{-2} (KNÜSTING 1992) und 4–23 Individuen m^{-2} (BAUCHHENS & al. 1993) lagen. Welche Faktoren im einzelnen hierfür eine Rolle spielen, kann nicht abschließend geklärt werden. Ein entscheidender Faktor hierfür dürfte die langjährige,

intensive landwirtschaftliche Nutzung der Fläche sein. Andere Autoren (PANKHURST & al. 1995, LANGMAACK & al. 1996) ermittelten verringerte Regenwurmabundanzen bei konventioneller im Vergleich zu reduzierter Bodenbearbeitung. Sie führen diesen Effekt auf eine ausreichende Menge des Bestandesabfalles zurück, die auf dem Acker belassen wird bzw. auf die geringere Bodenverdichtung.

Im Jahr 1996 lag die Regenwurmabundanz (4 Individuen m^{-2}) durch die Abnahme von *L. terrestris* deutlich niedriger als im Vorjahr (11 Individuen m^{-2}). Hier zeichnet sich ein Einfluß des Fruchtwechsels ab. 1995 wurde im 2. Jahr Winterweizen angebaut. Nach der Ernte im August lag der Acker bis zum Eindringen der Zuckerrüben im April 1996 als Schwarzbrache vor. Der mit der Schwarzbrache verbundene Futtermangel, der verstärkte Witterungseinfluß sowie die intensive tiefe Bodenbearbeitung wirken sich abundanzverringend auf Regenwürmer aus (BAUCH-HENSS & al. 1993).

Räumliche Variabilität der Regenwürmer

Das räumliche Verteilungsmuster der Regenwürmer wies einen deutlich höheren Anteil entlang des Drainagegrabens auf und merklich geringere Abundanzen und auch Biomassen zur Feldmitte hin. Diese auffällige Verteilung zeigte sich in allen drei Rastern (HELLING 1997). Am westlichen Rand entlang des Feldweges waren keine erhöhten Regenwurmabundanzen festzustellen. Ein entscheidender Grund könnte in der Tatsache liegen, daß entlang dieses Randes das Vorgewende des Ackers lag. Im Bereich des Vorgewendes wird der Acker in der Regel häufiger befahren als im übrigen Feld. Das kann zu einer deutlichen Verdichtung des Bodens führen und damit zu geringeren Regenwurmabundanzen (JÄGGI & al. 1990, LARINK & al. 1994).

Auf Artniveau ist die Verteilung der Regenwürmer nicht einheitlich (HELLING 1997). Während *A. caliginosa* nur im Bereich von 0–30 m Entfernung vom Drainagegraben nachgewiesen wurde, zeigte *O. lacteum* eine gleichmäßigere Verteilung auf dem Acker, auch zur Feldmitte hin. Das ist insofern erstaunlich, da *A. caliginosa* als typische Ackerart beschrieben wird (GRAFF 1953, FRASER & al. 1996). Sie scheint an die landwirtschaftliche Praxis auf dem untersuchten Standort schlechter angepaßt zu sein als *O. lacteum* oder auch *L. terrestris*, der auch in der Mitte des Feldes erfaßt wurde, jedoch sein Schwerpunkt vorkommen im Randbereich hatte. Das Vorkommen von *L. terrestris* zur Feldmitte hin ist bemerkenswert, da für diese Art besonders durch wendende Bodenbearbeitung Beeinträchtigungen bekannt sind, die in einem Verschwinden der Art resultieren können (BRUNOTTE & al. 1992).

Aufgrund der insgesamt geringen Abundanzen wurden jeweils bei etwa 35% der Probestellen in den

drei Rasterbeprobungen keine Regenwürmer nachgewiesen. Ob die Ursache hierfür in der Oktett-Methode zu suchen ist, ist schwer zu beurteilen. 1995 wurde in den Rastern an jeweils 20 Stellen nachgegraben. Es wurden nur an 2 bzw. 3 Stellen zusätzliche Regenwürmer nachgewiesen. Vermutlich trägt die Oktett-Methode zu gewissen Schwankungen bei, ist aber sicherlich nicht der alleinige Grund. Diese geringen Abundanzen sind vermutlich der Grund, warum sich trotz der gegebenen Verteilung der Regenwürmer auf der Untersuchungsfläche kein geostatistisches Modell der in diesen Rasterbeprobungen gefundenen räumlichen Verteilung berechnen ließ. ROSSI & al. (1995), die in der afrikanischen Savanne in einem 100-Punkte-Raster Regenwürmer erfaßt hatten, konnten eine räumliche Abhängigkeit der Art *Chuniodrilus zielae* ermitteln, die bei 24 m lag. Die von ihnen festgestellten Regenwurmabundanzen waren mit bis zu 275 Individuen pro Probestelle deutlich höher, wobei an nur 12% der Stellen 0–25 Regenwürmer nachgewiesen wurden. Auch CANNAVACCIUCOLO (1996, Mskr.) konnte mit nur 100 Rasterpunkten eine räumliche Abhängigkeit für *A. caliginosa* und *L. terrestris* zeigen, vermutlich weil deren Biomassen mit 40 und 56 $g\ m^{-2}$ sehr hoch waren. Ein möglicher Grund für die Schwierigkeiten bei der geostatistischen Auswertung könnte in der Inhomogenität der Fläche liegen, die zu sprunghaften Übergängen der Abundanzen der Regenwürmer geführt hat. Die Kontinuitätsannahme, die einem Semivariogramm zugrunde liegt, kann diese sprunghaften Änderungen nur ungenügend oder gar nicht beschreiben (LOEHLE & BAI-LIAN 1996). Für eine sinnvolle Auswertung der einzelnen Bereiche ist die Datengrundlage hingegen zu gering.

Räumliche Variabilität der Bodenparameter

Für die organische Substanz sowie für das Porenvolumen besteht in der Kriging-Interpolation (Abb. 2B und 3B) eine Tendenz zu hohen Werten entlang des Drainagegrabens. Hierbei ist zu bedenken, daß der Schätzfehler der Kriging-Interpolation im Randbereich am größten ist. Die Verteilung von Meßwerten ist aber nicht zufällig, sondern weist flächenhafte Strukturen auf, die auf morphologische und andere bodengenetische Standortmerkmale zurückgehen (IMMLER & ZAHN 1994). Aufgrund von kolluvialen und alluvialen Ablagerungen sind im Untersuchungsgebiet in den Tiefenlinien und Auenbereichen des Krumbach-Einzugsgebietes Fluvisole und Gley-Kolluvien ausgebildet. Die höheren Gehalte an organischer Substanz sowie das höhere Porenvolumen entlang des in einer Senke liegenden Drainagegrabens könnten ihre Ursachen hierin haben.

Für die beiden Parameter organische Substanz und Porenvolumen ist jedoch zu berücksichtigen, daß der bei der Variogrammberechnung ermittelte

Nuggetwert relativ hoch ist. Je größer der Nuggetwert, desto größer ist der Anteil der Varianz an der Gesamtvarianz des untersuchten Parameters, der durch das gewählte Proberaster nicht erfaßt wurde (ROSSI & al. 1995). Die relative Nuggetvarianz beträgt für die organische Substanz 56% und für das Porenvolumen 50%. Diese nicht erklärbare, räumliche Heterogenität ist entweder zufällig oder liegt außerhalb des gewählten Probenabstandes (ROSSI & al. 1995). IMMMLER & ZAHN (1994) ermittelten eine Nuggetvarianz für die organische Substanz, die auf einem Lößstandort bei einem Probenabstand von 25 m in derselben Größenordnung lag. Für einen Probenabstand von 10 m ermittelten sie deutlich niedrigere Nuggetvarianzen. Die Tatsache, daß in dieser Untersuchung bei einem Probeabstand von 10 m relativ hohe Nuggetvarianzen vorhanden sind, könnte auf Meßungenauigkeiten zurückzuführen sein. Besonders für den C_{org}-Gehalt von Böden ist von einer großen Mikrovariabilität im Boden auszugehen, was zu einer starken Streuung der Meßwerte führen kann (QIAN & KLINKA 1995).

Regenwurmverteilung und Bodenparameter

Erhöhte Regenwurmabundanz bei hohen Gehalten an organischer Substanz sind bereits von anderen Autoren ermittelt worden (BRIONES & al. 1992, POIER & RICHTER 1992). In dieser Untersuchung läßt sich die höhere Dichte der Regenwürmer vermutlich nur bedingt durch die Bodenverhältnisse entlang des Drainagegrabens erklären. Eine Spearman-Rangkorrelation, durchgeführt mit den Daten der organischen Substanz und der Gesamtindividuenzahl der Regenwürmer, beträgt lediglich $r^s=0,39$, ist jedoch hochsignifikant. Für die nur am Rand des Drainagegrabens vorkommende Art *A. caliginosa* beträgt das $r^s=0,47$ und ist auch hochsignifikant. Für das Porenvolumen ergibt sich mit $r^s=0,4$ ($P<0,001$) eine ähnliche Korrelation.

Bei den allgemein guten Standortbedingungen des Bodens, die auf dem Lehmstandort für Regenwürmer herrschen, ist die Variabilität der Bodenparameter für die Regenwurmverteilung vermutlich nur von untergeordneter Bedeutung. Wesentlich bestimmender für die räumliche Verteilung auf der Untersuchungsfläche dürfte die Bearbeitung des Ackers und die Fruchtfolge sein. Die Verteilung der organischen Substanz und auch des Porenvolumens können einen Hinweis darauf geben, warum erhöhte Regenwurmabundanz nur an einem der beiden Feldränder ermittelt wurden.

Für zukünftig durchzuführende Regenwurm-Rasteruntersuchungen wäre eine Transektbeprobung als Voruntersuchung zur Ermittlung des geeigneten Probenabstandes sicher empfehlenswert. Hierbei könnten auch zu geringe Regenwurmabundanz rechtzeitig erkannt und ggf. neue Untersuchungsflächen

gesucht werden. Schließlich sollte die Lage des Raster so gewählt werden, daß es auf einer zumindest äußerlich homogenen Fläche angelegt wird, um aussagekräftige Ergebnisse für eine zu untersuchende Fläche zu erhalten.

Danksagung

Für die anregenden Diskussionen danke ich Prof. Dr. O. Larink auf das herzlichste. Die Untersuchung fand im Rahmen des SFB 179 »Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen« statt und wurde mit Mitteln der DFG gefördert.

Literatur

- BAUCHHENSS, J., S. HERR, D. STRAUCH & C. MÜLLER, 1993: Regenwürmer als Bioindikatoren – Ergebnisse des Bodenbeobachtungsprogramms der LBP. – Schule und Bildung 7: III-4 – III-8.
- BRIONES, M.J.I., R. MASCATO & S. MATO, 1992: Relationships of earthworms with environmental factors studied by means of detrended canonical correspondence analysis. – Acta Oecologica 13: 617–626.
- BRUNOTTE, J., M.-B. GERSCHAU, M. JOSCHKO, E. KNÜSTING & C. SOMMER, 1992: Zum Einfluß von Mulchsaat zu Zuckerrüben auf Regenwurmbestand. – Zuckerrübe 41: 116–119.
- EDWARDS, C.A. & P.J. BOHLEN, 1996: Biology and Ecology of Earthworms. – Chapman & Hall, London, 426 S.
- FRASER, P.M., P.H. WILLIAMS & R.J. HAYNES, 1996: Earthworm species, population size and biomass under different cropping systems across the Canterbury Plains, New Zealand. – Appl. Soil Ecol. 3: 49–57.
- GRAFF, O., 1953: Die Regenwürmer Deutschlands. – Schriftenr. der FAL, Braunschweig, Völknerode, 81 S.
- 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.
- IMMMLER, L. & M.T. ZAHN, 1994: Die flächenhafte Variabilität bodenphysikalischer Parameter und des C_{org}-Gehaltes in den Pflugsohlen je eines Ton-, Sand- und Lößstandortes. – Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 157: 251–257.
- JÄGGI, W., P. WEISSKOPF & H.R. OBERHOLZER, 1990: Zusammenhang zwischen mikrobiologischen und physikalischen Kennwerten des Bodens. – Schweiz. Landw. Fo. 29: 29–39.
- KNÜSTING, E., 1992: Regenwürmer auf Acker-

- flächen mit abgestufter Bearbeitungsintensität. – Dissertation, Univ. Braunschweig, 154 S.
- LANGMAACK, M., R. RÖHRIG & S. SCHRADER, 1996: Einfluß der Bodenbearbeitung und Bodenverdichtung auf terrestrische Oligochaeten (Enchytraeidae und Lumbricidae) landwirtschaftlicher Flächen. – Braunschw. naturkundl. Schr. 5: 105–123.
- LARINK, O., C. HEISLER, W. SÖCHTIG, B. LÜBBEN & L. WICKENBROCK, 1994: Auswirkungen von Bodenverdichtung auf die Meso- und Makrofauna. – Landbauf. Völknerode Sonderheft 147: 130–145.
- LIANG, Q. & A.J. THOMSON, 1994: Habitat-abundance relationships of the earthworm *Eisenia rosea* (Savigny) (Lumbricidae), using principal component regression analysis. – Can. J. Zool. 72: 1354–1361.
- LIEBHOLD, A.M., R.E. ROSSI & W.P. KEMP, 1993: Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. – Ann. Rev. Entomol. 38: 303–327.
- LOEHLE, C. & L. BAI-LIAN, 1996: Statistical properties of ecological and geologic fractals. – Ecol. Modelling 85: 271–284.
- OTHMER, H. & H.-R. BORK, 1989: Characterization of the soils at the investigation sites. – Landschaftsgen. u. Landschaftsökol. 16: 73–86.
- PANKHURST, C.E., B.G. HAWKE, H.J. MCDONALD, C.A. KIRBY, J.C. BUCKERFIELD, P. MICHELSEN, K.A. O'BRIEN, V.V.S.R. GUPTA & B.M. DOUBE, 1995: Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. – Aust. J. Exp. Agric. 35: 1015–1028.
- PATGIRI, D.K. & T.C. BARUAH, 1995: Spatial variability of total porosity, air entry potential and saturation water content in a cultivated inceptiol. I. Semivariance analysis. – Agricult. Water Management 27: 1–9.
- POIER, K.R. & J. RICHTER, 1992: Spatial distribution of earthworms and soil properties in an arable soil. – Soil Biol. Biochem. 24: 1601–1608.
- QIAN, H. & K. KLINKA, 1995: Spatial variability of humus forms in some coastal forest ecosystems of British Columbia. – Ann. Sci. For. 52: 653–666.
- ROSSI, J.P., P. LAVELLE & J.E. TONDOH, 1995: Statistical tool for soil biology .10. Geostatistical analysis. – Europ. J. Soil Biol. 31: 173–181.
- ROSSI, R.E., D.J. MULLA, A.G. JOURNAL & E.H. FRANZ, 1992: Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. – Ecol. Monographs 62: 277–314.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart.
- SIMS, R.W. & B.M. GERARD, 1985: Earthworms. – The Linnean Society of London, London, 171 S.
- STEIN, A., R.M. BEKKER, J.H.C. BLOHM & H. ROGAAR, 1992: Spatial variability of earthworm populations in a permanent polder grassland. – Biol. Fertil. Soils 14: 260–266.
- THIELEMANN, U., 1986a: Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. Pedobiologia, 29: 296–302.
- THIELEMANN, U., 1986b: Glasröhrchenmethode zur Lebendbestimmung von Regenwürmern. – Pedobiologia 29: 341–343.
- THIELEMANN, U., 1989: Untersuchungen zur Lumbricidenfauna mit neu entwickelten Methoden in erosionsgefährdeten Gebieten des Kraichgaus. – Dissertation, Univ. Heidelberg.

Adresse

Dr. Beate Helling
 Zoologisches Institut
 AG Bodenzoologie
 Spielmannstr. 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: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

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

Artikel/Article: [Räumliche Variabilität von Regenwürmern und Bodenparametern auf einem intensiv bearbeiteten Lößstandort 537-543](#)