

Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen

M. Bieri und G. Cuendet

Diese Literaturstudie erfolgte im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 'Nutzung des Bodens in der Schweiz'.

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der vorliegenden Literaturstudie kommt man zum Schluss, dass den Regenwürmern eine grosse Bedeutung in terrestrischen Ökosystemen zukommt und dass sie wesentlich die Bodenbildungsprozesse beeinflussen können. Der Einfluss der Regenwürmer auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen muß grundsätzlich als äusserst positiv beurteilt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Regenwürmer die jährlich anfallende Streu von krautigen Pflanzen und Laubbäumen praktisch vollständig in den Boden einarbeiten und damit das Recycling von Nährstoffen wesentlich verbessern. Der von den Regenwürmern abgesetzte Kot ist reich an austauschbaren Ionen und gleichzeitig auch ein guter Ionenaustauscher.

Im Regenwurm Kot sind die organischen und mineralischen Komponenten intensiv miteinander vermischt (organo-mineralische Komplexe). In diesen treten große Mengen Bakterien und Aktinomyzeten auf, welche sich bereits im Wurmdarm, besonders aber auf dem abgesetzten Kot vermehren. Die zahlreichen Pilzhyphen und Wurzelhaare, zusammen mit den von Bakterien abgesonderten Schleimstoffen, ergeben die sogenannte Lebendverbauung der Krümel, was diesen eine hohe Stabilität verleiht. Schätzungen der Ausdehnung und des Volumens der Regenwurmgänge im Boden ergaben, dass diese sowohl für den Wasser - als auch für den Gashaushalt eine wichtige Rolle spielen müssen. Die von den vertikal grabenden Regenwürmern angelegten Wohnröhren bleiben bei einer Überflutung erhalten und erhöhen oft in entscheidendem Ausmass die Wasserinfiltrationsraten der Böden. Regenwurmreiche Ackerböden weisen somit in der Regel einen ausgeglicheneren Wasserhaushalt auf. Dank der höheren Sicker- und Infiltrationsraten regenwurmreicher Böden neigen diese in den Wintermonaten weniger stark zu Staunässe und leiten in den Sommermonaten einen grossen Teil des Niederschlagswassers in den Wurzelraum ab. Diese Böden sind damit auch weniger erosionsgefährdet und weisen auch einen besseren Gashaushalt auf. Die Bedeutung der Regenwurmgänge für das Wurzelwachstum scheint bis heute eher unterschätzt worden zu sein. In schweren Böden kann das Vorhandensein von Regenwurmängen entscheidend für die Wurzelbildung sein. Grobporen, welche den Verdichtungshorizont durchstossen, bilden für die Wurzeln wichtige Eindringungspforten zu den tiefer liegenden Bodenschichten. Es konnte gezeigt werden, dass Regenwürmer durchaus in der Lage sind, Gänge durch verdichtete Horizonte zu graben. Diese Porensysteme sind für das Wurzelwachstum von grosser Bedeutung und beeinflussen indirekt die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen. Von verschiedenen Autoren wurde aber auch eine grössere Ausbildung an Wurzelmasse bei der Anwesenheit von Regenwürmern beobachtet. Untersuchungen über die Bedeutung der Regenwürmer auf die Bodenmikroorganismen ergaben, dass sich in der unmittelbaren Umgebung der Regenwurmkanäle, welche etwa 1 % des gesamten Bodenvolumens ausmacht, 42 % der aeroben, Stickstoff fixierenden Mikroben des Bodens befinden. Es scheint, dass die Anzahl und die Artenzusammensetzung der Bodenmikroorganismen wesentlich von der Tätigkeit der Regenwürmer abhängen. Die beträchtliche Regenwurm biomasse vieler Böden bildet für viele Tiere (räuberische Insekten, Vögel, Säuger) eine wichtige Nahrungs- und Proteinquelle. Direkte Effekte von Regenwürmern auf die Erträge von Kulturpflanzen sind aus methodischen Gründen schwer nachzuweisen, da die Regenwürmer mit ihrer Tätigkeit den Boden sowohl physikalisch chemisch als auch biologisch beeinflussen. Für Jungpflanzen kann einmal das rasche

Eindringen der Wurzeln in tiefere Bodenschichten von grosser Bedeutung sein. Zum anderen ist es eine Tatsache, dass Pflanzen in regenwurmreichen Böden grössere Wurzelwerke ausbilden. Dies schafft ihnen bessere Voraussetzungen für eine genügende Wasser- und Nährstoffversorgung. Möglicherweise sind solche Pflanzen auch weniger stressanfällig, was sich beim Auftreten von Schädlingen günstig auswirken könnte. Die Tendenz zu besseren Erträgen durch Regenwürmer stellte man in holländischen Poldern in Obstanlagen und Mähweiden fest, welche neu kultiviert worden sind. In Neuseeland wurde die Produktivität von Weiden durch das Aussetzen europäischer Regenwurmartens wesentlich erhöht. Es liegen aber auch Arbeiten vor, welche zeigen, dass die Regenwürmer die pflanzen-parasitischen Nematoden im Boden, überwinterte Blattminierer und Winterformen von Schadpilzen deutlich reduzieren können.

Schädigungen, respektive starke Reduktionen der Regenwurmpopulationen können hauptsächlich durch intensives Pflügen und durch regenwurmtoxische Pestizide entstehen. Andererseits fördern minimale Bodenbearbeitung und konsequente Grünbedeckung der Böden sowie Stallmistgaben und Mulchdecken die Regenwürmer, insbesondere die erwünschten vertikal grabenden Formen. In Wäldern bilden das Futterangebot und die Qualität der vorhandenen Pflanzenstreu einen weiteren wichtigen Faktor für das Auftreten der einzelnen Regenwurmartens. Die Nadeln praktisch aller einheimischer Koniferen werden sehr schlecht und Buchenlaub nur mässig von den Regenwürmern als Nahrung angenommen. Eine einseitige Förderung dieser Baumarten kann somit zu einer starken Reduktion der Regenwurmpopulationen führen. Über Schäden, welche nachweislich von Regenwürmern verursacht worden sind, liegen nur sehr wenige Angaben vor. In äusserst seltenen Fällen kann es vorkommen, dass die Regenwürmer unverhältnismässig grosse Mengen Kot auf dem Oberboden von Mähweiden absetzen, wodurch das Futter stark verschmutzt wird. Einige Autoren nennen zudem die Bedeutung der Regenwürmer als Zwischenwirte und als Träger von tierischen Parasiten. Am häufigsten werden Vogelbandwürmer und Nematoden, welche die Atmungsorgane von Vögeln befallen, genannt.

Bereits 1837 wies Darwin in einem Vortrag vor der Britischen Geologischen Gesellschaft auf die Bedeutung der Regenwürmer für die Humusbildung hin. In seinem Buch 'The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits' fasste er seine mehrjährigen Beobachtungen zusammen. Anhand von Experimenten und aufgrund von Beobachtungen an römischen Ruinen konnte er nachweisen, dass diverse Gegenstände wie Steine, Kalk-, Sand-, Buntmergel- oder Ascheschichten durch die Tätigkeit der Regenwürmer langsam in den Boden eingearbeitet resp. überdeckt worden waren. Er fand beispielsweise den Fussboden einer ca. 1500 jährigen römischen Villa gleichmässig von einer 40 cm dicken Humusschicht überdeckt. Aufgrund mehrerer Experimente kam er zu dem Schluss, dass diese Überdeckung ausschliesslich auf die Tätigkeit der Regenwürmer zurückzuführen war. Darwin war somit der erste Wissenschaftler, welcher auf die grosse Bedeutung der Regenwürmer für den Bodenbildungsprozess hinwies. Am Schluss seines Buches schrieb er: "Es ist ein wunderbarer Gedanke, dass sämtlicher Humus der oberen Bodenschichten durch die Regenwürmer gegangen ist und wiederum innert einiger Jahre die Körper der Würmer passieren wird. Der Pflug ist eine der ältesten und wertvollsten menschlichen Erfindungen. Doch lange bevor der Pflug existierte, wurden die Böden regelmässig gepflügt und sie werden immer und fortwährend durch die Würmer gepflügt. Es darf bezweifelt werden, ob es viele andere Tiere gibt, denen eine so wichtige Rolle in der Erdgeschichte zukommt, wie diesen niedrig organisierten Geschöpfen". Und er vergleicht am Ende seiner Betrachtungen die Bedeutung der Regenwürmer in unseren Böden mit jener der Korallen in den tropischen Meeren.

Der deutsche Name Regenwurm ist irreführend. Eigentlich müsste man diese Tiere Erdwürmer nennen, wie dies in Englisch (earthworm) und Französisch (ver de terre) auch der Fall ist.

Der Ausdruck 'Regenwurm' beruht auf der Beobachtung, dass häufig bei regnerischem Wetter wandernde Regenwürmer an der Bodenoberfläche angetroffen werden. Der Grund für dieses Verhalten liegt darin, dass bei nassem Wetter die Tiere ohne auszutrocknen oberirdisch einen neuen Aufenthaltsort aufsuchen können. Alle Regenwürmer sehen äusserlich sehr ähnlich aus. Ihr langgestreckter Körper ist im wesentlichen ein in viele Segmente unterteilter Muskelschlauch, welcher gegen aussen von einer dünnen, stets feuchten Aussenhaut abgeschlossen wird. Sie verfügen weder über Extremitäten noch über verhärtete Mundpartien, welche zum Graben verwendet werden könnten. Trotzdem haben sie weltweit äusserst erfolgreich die verschiedensten Böden besiedelt. Aufgrund ihrer Lebensweise teilte BOUCHÉ (1977) die Regenwürmer in drei ökologische Gruppen ein (epigäische, endogäische und vertikal grabende Formen). Obwohl viele Arten nicht eindeutig einer Gruppe zugeordnet werden können und juvenile Stadien zum Teil ein anderes Verhalten zeigen als die adulten Tiere, hat sich diese Gruppierung als zweckmässig erwiesen.

- Die epigäischen Formen leben praktisch ausschließlich im organischen Oberboden oder in Anhäufungen von organischem Material.
- Die endogäischen Formen halten sich hauptsächlich im Wurzelbereich auf und kommen eher selten an die Bodenoberfläche. Im Gegensatz zu den vertikal grabenden Formen legen die endogäischen Formen keine Wohnröhren an, welche sie während längerer Zeit bewohnen. Diese Würmer nehmen bei der Nahrungsaufnahme Umgebungsboden auf, welcher mit organischem Material (z.B: mit abgestorbenen Wurzelteilen) durchsetzt ist.
- Die vertikal grabenden Formen legen, wie ihr Name sagt, im Boden annähernd vertikal grabende Wohnröhren an, welche tief in den Unterboden reichen können und auch während längerer Zeit bewohnt bleiben.

Die Öffnungen dieser Wohngänge werden an der Bodenoberfläche meist nur locker verschlossen, so dass durch diese Röhren (Durchmesser 2-11 mm) leicht Niederschlagswasser in den Boden einsickern kann (EHLERS, 1975; BEVEN und GERMANN, 1982). Die Tiere zeichnen sich dadurch aus, dass sie ihre Nahrung von der Bodenoberfläche holen und in ihre Wohnröhren einziehen. Wo diese in genügenden Mengen vorhanden ist, wird der grösste Teil der oberirdisch anfallenden Streu von den Würmern in den Boden eingearbeitet (RAW, 1962; EDWARDS und HEATH, 1963; NIKLAS und KENNEL, 1981; LAING et al., 1986). Das eingezogene Streumaterial wird von den Würmern im oberen Teil der Wohnröhre auf die Wandungen aufgetragen und mit Kot verklebt. Durch diese Massnahme wird die aerobe mikrobielle Zersetzung der in den Boden eingebrachten Streu gefördert. Man nimmt an, dass die Regenwürmer die fermentierte Streu mehrere Male, zusammen mit dem abgesetzten Kot, durch den Darm passieren lassen.

Heute weiss man, dass die Regenwürmer wichtige Elemente unserer Ökosysteme sind und sehr effizient, jedoch viel subtiler auf die Böden wirken als dies mit einem Pflug je erreicht werden kann. Beim Pflügen erhält man unter grossem Energieaufwand bloss eine zeitlich begrenzte physikalische Lockerung des Oberbodens. Der Einfluss der Regenwürmer hingegen ist wesentlich vielfältiger. Die Bedeutung der Regenwürmer in Ökosystemen kann aufgrund der heutigen Kenntnisse etwa wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die Bedeutung der Regenwürmer für die Pflanzenernährung

Recycling von Nährstoffen

Wie bereits erwähnt, wird die jährlich anfallende Streu von krautigen Pflanzen und Laubbäumen praktisch vollständig von den vertikal grabenden Arten in den Boden eingearbeitet (RAW, 1962; EDWARDS und HEATH, 1963; PEREL et al., 1966 NIKLAS und KENNEL, 1981; SATCHELL, 1974; LAING et al., 1986). Damit gelangen die organisch gebundenen Nährstoffe der abgestorbenen Pflanzenteile in den Boden und werden durch die dort vorhandenen Organismen sukzessive im Boden freigesetzt. HOOGERKAMP et al. (1983) beobachteten in Raygraswiesen auf neuen Polderböden, in denen die vier Regenwurmartarten *Lumbricus terrestris*, *Nicodrilus longus* (vertikal grabende Arten), *Lumbricus rubellus* (epigäische Art) und *Nicodrilus caliginosus* (endogäische Art) ausgebracht worden waren, dass die 0,5 bis 2,5 cm mächtige Rohhumusmatte aus abgestorbenen, zusammengestampften Grasblättern und Kuhmist nach einem Jahr verschwand. Der Gesamtstickstoff des Oberbodens (20 cm) hingegen stieg innert acht Jahren von 0,204 t auf 1,100 t pro ha an. Ähnliche Beobachtungen machte VAN RHEE (1977) in Obstanlagen auf ebenfalls neu in Kultur genommenen Poldern. In den Anlagen, deren Böden mit Regenwürmern besiedelt worden waren, fand nach der Ansiedlung eine rasche Einarbeitung der Laubstreu in den Boden statt.

Aufschluss und Verfügbarkeit von Nährstoffen

Typisch für die Regenwürmer ist, dass sie bei der Nahrungsaufnahme zusammen mit den verrotteten organischen Bestandteilen auch grössere Mengen Mineralerde in den Darm aufnehmen. Die Bedeutung der Aufnahme von Mineralerde für den Regenwurm ist bis heute noch nicht geklärt. Hingegen kennt man die Bedeutung der Regenwurmkrümel für die Pflanzenernährung und die Bodenfruchtbarkeit. Genauere Untersuchungen zeigten, dass Wurm Kot reich an austauschbaren Ionen und auch ein guter Ionenaustauscher ist (GRAFF, 1983). Der gleiche Autor fand in Wurmlösungen eines Wiesenbodens in Mitteldeutschland 137 µg Phosphat pro g trockenen Wurm Kot, während der Umgebungsboden in den obersten 10 cm lediglich 29 µg Phosphat pro g trockener Erde enthielt (GRAFF, 1971). MACKAY et al. (1982, 1983) verzeichneten nach Roh- und Superphosphatgaben bei Böden, in denen die Regenwurmart *Lumbricus rubellus* vorhanden war, eine Zunahme an extrahierbarem Phosphat um 32 % in der obersten Bodenschicht. Die jährliche Kotproduktion der Regenwürmer kann mehrere t pro ha ausmachen (Maxima im Herbst und Frühjahr). Der Kot wird sowohl an der Bodenoberfläche als auch im Boden selbst deponiert. STÖCKLI (1928) registrierte in einer Golfwiese bei Zürich eine jährliche oberirdische Regenwurm Kotablagerung von 81 t ha. GRAFF (1971) berechnete die jährlich anfallende Kotmenge von *Lumbricus terrestris* (vertikal grabende Art) auf 267 kg pro kg Lebendmasse für Mitteldeutschland. BOUCHÉ (1982) schätzt bei vertikal grabenden Arten die jährliche Kotproduktion auf 200 kg pro kg Lebendmasse und bei endogäischen Arten sogar auf 400 kg pro kg Lebendmasse. Dies bedeutet, dass durch die Regenwurmpopulation von 2,7 t ha in einer Weide der Eidg. Forschungsanstalt von Changis (Nyon) jährlich 670 t Regenwurm Kot abgelagert werden (eigene Erhebungen: 1,22 t *L. terrestris* + 1,23 t *Nicodrilus* Arten + 0,26 t endogäische Arten pro ha). Dieser biologisch umgesetzte Boden hat wesentlich andere Qualitäten als mechanisch gelockerter Boden. Die stetigen Kotablagerungen auf der Bodenoberfläche und in den Regenwurm gängen führen dazu, dass der Oberboden fortwährend mit neugebildeten Mullhumus versorgt wird. Diese kontinuierliche Neustrukturierung von stabilen Aggregaten, deren Oberfläche reich an leicht verfügbaren Ionen sind, führt auch zu einer besseren Nährstoffversorgung der Pflanzen (GRAFF und MAKESCHIN, 1980; HILDEBRAND, 1988, ergänzt durch mündliche Mitt.).

2. Die Bedeutung der Regenwürmer für die Bodenstruktur

Aggregatstabilität

Wurzelausbildung und Regenwurmgänge

Es war ebenfalls DARWIN (1881), welcher auf die Bedeutung der Regenwurmgänge für das Wurzelwachstum hinwies. Besonders beeindruckend sind die Beobachtungen von WYS-SOTZKY (1898; zit. in STÖCKLI, 1928) welcher im heute zur UDSSR gehörenden Veliko-Anatolien Regenwurmgänge fand, die bis in 8 m Tiefe reichten. Von diesen wurden 92 % von Pflanzenwurzeln als Wachstumskanäle verwendet, womit diese leicht in tiefere, wasserreichere Bodenschichten vordringen konnten. Die Bedeutung der Regenwurmgänge für das Wurzelwachstum scheint bis heute unterschätzt worden zu sein. In schweren Böden kann das Vorhandensein von Regenwurmängen entscheidend für die Wurzelausbildung sein. EHLERS et al. (1983) fanden im Ap-Horizont von gepflügten Böden für Haferwurzeln einen maximalen Penetrationswiderstand von 3,6 MPa. Demgegenüber lag der maximale Penetrationswiderstand im unbearbeiteten Ackerboden zwischen 4,6 und 5,1 MPa. Die Autoren führten diese Unterschiede auf die verwendete Messmethode zurück, welche bloss den Penetrationswiderstand der Bodenmatrix erfasst und kein geeignetes Mass zur Charakterisierung der Mikrostruktur der Böden darstellt. Sie fanden im unbearbeiteten Boden eine deutlich höhere Anzahl an Regenwurmängen, welche sie letztlich für die besseren Wurzelwachstumswerte in diesem Boden verantwortlich machten. In diesen Untersuchungen wiesen die gepflügten Äcker in den oberen Schichten (Pflughorizont) wohl ein höheres Porenvolumen und mehr Grobporen auf. Es existierten aber praktisch keine vertikalen Röhren, welche als durchgehende Kanäle von der Bodenoberfläche bis in den Unterboden reichten. Dies hatte zur Folge, dass in der gepflügten Variante unterhalb der normalen Pflugtiefe deutlich weniger Wurzeln als in der ungepflügten gemessen wurden. Es waren auch hier in erster Linie die durchgehenden Regenwurmgänge der vertikal grabenden Arten, welche das Vordringen der Wurzeln in grössere Tiefen ermöglichten. In Laborexperimenten konnte DEXTER (1986) an künstlich erzeugten Verdichtungen im Unterboden zeigen, dass Grobporen, welche den Verdichtungshorizont durchstossen, für die Wurzeln wichtige Eindringungspforten zu den tiefer liegenden Bodenschichten bilden. Regenwürmer sind durchaus in der Lage, durch verdichtete Horizonte Gänge zu graben. Dies konnte DEXTER (1978) mit seinen Studien über das Grabvermögen von *Nicodrilus caliginosus* nachweisen, indem kein Zusammenhang zwischen der Länge der gegrabenen Gänge und dem Penetrationswiderstand (bis maximal 3 MPa) des Bodens gefunden werden konnte. KRETSCHMAR (1982) stellte sehr detaillierte Studien über die Ausdehnung der von Regenwürmern angelegten Porensysteme in einer Dauerwiese in Frankreich an. Dabei stellte er fest, dass von einer Regenwurmpopulation von ca. 2 t pro ha (200 g pro qm) angelegte Röhrensystem in einem Block von 1 qm Grundfläche und 1,2 m Tiefe im Februar eine maximale Ausdehnung von 900 m Länge erreichte und im August noch ein Minimum von 150 m aufwies. Das maximale Volumen dieses Porensystems wurde auf 9 l, das minimale Volumen auf 1,5 l geschätzt und die gesamte Oberfläche der Röhreninnenwände wurden von BOUCHÉ (1982) mit maximal 5 m² angegeben. Diese Porensysteme sind für das Wurzelwachstum von grosser Bedeutung und beeinflussen indirekt die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen. Die Ausbildung von grösseren Wurzelmassen bei der Anwesenheit von Regenwürmern wurden von verschiedenen Autoren beobachtet. VAN RHEE (1977) stellte in Obstanlagen, in denen acht Jahre zuvor Regenwürmer ausgesetzt worden waren, eine Zunahme der Grobwurzeln (Durchmesser 0,5mm) um 138 % und bei feineren Wurzeln eine solche um 47 % fest. HOGERKAMP et al. (1983) fanden acht Jahre nach Aussetzen von Regenwürmern eine Zunahme der Wurzelmasse von 0,38g auf 1,31g Trockensubstanz pro Kg trockenen Boden in den obersten 15 cm des Bodens unter

Reinbeständen von englischem Raygras (*Lolium perenne*). Sie beobachteten auch, dass die Wurzeln in den regenwurmlosen Böden stärker verzweigt und weniger lang waren. Dieser Befund deckt sich mit den Feststellungen von EDWARDS und LOFTY (1977b), welche eine hohe Korrelation zwischen dem Wurzelwachstum von Gerste und der Populationsdichte der beiden vertikal grabenden Regenwurmarten *Lumbricus terrestris* und *Nicodrilus longus* in Böden von minimal bearbeiteten Äckern fanden.

3. Der Einfluss der Regenwürmer auf andere Bodenlebewesen und ihre Bedeutung als Protein- und Nahrungsquelle für andere Organismen

Der Einfluss der Regenwürmer auf die Bodenmikroflora und -fauna

Die wechselseitigen Beziehungen zwischen Bodenmikroorganismen und Regenwürmern werden in der Zukunft sicher ein wichtiges und faszinierendes Forschungsgebiet bilden. Bereits STÖCKLI (1928) zeigte, dass die Regenwürmer das Wachstum von Bodenbakterien stark anregen. Im Verhältnis zum Umgebungsboden fand er sowohl im Regenwurmdarm als auf den abgesetzten Kotkrümeln hohe Dichten von zucker-, stärke, zellulose- und pektinzersetzenden sowie von Nitrat reduzierenden Bakterien. Er wies auch als erster nach, daß die Regenwurmgänge für die Erschliessung der tiefer liegenden Bodenschichten durch aerobe Mikroben von Bedeutung sind. LOQUET et al.(1977) fanden, dass in der unmittelbaren Umgebung der Regenwurmkanäle, welche etwa 1 % des Bodenvolumens umfasst, 42 % der aeroben, Stickstoff fixierenden Mikroben des Bodens gefunden werden können. BOUCHÉ (1982) ist sogar der Überzeugung, dass die Anzahl und die Artenzusammensetzung der Bodenmikroorganismen weitgehend von der Tätigkeit der Regenwürmer abhängen. Detaillierte Studien über die Bedeutung der durch die Regenwürmer geschaffenen Mikrostrukturen und Habitate für Bodenmikroarthropoden fehlen heute noch. Die verlassenen Regenwurmgänge werden relativ rasch von Collembolen und Bodenmilben besiedelt (SZLAVECZ, 1985). Andererseits werden den meisten Streubewohnern durch das rasche Einarbeiten der Streu durch die Regenwürmer nicht nur ihre Habitate zerstört, sondern auch noch ihre Nahrungsgrundlage entfernt (PEREL et al., 1966).

Die Bedeutung der Regenwürmer als Protein- und Nahrungsquelle von anderen Organismen in Ökosystemen

Angesichts der beträchtlichen Regenwurmbiomasse vieler Böden scheint es naheliegend, dass diese Tiere für andere Organismen eine wichtige Proteinquelle darstellen. Bei vielen Säugern (inkl. Fuchs und Dachs) und Vögeln (Drosseln, Greifvögel) nehmen die Regenwürmer eine wichtige Stellung in der Ernährung ein, während der Maulwurf sich sogar fast ausschliesslich von Regenwürmern ernährt. CUENDET (1979) fand, dass sich Lachmöven zeitweise zu mehr als 90 % von Regenwürmern ernähren, ohne dass die jedoch zu merklichen Populationsverminderungen bei den Regenwürmern führte. Es wird angenommen, dass sich viele wirbellose Tiere von Regenwürmern ernähren. Genaue Untersuchungen darüber sind uns aber nicht bekannt. Die Regenwürmer werden oft von Laufkäfern, insbesondere von grossen *Carabus*-Arten, gefressen. Den genauen Stellenwert, welche diese Nahrung für die in der Landwirtschaft nützlichen Räuber hat, ist bis dahin noch nicht untersucht worden.

4. Der Einfluss der Regenwürmer auf die Erträge von Nutzpflanzen und ihre Bedeutung im Konzept einer standort- und umweltgerechten landwirtschaftlichen Produktion (Integrierte Produktion)

Direkte Effekte von Regenwürmern auf die Erträge von Kulturpflanzen sind aus methodischen Gründen schwer nachzuweisen, da die Regenwürmer mit ihrer Tätigkeit den Boden sowohl physikalisch, chemisch als auch biologisch beeinflussen. Die Wirkung der

Regenwürmer auf den Boden ist somit sehr vielfältig und manifestiert sich erst mit einer zeitlichen Verzögerung. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass der Aufbau einer starken Regenwurmpopulation einige Jahre benötigt und diese den Boden nur langsam verändern kann. Umgekehrt bleiben bei einem Verschwinden der Regenwürmer die von diesen Tieren gebildeten Strukturen noch einige Zeit im Boden erhalten. Dementsprechend lassen sich diesbezüglich Fragestellungen nur in mehrjährigen Freilandversuchen richtig beurteilen. Der Boden ist ein Medium das sehr träge auf Veränderungen reagiert. Von den Regenwürmern wissen wir, dass sie bei richtiger Förderung die Eigenschaften der Böden positiv beeinflussen und damit auch die Ausbildung eines guten Wurzelwerkes der Nutzpflanzen ermöglichen. Beides ist für eine gute Bestandesentwicklung der Pflanzen wichtig. So ist beispielsweise ein rasches Eindringen der Wurzeln in tiefere Bodenschichten für Jungpflanzen von grosser Bedeutung. Je rascher dieser Prozess erfolgen kann, desto geringer wird für die Pflanzen das Risiko, beim Eintreten einer Trockenperiode unter Wassermangel zu leiden. Eine gute Bodenstruktur und ein gutes Wurzelwerk erhöhen langfristig die Ertragsstabilität. Wie gezeigt wurde, weisen regenwurmreiche Ackerböden in der Regel einen ausgeglicheneren Wasserhaushalt auf. Dank der höheren Sicker- und Infiltrationsraten regenwurmreicher Böden neigen diese in den Wintermonaten weniger stark zu Staunässe und leiten in den Sommermonaten einen grossen Teil des Niederschlagswassers in den Wurzelraum ab. Da im Sommer die Niederschläge oft in Form kurzer, heftiger Gewitter anfallen, fangen Böden mit hohen Sickerraten diese besser auf, was eine bessere Wasserversorgung der Pflanzen gewährleistet. Die Tatsache, dass Pflanzen in regenwurmreichen Böden grössere Wurzelwerke ausbilden, schafft ihnen bessere Voraussetzungen für eine genügende Wasser- und Nährstoffversorgung. Möglicherweise sind solche Pflanzen auch weniger stressanfällig, was sich beim Auftreten von Schädlingen günstig auswirken könnte. Aufgrund der gesichteten Literatur scheint es, dass über solche interessante Interaktionen noch praktisch keine Untersuchungen vorliegen, obwohl Kenntnisse über diese Zusammenhänge für künftige Pflanzenschutz- und Anbaustrategien wesentliche Konsequenzen haben könnten. So fand beispielsweise LOUDA (1986) bei *Cardamine cordifolia* - Pflanzen, deren Wurzeln gestutzt und die anschliessend in wasserübersättigte Böden gepflanzt worden waren, einen deutlich höheren Befall durch saugende und fressende Insekten als bei ungestörten Pflanzen. Dem integrierten Pflanzenschutz und einer standort- und umweltgerechten Produktion liegt das Prinzip zugrunde, vorbeugend alle natürlichen Faktoren auszunutzen, die das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten stark einschränken. Ein regenwurmreicher und damit biologisch aktiver Boden bildet somit einen wesentlichen Bestandteil in diesem Konzept. Dementsprechend wird bei dieser Anbaustrategie auch auf regenwurm- und bodenschonende Bewirtschaftungsmassnahmen geachtet, wie z.B. im Lautenbach-Projekt (Baden-Württemberg; STEINER et al., 1985; EL TITI, 1988). Dort bauten sich in den integriert bewirtschafteten Feldern nach einigen Jahren deutlich höhere Regenwurmpopulationen auf als in den intensiv bewirtschafteten. Trotz höherer Aufwände für die intensiv bewirtschafteten Parzellen fiel das Betriebsergebnis der integrierten Parzellen besser aus, und sie wiesen im langjährigen Vergleich ausgeglichene Erträge auf. Die Tendenz zu besseren Erträgen durch Regenwürmer stellte man auch in den neu in Kultur genommenen Poldern in Holland fest. In Obstanlagen holländischer Polder stellte VAN RHEE (1977) ab dem 3. bis zum 9. Jahr nach einer Regenwurmfreilassung in 12 von 36 Fällen eine Ertragserhöhung um 5,6 bis 14,2 % fest und fand lediglich in 3 Fällen eine Ertragsreduktion um 6,2 bis 8,9 %. Bei den Untersuchungen von HOOGERKAMP et al. (1983) lagen die Weideerträge in den Flächen, in denen die Regenwürmer freigelassen wurden, in allen 6 untersuchten Fällen zwischen 3,4 und 21,5 % über jenen der Vergleichsflächen. Geradezu spektakuläre Mehrerträge erzielte man in neuseeländischen Weiden durch das Ausbringen europäischer Regenwurmart, welche im Gegensatz zu den einheimischen Arten an die Weidewirtschaft angepasst sind. In einem Kleinparzellenversuch verzeichnete NIELSON (1951, 1953) Ertragszunahmen zwischen 28

und 111 % in Weiden, in denen *Nicodilus caliginosus* ausgesetzt wurde. STOCKDILL (1959, 1966) stellte einige Jahre nach dem Ausbringen europäischer Regenwürmer grossflächige Ertragszunahmen von 73 % fest, welche sich später gegenüber Kontrollflächen auf einem um 30 % höheren Ertragsniveau stabilisierten (STOCKDILL, 1982). Es ist schwer abzuschätzen, ob diese Mehrerträge zum Teil auch auf einen geringeren Anteil phytoparasitärer Nematoden in den regenwurmreichen Flächen zurückgeführt werden könnte. RÖSSNER (1981, 1986) fand im Labor, dass die meisten der untersuchten europäischen Regenwurmart die endoparasitären Nematoden im Boden deutlich reduzierten. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den Untersuchungen von EL TITI (1988), welcher in Zuckerrübenparzellen, die nach den Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes bewirtschaftet wurden, einen signifikant höheren Regenwurmbesatz und deutlich weniger Rübenkopf-Ählchen als in intensiv bewirtschafteten Parzellen fand. Aus dem Obstbau sind aber auch Beispiele bekannt, welche belegen, dass die Regenwürmer durch den raschen und fast vollständigen Streueintrag wichtige Hygienefunktionen übernehmen können. LAING et al. (1986) fanden bei überwinternden Puppen des Apfelblatt-Minierers *Phyllonorycter blancardell* F. eine Mortalität von mehr als 95 %. Sie konnten zeigen, dass die dort vorhandene *L. terrestris* Population mit dem Einarbeiten der Streu auch noch die in den Apfelblättern vorhandenen Puppen dieses Schädling vernichtete. KENNEL (1972) sowie NIKLAS und KENNEL (1981) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass *L. terrestris* mit Vorliebe die Sporenlager von Pilzen auf Fallaub und auf Rindenstücken abweidet und dass durch das Einbringen der Streu in den Boden ein sehr hoher Anteil der Winterformen phytopathogener Pilze wirkungsvoll vernichtet wird.

5. Die Beeinflussung der Regenwürmer durch menschliche Eingriffe

Viele menschliche Eingriffe können sich negativ auf die Regenwürmer auswirken. Es ist bekannt, dass intensives und tiefes Pflügen (EDWARDS und LOFTY, 1969; EHLERS, 1975; SCHRUF et al. 1982; TEBRÜGGE, 1987) oder der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (NIKLAS und KENNEL, 1978; LEE, 1985) die Regenwurmpopulationen empfindlich schädigen können. Dabei wurde beobachtet, dass durch diese Massnahmen besonders die vertikal grabenden Arten stark betroffen werden. Da eine Reduktion oder eine Inaktivierung der Regenwürmer nicht erwünscht ist, sollten solche Massnahmen sehr zurückhaltend angewandt werden und künftig nur solche Pflanzenschutzmittel zugelassen werden, welche auch für die Regenwürmer ungefährlich sind. Mit minimaler Bodenbearbeitung und konsequenter Grünbedeckung (EDWARDS und LOFTY, 1969; EHLERS, 1975; TEBRÜGGE, 1987) ist es möglich, die Regenwürmer, insbesondere die erwünschten vertikal grabenden Formen, zu fördern. Positiv auf die Regenwurmpopulationen wirken sich organische Dünger, insbesondere Stallmist (WILCKE, 1962; EDWARDS, 1983) und Mulchdecken aus (SCHRUF et al, 1982). GRAFF (1969) fand unter Stroh- oder Müllkompostdecken wesentlich höhere Mengen an Wurmlosungen als in unbedeckten Vergleichsparzellen. Versauerte Böden werden von den Regenwürmern gemieden und müssen vor einer Wiederansiedlung mit grösseren Mengen Kalk versehen werden (HUHTA, 1987; TOUTAIN, 1984). In Wäldern bildet das Futterangebot und die Qualität der vorhandenen Pflanzenstreu einen weiteren wichtigen Faktor für das Auftreten der einzelnen Regenwurmart. Praktisch alle Nadeln der einheimischen Koniferen werden sehr schlecht und Buchenlaub nur mässig angenommen. Die Blätter der meisten übrigen einheimischen Laubbaumarten hingegen geben für die Würmer eine gute Futterbasis ab. CUENDET (1984) fand, dass die Regenwurmfauna unter reinen Buchenbeständen in der Umgebung von Oxford (GB) im Vergleich zu den ursprünglich vorhandenen Eichen-Hagebuchen-Beständen stark abgenommen hatte. Er konnte nachweisen, dass der Rückgang der Populationen hauptsächlich auf das Futterangebot (Buchenlaub) zurückgeführt werden muss. Zu ähnlichen Ergebnissen führten Untersuchungen von ZISCI (1987) in reinen Schwarzkieferbeständen in Ungarn. Im

Vergleich zu denen in den ursprünglichen Eichen-Hagebuchen-Beständen gingen die Regenwurmpopulationen in den Schwarzkiefer-Standorten drastisch zurück. Besonders auffällig war in den Nadelbaumflächen das Fehlen der vertikal grabenden Formen. Die Würmer wirken mit ihrer Tätigkeit einer Podsolierung entgegen. ZISCI (1987) warnt deshalb vor einer einseitigen Förderung der Koniferenbestände, weil dadurch die Regenwürmer verdrängt werden und damit die Gefahr besteht, dass diese Böden mit der Zeit degradieren.

6. Unerwünschte Effekte von Regenwürmern

Eigenartigerweise findet man wenig Angaben über Schäden, welche nachweislich von Regenwürmern verursacht sind. In äusserst seltenen Fällen konnte beobachtet werden, dass die Regenwürmer unverhältnismässig grosse Mengen Kot auf dem Oberboden von Mähwiesen absetzten, wodurch das Futter stark verschmutzt wird. In LEE (1985) findet man Angaben über die Möglichkeit der Verschleppung von bodenbürtigen Pflanzenkrankheiten (*Fusarium* spp. und *Pythium* spp.), welche den Regenwürmern zugeschrieben werden. Die diesbezüglichen Arbeiten liegen allerdings relativ weit zurück und sind nicht durch neuere Beobachtungen bestätigt worden. Sie stehen aber auch im Gegensatz zu der Beobachtung, dass *Fusarium* spp. bei aeroben Bedingungen im Boden die Pflanzenwurzeln weniger stark befallen können (Mündl. Mitt. Frau Dr. G. Defago, ETH Zürich und Dr. H.P. Lauber, FAW, Wädenswil). Einige von LEE (1985) zitierte Autoren nennen die Bedeutung der Regenwürmer als Zwischenwirte und als Träger von tierischen Parasiten. Am häufigsten werden Vogelbandwürmer und Lungenwürmer (Nematoden) genannt. Dieses Gebiet ist allerdings noch wenig erforscht, weshalb sich die Bedeutung der Regenwürmer für die Verschleppung von Krankheiten und Parasiten nicht abschliessend beurteilen lässt.

7 Schlussbemerkungen

Wie aus der vorliegenden Literaturstudie hervorgeht, bilden die Regenwürmer, insbesondere die vertikal grabenden Arten, eine bedeutende Komponente unserer Ökosysteme. Abgesehen von den natürlich versauerten Standorten kommen diese Tiere meist in grossen Mengen in unseren Böden vor. Für die landwirtschaftlich genutzten Böden gibt es auch genügend Gründe, diesen Tieren grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Ein Boden mit einer guten Bodenstruktur und einem optimalen Wasserhaushalt, welcher die Ausbildung guter Wurzelwerke ermöglicht, kann praktisch nur mit einer gesunden Regenwurmpopulation erreicht werden. Zieht man zudem noch in Betracht, dass durch die Tätigkeit der Regenwürmer die Nährstoffe aufgeschlossen und damit für die Pflanzen besser verfügbar gemacht werden, erstaunt es wirklich, dass man in der Landwirtschaft nicht schon viel früher in viel grösserem Ausmass auf diese wertvollen Tiere aufmerksam gemacht worden ist. Die gezielte Förderung der Regenwürmer gehört somit zu den grundlegenden Massnahmen einer standort- und umweltgerechten Landwirtschaft, und es ist selbstverständlich, dass solche Massnahmen gleichzeitig auch zu einem aktiven Bodenschutz gehören.

LITERATUR

- BAVEL, C. H. M., VAN: Soil water potential and plant behavior: a case modeling study with sunflowers. *Oecol Plant.* 9, 89-109, 1974
- BEVEN, K. und GERMANN, P.: Macropores and waterflow in soils. *Water Resources Research* 18, 1311-1325, 1982.
- BOUCHÉ ; M. B.: Strategies lombriciennes. in: U. LOHM et T. PERSSON 'Soil organisms as components of ecosystems', proc. 6 th Int. coll. soil zool.; *Ecol. bull. (Stockholm)*, 25, 122-132, 1977.
- BOUCHÉ, M.B.: Un exemple d'activite animale: le role des lombriciens. *Acta Oecologica Generalis* 3, 127-154, 1982.
- BYZOVA, J.B.: Some examples of the role of invertebrates in the formation of soil gas regime. In: STRIGANOVA (ed.) *Soil fauna and soil fertility*, proc. 9 th Int. coll. soil zool. Moskow.

Moskow 'Nauka', 124-128, 1987.

CARTER, A.; HEINONEN, J. und VRIES DE, J.: Earthworms and water movement. *Pedobiologia* 23, 395-397, 1982.

CUENDET, G.: Etude du comportement alimentaire de la mouette ricuse (*Larus ridibundus* L.) et de son influence sur les peuplements lombriciens. Diss. Uni. Lausanne, 1979.

CUENDET, G.: A comparative Study of the earthworm population of four different woodland types in Wytham woods Oxford. *Pedobiologia* 26, 421-439, 1984.

DARWIN, C.: On the formation of mould. *Proc. Geol. Soc.* 2, 574-576, 1837.

DARWIN, C.: The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits. Murray, London, 298 pp., 1981.

DEXTER, A.R.: Tunneling in soil by earthworms. *Soil. Biochem.* 10, 447-449, 1978. DEXTER, A.R.: Model experiments on the behaviour of roots at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. III. Entry of pea and wheat roots into cylindrical biopores. *Plant and soil* 95, 149-161, 1986.

DUNGER, W.: Tiere im Boden. Die Neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen, Wittenberg Lutherstadt, 280 pp., 1983.

EDWARDS, C.A. und HEATH, G.W.: The role of the soil animals in breakdown of leaf material. In: *Soil organisms*, J. Doeksen und von der Drift (eds.). North Holland Publishing Co., Amsterdam, pp. 76-80, 1963.

EDWARDS, C.A. und LOFTY, J.R.: Effects of cultivation on earthworm populations. Rep. Rothamsted exp. Stn. for 1968, pp. 247-248, 1969. EDWARDS, C.A. und LOFTY, J.R.: The influence of vertebrates on root growth of crops with minimal or zero cultivation. In: *Proc. 6th int. coll. soil zool.; Ecol. bull. (Stockholm)*. 25, 348-356, 1977b. EDWARDS, C.A.: Earthworm ecology in cultivated soils. pp. 123-137. in: SATCHELL, J.E. (ed.) *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*. Chapman and Hall, London, New York, 495 pp., 1983.

EHLERS, W.: Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soils. *Soil science* 119, 242-249, 1975.

EHLERS, W., KÖPKE, U., HESSE, F. und BÖHM, W.: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soils, *Soil Till. Res.* 3, 261-275, 1983.

EL TITI, A.: Nützlingsschonende Bodenbearbeitung und ihre Folgewirkung auf einige Schadorganismen der Zuckerrüben im integrierten Pflanzenschutz. In: *Schonung und Förderung von Nützlingen*, Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 365, 284-299, 1988

GERMANN, P.: Bedeutung der Makroporen für den Wasserhaushalt eines Bodens, *Bull. Bodenk. Ges. Schweiz* 4, 13-18, 1980.

GRAFF, O.: Regenwurm-tätigkeit im Ackerboden unter verschiedenem Bedeckungsmaterial, gemessen an der Losungsablage, *Pedobiologia* 9, 120-127, 1969.

GRAFF, O.: Stickstoff, Phosphor und Kalium in der Regenwurmlosung auf der Wiesenversuchsfläche des Sollingprojektes. *Ann. zool.- ecol. anim. n.h.n.* 503-511, 1971.

GRAFF, O.: Unsere Regenwürmer, *Lexikon für Freunde der Bodenbiologie*, Verlag M.H. Schaper, Hannover, 112 pp., 1983.

GRAFF, O. und MAKESCHIN, F.: Beeinflussung des Ertrages von Weidelgras (*Lolium multiflorum*) durch Ausscheidungen von Regenwürmern dreier verschiedener Arten. *Pedobiologia* 20, 176-180, 1980.

HILDEBRAND, E.E.: Strukturgebundene chemische Ungleichgewichte in Waldböden. *Bull. Bodenk. Ges. Schweiz* 12, 67-86, 1988.

HOOGERKAMP, M., ROGAAR, H. und EIJSACKERS, H.J.P.: Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands, pp. 85-105, in: SATCHELL, J.E. (ed.) *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*. Chapman and Hall, London, New York, 495 pp., 1983.

HUTHA, J.B.: Management of earthworm populations in coniferous forests, in: Striganova (ed.) *Soil fauna and soil fertility*, proc. 9th Int. coll. soil zool. Moskow, Moskow "Nauka", 168-172, 1987.

JEANSON, C.: Etude expérimentale de l'action de *Lumbricus herculeus* (SAVIGNY) (Oligochète, Lumbricide) sur la stabilité structurale des terres, *C.R. Hébd. Séances Acad. Sci.* 250, 3041-3043, 1960.

KENNEL, W.: Schädlinge als Objekte integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen im Obstbau, *Z. Pflanzenkr. Pflanzensch.* 79, 400-406, 1972.

KRETSCHMAR, A.: Description des galeries de vers de terre et variation saisonnière des réseaux

(observations et conditions naturelles), Rev. Ecol. Biol. Sol. 19, 579-59, 1982.

LAING, J.E., HEARTY, J.M. und CORRIGAN, J.E.: Leaf burrial by the earthworm *Lumbricus terrestris* L. (Oligochaeta: Lumbricidae), as a mayor factor in the population dynamics of phyllonorycter blancardella (Lepidoptera: Gracillariidae) and its parasites. Environ. Entomal, 15, 321-326, 1986.

LEE, K.E.: Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press (Harcourt Brace Jovanivich, Publishers), Sidney, Orlando, San Diego, New York, London, Toronto, Montreal, Tokyo, 411 pp., 1985.

LOQUET, M., BHATNAGAR, T., BOUCHÉ, M.B. und ROUELLE, J.: Essai d' estmation de l'influence écologique des lombriciens sur des microorganismes, Pedobiologia 17, 400-417, 1977.

LOUDA, S.M.: Insect herbivory in response to root-cutting and flooding stress on a native crucifer under field conditions, Acta Oecol. Gener. 7, 37-53, 1986.

LYNCH, J.M.: Soil biotechnology, Blackwell Scientif. Publ. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourn, 191 pp., 1983.

MACKAY, A.D., SYERS, J.K., SPRINGETT, J.A. und GREGG, P.H.: Origin of the effect of earthworms on the availability of phosphorous in a phosphate rock, Soil Biol. Biochem. 15, 63-73, 1983.

NIELSON, R.L.: Earthworms and soil fertility, Proc. 13th Conf. N.Z. Grassland Assn. 158-167, 1951.

NIELSON, R.L.: Earthworms (recents years work) N.Z. Agric. 86, 374, 1953.

NIKLAS, J. und KENNEL, W.: Lumbricidenpopulationen in Obstanlagen der Bundesrepublik Deutschland und ihre Beeinflussung durch Fungizide auf der Basis von Kupferverbindungen und Benzimidazolderivaten. Z. Pfl.krankh.Pfl.schutz 85, 705-713, 1978

NIKLAS, J. und KENNEL, W.: The role of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. in removing sources of phytopathogenic fungi in orchards, Gartenbauwissenschaft 46, 138-142, 1981.

NORDSTRÖM, S. und RUNDGREN, S.: Environmental faktors and lumbricid associations in southern sweden, Pedobiologia 14, 1-27, 1974.

PARLE, J.N.: Microorganisms in the intestines of earthworms, J. Gen. Microbiol. 31, 1-11, 1963 a.

PARLE, J.N.: A microbiological study of earthworm casts, J. Gen. Microbiol. 31, 13-22, 1963 b.

PEREL, T.S., KARPACEVSCIJ, L.O. und JEGOROVA, S.V.: Experimente zur Untersuchung des Einflusses von Regenwürmern auf die Streuschicht und den Humushorizont von Waldböden, Pedobiologia 6, 269-276, 1966.

RAW, F.: Studies of earthworm populations in orchards. I. Leaf burial in apple orchards. Ann. appl. Biol. 50, 389-404, 1962.

RHEE, J.A., VAN: A study of the effect of earthworms on orchards productivity, Pedobiologia 17, 107-114, 1977.

RÖSSNER, J.: Einfluß von Regenwürmern auf phytoparasitäre Nematoden, Nematologica 27, 340-348, 1981.

RÖSSNER, J.: Untersuchungen zur Reduktion von Nematoden im Boden durch Regenwürmer, Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 51, 3b, 1311-1318, 1981.

SATCHELL, J.E.: Litter - interface of animate/inanimate matter, in: DICKINSON, C.H. und PUGH, G.J.F. "Biology of plant litter decomposition" vol.1. Academic Press London, 1974.

SCHRUF, G., ULSHÖFER, W. und WEGENER, G.: Faunistische ökologische Untersuchung von Regenwürmern (Lumbricidae) in Rebanlagen, Die Weinwissenschaft 37, 11-35, 1982.

SPRINGETT, J.A. und SYERS, J.K.: The effect of earthworm casts on ryegrass seedings, in: Proc. 2nd Australian Conf. Grassl. Invert. Ecol.: CROSSBY, T.K. und POTTINGER, R.P. (eds.), Government Printer, Wellington, 44-47, 1979.

STEINER, H., EL TITI, A. und BOSCH, J.: Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau: Das Lautenbach Projekt, I. Versuchsprogramm, Z. Pfl.krankh.Pfl.schutz. 93, 1-18, 1985.

STOCKDILL, S.M.J.: Earthworms improve pasture growth, N.Z. Sci. Techn. 98, 227-233, 1959.

STOCKDILL, S.M.J.: The effect of earthworms on pastures, Proc. N.Z. ecol. soc. 13, 68-75, 1966.

STOCKDILL, S.M.J.: Effect of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures, Pedobiologia, 24, 29-35, 1982.

STÖCKLI, A.: Studien über den Einfluß des Regenwurmes auf die Beschaffenheit des Bodens, Diss. ETH, Nr. 492, 122 pp., 1928.

SZLAVECZ, K.: The effect of microhabitats on the leaf litter decomposition and on the

distribution of soil animals, *Holarctic Ecology* 8, 33-38, 1985.

TEBRÜGGE, F.: Reduzierte Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben, *Die Zuckerrübe* 36, 204-210, 1987.

TOUTAIN, F.: *Biologie des Sols*, Association Francaise pour l'étude du sol, Livre jubilaire du cinquantaire, pp. 235-271, 1984.

WILCKE, D.E.: Untersuchungen über die Entwicklung von Stallmist und Mineraldüngung auf den Besatz und die Leistung der Regenwürmer im Ackerboden, *Z. angew. Entomol.*

Monograph. 18, 121- 165, 1962.

ZICSI, A.: Die Zersetzung der Nadelstreu in Waldböden Ungarns, in: STRINGANOVA (ed.) *Soil fauna and soil fertility, proc. 9th Int. coll. soil zool. Moskow, Moskow "Nauka"*, 12-18,