

**B E R I C H T E D E R N A T U R F O R S C H E N D E N
G E S E L L S C H A F T D E R O B E R L A U S I T Z**

Band 11

Ber. Naturforsch. Ges. Oberlausitz 11: 99-110 (2004)

ISSN 0941-0627

Manuskriptannahme am 8. 3. 2003
Erschienen am 1. 9. 2004

Vortrag zur 13. Jahrestagung der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz am 1. März 2003 in Görlitz

**Die Entwicklung der Regenwurmfauna (Lumbricidae)
auf den Berzdorfer Halden –
repräsentativ für europäische Bergbaugebiete ?**

Von WOLFRAM D U N G E R, KARIN V O I G T L Ä N D E R
und BETTINA Z I M D A R S

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Abstract

The paper summarizes studies on earthworm colonization on afforested mine-sites in lignite open-cast mining districts of south-eastern Upper Lusatia, Lower Lusatia and central Germany, carried out by members of the soil zoological department of the Museum of Natural History of Görlitz. The results gained are compared with the knowledge of earthworm behaviour in other parts of Europe.

The release of mineral acidity, set off by oxidation of the mine-site substratum, in combination with an insufficient soil humidity (quality of substratum) as well as a shortage of suitable food (quality of the litter layer) prevent or impede the development of earthworms. Under the condition of the (seldom studied) spontaneous succession, the earthworm colonization is delayed considerably compared with afforested mine sites (undergoing a „controlled primary succession“). On agriculturally recultivated mined lands, the very variable anthropogenic influences dominate and prevent a conformity of the development of earthworm populations with any kind of natural law.

After a 50-years-study, including a long-term-observation over 40 years of the „Langteichhalde Berzdorf“, a very typical development of earthworm populations at mine-sites, afforested with soft-leaf-trees, could be described as the „Berzdorf series“. Initially, only 3-5 earthworm species take part. Some 30 years later, regularly 9 species are found, under special circumstances further 3-4 species occur by chance. A comparison with the recently known quantitative descriptions of the earthworm populations on reclaimed lands allows the hypothesis that the „Berzdorf series“ represents an earthworm-development under conditions of an average favourable substratum and a (western) European climate. Thus, the „Berzdorf series“ can be used as a series of „expected values“ for the evaluation of the biological quality of afforested mine-sites.

Einleitung

Die Abteilung Bodenzologie des Staatlichen Museums für Naturkunde Görlitz hat in einem einmaligem Langzeitprojekt von 1960 bis 1997 – also über knapp 40 Jahre – studiert, wie Braunkohlenhalden von Bodentieren, insbesondere Lumbriciden, besiedelt werden und so an

ihrer Oberfläche Böden ausbilden können (DUNGER 1964, 1968, 1969, 1979, 1987, 1989, 1997, 1998a, b, DUNGER & WANNER 2001).

Die große Flächenausdehnung der Braunkohlentagebaue besonders in Deutschland hat inzwischen eine hohe Aufmerksamkeit für Braunkohlenfolgelandschaften hervorgebracht (BROLL et al. 2000; HÜTTL et al. 1999, 2000; PFLUG 1998; WIEGLEB et al. 2000). Gleichzeitig wurde, gefördert durch die Einführung des gesetzlichen Schutzes des Bodens als Lebensraum, der Vielfalt und Funktion von Bodenorganismen als Indikatoren der biologischen Bodengüte erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt (RÖMBKE et al. 1997, 2000, 2002). Stark vereinfacht geht die Güteeinschätzung für einen bestimmten Standort von der aktuellen Zustandserhebung der Bodenorganismen („Ist-Wert“) aus, der mit einem Referenzwert aus langjährigen Probenahmen („Soll-Wert, regionaler Mittelwert“) verglichen wird. Für die Übertragung dieser Kriterien auf eine Beurteilung der biologischen Qualitäten sich neu entwickelnder Böden in der Bergbaufolgelandschaft ist als Besonderheit zu beachten, dass nicht quasi statische Zustände von Böden zu vergleichen sind, sondern an Zeitabläufe gebundene Entwicklungsserien. Hierzu wurden erste Vorschläge bereits publiziert (DUNGER & VOIGTLÄNDER 2002). Von den mehr als 20 geprüften Bodentiergruppen (DUNGER & WANNER 2001) eignen sich Lumbriciden besonders für eine Übersicht der gewonnenen Resultate, denn sie sind als Tiergruppe anschaulich, methodisch gut erfassbar und für die Bodenbildung bei weitem am wichtigsten.

Die vorliegende Mitteilung befasst sich daher mit der Eignung von Lumbriciden (Regenwürmern) zur Charakterisierung der biologischen Bodengüte in aufgeforsteten Haldenböden in Abhängigkeit von Rekultivierungsalter und geographischer Lage. Hierzu war es erforderlich, die Ergebnisse der eigenen Befunde zum Besiedlungsverhalten der Lumbriciden in südoberlausitzer, niederlausitzer und mitteldeutschen Braunkohlegebieten zusammenzufassen und mit der vorliegenden Literatur aus Europa zu vergleichen. Weiter schien es geboten, sich im Vorfeld Klarheit über die Art und die Wirksamkeit der Faktoren zu verschaffen, von denen die Besiedlung von Halden durch Lumbriciden abhängt.

Ziel der Untersuchungen ist es letztlich, eine Zeitserie von begründbaren Erwartungswerten der Lumbricidenbesiedlung in mit Laubgehölzen aufgeforsteten Haldenböden unter durchschnittlich guten Rekultivierungs-Bedingungen (ohne Sonderbehandlung) als Vergleichsbasis zur Einschätzung der biologischen Bodengüte von bewaldeten Haldenböden zu etablieren.

Standorte

Die grundlegenden Untersuchungen liefen 1960-1997 auf Halden des Tagebaues Berzdorf südlich Görlitz ab. Als jüngste Flächen wurden die Außenhalde Nord (NA 1-4 = im 1.-4. Jahr) und die Teichhalde (T 3-6), dauerhaft aber die Langteichhalde (H 5-10; A 10-46) untersucht; alle unter Aufforstung mit Weichlaubgehölzen (Schwarzerle, Pappel, Robinie). 10 – 46 Jahre alte Flächen unter Kiefer werden mit „L 10-46“ bezeichnet. Beschreibungen der Standorte geben u.a. DUNGER 1968 und DUNGER & WANNER 2001.

Zusätzliche Untersuchungen liefen 1968 und 1997 an insgesamt 16 Standorten der Niederlausitz (DUNGER 1979, LAMBRECHT 1970, DUNGER et al. 1997) und 1960-1965 auf der Tertiär-Kippe Böhlen südlich Leipzig (DUNGER 1968, 1969).

Methoden

Die hier angegebenen Durchschnittswerte für einen Haupt-Standort in einem konkreten Altersstadium sind Mittel aus je 5 Proben, entnommen zu jeweils 3 verschiedenen Jahreszeiten. Jede dieser 15 Proben ist in drei Arten von Flächenproben geteilt (Handauslese der Streu; Austreiben der Würmer mit 0,2%iger Formalinlösung; Handauslese der Bodenschicht 0-20 cm vor Ort) und zusätzlich Handauslese im Labor von 10 Proben mit einem Bodenstecher in 0-10 cm Tiefe (Jungtiere!).

Für zusätzliche Untersuchungen wurden nur jeweils 5 - 10 parallele Proben in der beschriebenen Weise untersucht.

Die Ergebnisse wurden primär getrennt nach Arten, soweit bei Jungtieren eine Artzuordnung noch nicht möglich war nach Gattungen, erfasst und sowohl als Zahl der Individuen als auch nach Biomasse („abgetropftes Alkohol/Formalin-Gewicht“) pro Quadratmeter umgerechnet.

Zum Vergleich herangezogene Literatur wurde vorwiegend dann ausgewählt, wenn sie – was häufig nicht der Fall war – Angaben für Biomassen enthielten. Informationen lediglich auf Individuenbasis können nur dann verwendet werden, wenn sie schlüssige Vergleiche zulassen.

Lumbriciden als Besiedler von Haldenböden

Braunkohlenlagerstätten liegen - mindestens in Europa - im Bereich der Inlandvereisung während des Pleistozäns. In dieser Zeit wurde die indigene Regenwurmfauna dieses Bereiches ausgerottet. Die gesamte Lumbricidenfauna dieses Gebietes setzt sich aus nacheiszeitlichen „Rückwanderern“, d. h. aus den wenigen, etwa 20 peregrinen Arten zusammen. Dies ist jedoch kein negatives Kriterium: Gerade diese Arten sind biologisch enorm aktiv und bodenbiologisch hoch bedeutsam – und wurden inzwischen vom Menschen weltweit verschleppt.

Diese Situation erklärt, warum in dem ostdeutschen Untersuchungsgebiet nur 11 Lumbriciden-Arten gefunden wurden. Nach ihrer Lebensweise können sie in Streubewohner (epigäische Arten), Tiefgräber (anecische Arten) und Mineralbodenbewohner gegliedert werden (Tab. 1). Innerhalb der Eiszeitregion sind nur wenige Arten der offenen Landschaft des nördlichen Europa den bislang von Halden bekannten Lumbriciden-Species hinzuzufügen, wohingegen einige zusätzliche (nicht peregrine) Arten bereits in Südböhmen auftreten (PiDL 1999).

Tab. 1 Lumbricidenarten der Berzdorfer Halden

<ul style="list-style-type: none">• Streubewohner (epigäische Arten) <i>Dendrobaena octaedra</i> (Savigny, 1826) [Stubbenwurm], als Frühbesiedler häufig <i>Dendrodrilus rubidus</i> (Savigny, 1826), späterer Besiedler <i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister, 1843 [Rotwurm], früher und beständiger Besiedler, im Alter eher Tiefgräber• Tiefgräber (anecische Arten) <i>Lumbricus terrestris</i> Linnaeus, 1758 [Tauwurm], ab 10 Jahren beständig <i>Aporrectodea longa</i> (Ude, 1885). nur einmal in lockerem 10jährigen Bestand• Mineralbodenbewohner (endogäische Arten) <i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny, 1826) [Grauwurm], sehr früher und beständiger Besiedler <i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny, 1826) [Schleimwurm], mittelfrüher, beständiger Besiedler <i>Allolobophora chlorotica</i> (Savigny, 1826) [Gartenwurm], nur kurzfristig an Grasstellen <i>Octolasion cyaneum</i> (Savigny, 1826) [bläulicher Regenwurm], nur einmal gefunden <i>Octolasion lacteum</i> (Örley, 1881), relativ später, nicht häufiger Besiedler• Feuchtbodenbewohner (paludicole Arten) <i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny, 1826) [Ufer-Regenwurm], nur an Gewässerrändern <p>Anmerkung: Die hier angeführten deutschen Namen für Regenwürmer werden in Übereinstimmung mit VOIGTLÄNDER (1996) und VETTER (1996) benutzt, stimmen aber nicht immer mit den für den Anglergebrauch verwendeten Namen überein. Eine einheitliche deutsche Benennung der häufigen Regenwurmart steht noch aus.</p>

Keine dieser Arten kann als typischer Erstbesiedler oder als Pionierart bezeichnet werden – die ganze Artpalette ist noch nach 50 Jahren anzutreffen. Unter sich entwickelnder Waldbedeckung verschwinden natürlicherweise Offenlandarten wie *Allolobophora chlorotica*, *Octolasion lacteum* oder *Aporrectodea longa*, während *Dendrodrilus*-Arten hinzutreten.

Hemmfaktoren der Halden-Besiedlung durch Lumbriciden

Aus tertiären Deckgebirgsmassen aufgeführte Halden können oft über Jahrzehnte - wenigstens von Lumbriciden - nicht besiedelt werden. Als Grund wird gewöhnlich vorrangig die Freisetzung von Mineralsäure infolge der Oxidation von Pyrit oder Markasit angenommen, die zu Säuregraden unterhalb der Grenzverträglichkeit für Lumbriciden führen kann.

Eine solche Situation haben wir auf der Kippe Böhlen südlich Leipzig getestet (DUNGER 1969). In einer tiefenmeliorierten Fläche mit 5-jährigem Pappelbestand waren (trotz Einhaltung eines Durchschnitts von pH 5,0) keine Lumbriciden nachweisbar. In diese Fläche wurden drei nach unten offene Versuchs-Gazekäfige von je einem Quadratmeter Fläche eingelassen und jeweils mit insgesamt 125 Individuen von 7 Lumbricidenarten beschickt. Im Versuch I (nur mit Zusatzkalkung) und im Versuch III (ohne Veränderung des Bodens) waren nach 13 Monaten keine Lumbriciden mehr nachweisbar. Der Versuch II wurde mit einer Mulchauflage von 15 cm Pappellaub (vom gleichen Standort) überschichtet. Das Ergebnis (bezogen lediglich auf die Individuenzahlen) ist in Abb. 1 dargestellt. Hier ergab sich nach 13 Monaten insgesamt eine deutlich Zunahme der Individuen, die allerdings nur von einer Art (*Aporrectodea caliginosa*) getragen wurde. Nur *Allolobophora chlorotica* und *Lumbricus rubellus* hielten die Siedlungsdichte des Versuchsbeginns noch annähernd aufrecht, die anderen Arten fehlten bei der Abschlusskontrolle.

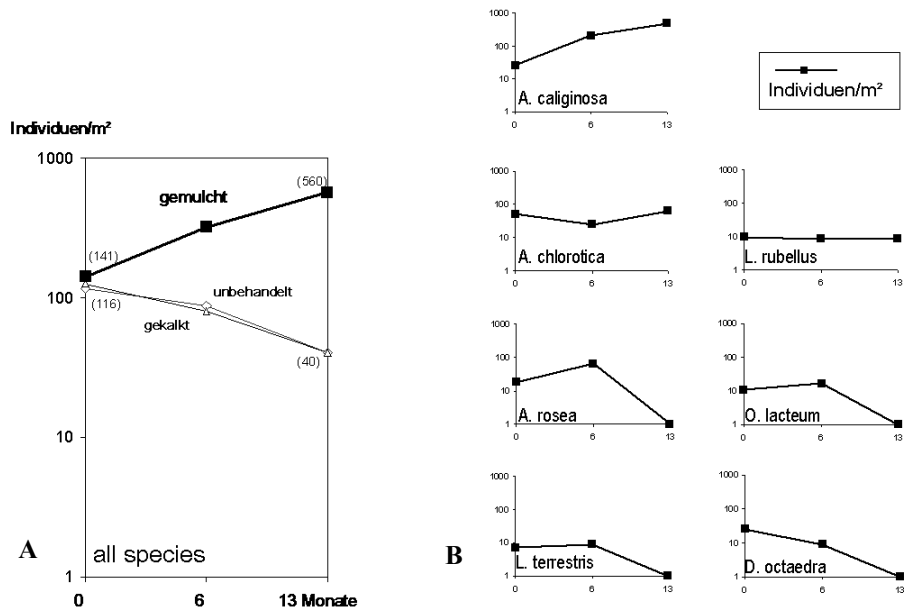


Abb. 1 Ansiedlungsversuch von Lumbriciden in einer meliorierten, mit Pappel aufgeforsteten Kippfläche auf der Halde Böhlen südlich Leipzig (Nach Werten von DUNGER 1968)

A. Logarithmus der Siedlungsdichte für alle Arten in den drei Varianten (unbehandelt, gekalkt, gemulcht) über 13 Monate

B. Logarithmus der Siedlungsdichten der sieben geprüften Arten in der Variante „gemulcht“.

Das Ergebnis spricht gegen eine unifaktorielle Besiedlungshemmung, zumindest gegen eine einseitig dominierende Rolle der Säureverhältnisse oder des Mineralkörpers des Substrates. Das Resultat ist auch deshalb nicht einfach interpretierbar, weil die Mulchung nicht wie erwartet die epigäischen Streuart (*Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus*) gefördert hat, sondern den Mineralbodenbewohner *A. caliginosa*, der als Substratfresser vermutlich nur indirekt von der Mulchung profitierte. Dies wäre durch Anregung der mikrobiellen Aktivität oder auch nur durch

eine Anhebung der Wasserkapazität denkbar. Das differenzierte Verhalten der Lumbriciden-Arten gibt deutliche Hinweise auf eine komplexe Wirkung von Standortfaktoren, die den Immigration-Prozess in „besiedlungsfeindliche“ Haldenböden erschwerend beeinflussen.

Standort-Einflüsse auf die Entwicklung der Lumbriciden in älteren Haldenböden

Eine weitere im Vorfeld mögliche Erfahrung zur Besiedlung von Halden durch Lumbriciden war von einem Vergleich der Bestände in etwa gleichalten, aufgeforsteten Haldenböden auf vorwiegend tertiärem Substrat zu erwarten. Hierzu eignen sich die in der Niederlausitz vorgenommenen Untersuchungen an 13, etwa 35-40(50)-jährigen bewaldeten Haldenböden (Abb. 2). Es lässt sich leicht erkennen, dass die Siedlungsdichte der Lumbriciden in Abhängigkeit von der Wasserversorgung der Standorte ansteigt. Ein weiterer, differenzierender Einfluss dürfte der Qualität der Streu als Nahrungsquelle zukommen. Standorte mit ausschließlich schlecht zersetzbarer Nadel- oder Hartlaubstreu (Roteiche, Buche) kommen über 2 g Lumbriciden-Biomasse pro Quadratmeter kaum hinaus, Standorte mit Mischbestockung zeigen oft mehr als das Zehnfache dieses Besatzes. Die Auswirkung der Aktivität der Lumbriciden ist hier nicht dargestellt. Nach den bei DUNGER & VOIGTLÄNDER (2002) dargestellten Werten ist bei Lumbriciden-Biomassen unter 5 g/m² ein Rohhumusboden, darüber ein Moder-Humus und erst ab 20 und mehr g/m² ein Mullhumus zu erwarten.

Lumbricidae auf aufgeforsteten Kipp-Standorten der Niederlausitz / 35 – 40 (50) Jahre

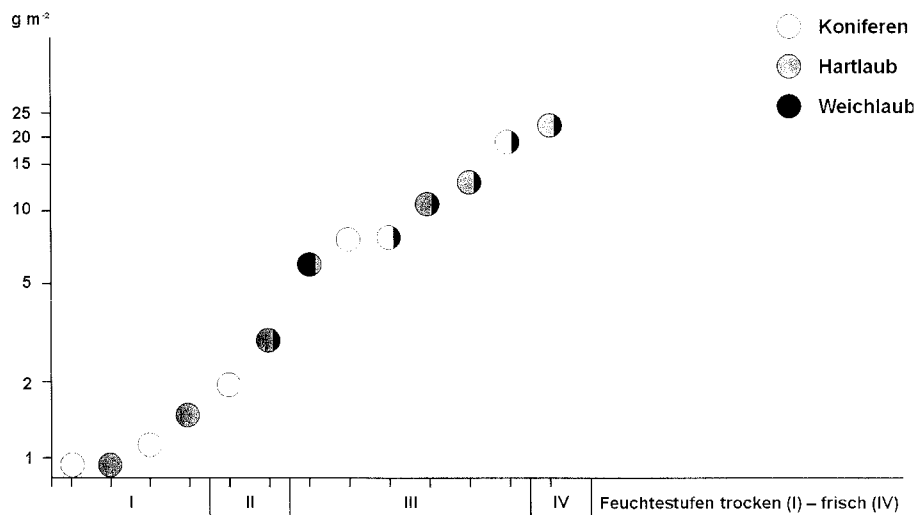


Abb. 2 Biomassen der Lumbriciden-Besiedlung in 35-40 (50)-jährigen, mit verschiedenen Gehölzen aufgeforsteten Kipp-Standorten der Niederlausitz. (Nach Werten von LAMBRECHT 1970, DUNGER 1979, 1997, KEPLIN et al. 1999)

Diese Ergebnisse legen nahe, die Lumbriciden-Besiedlung der Standorte auch auf Halden als einen wichtigen Indikator der biologischen Bodengüte zu bewerten.

Bedeutung des menschlichen Einflusses auf die Lumbriciden-Besiedlung von Halden

Die Besiedlung einer aufgelassenen Schüttung von Deckgebirgs-Substrat eines Tagebaues ohne weiteren gezielten Einfluss des Menschen verläuft als „spontane Sukzession“. Zu den verbreitungsstarken, aber ökologisch anspruchslosen Erstbesiedlern zählen Lumbriciden in

keinem Falle. Wir haben sowohl im Leipziger als auch im Niederlausitzer Braunkohlenrevier unmeliorierte tertiäre Kippen z. T. großer Ausdehnung angetroffen, die regenwurmfrei waren.

Weniger besiedlungsfeindliche, der spontanen Primär-Sukzession überlassene Schiefer-tonkippen haben FROUZ et al. (2001b) in Sokolov (Nordböhmen, CZ) untersucht (Abb. 3). Obwohl die Gehölzdeckung in der Spontanfläche nach 23 Jahren bereits 62% der benachbarten Aufforstung mit Erle erreichte hatte, erreichte die Lumbricidenbesiedlung hier nur 11% derjenigen unter Erlenanpflanzung. Die Erstbesiedlung wurde in der Anpflanzung bereits nach 3, in der Spontanfläche erst nach 8 Jahren registriert. Hier traten auch keine anderen Arten als in der Forstrekultivierung auf. Fehlende Einmischung des Menschen in das Sukzessionsgeschehen erbringt – wie an diesem Beispiel demonstriert – keinen andersgearteten, wohl aber einen verzögerten Ablauf der Sukzession. Der Prozess der Forstrekultivierung (Bodenlockerung, Startdüngung, Pflanzung von Stecklingen) verursacht eine Lenkung und Beschleunigung des Besiedlungsvorganges, hebt aber nicht den Grundcharakter einer Primär-Sukzession auf. Aufgeforstete Flächen, die im weiteren Verlauf sich selbst überlassen bleiben und mit der Aufforstung keine weitere Einbringung von Organismen oder Substraten erfuhren, absolvieren eine „gelenkte Primär-Sukzession“, die sich von einer Sekundär-Sukzession grundlegend durch das Fehlen einer vorausgehenden organismischen Beeinflussung des Substrates (Humusbildung, Bioturbation) unterscheidet.

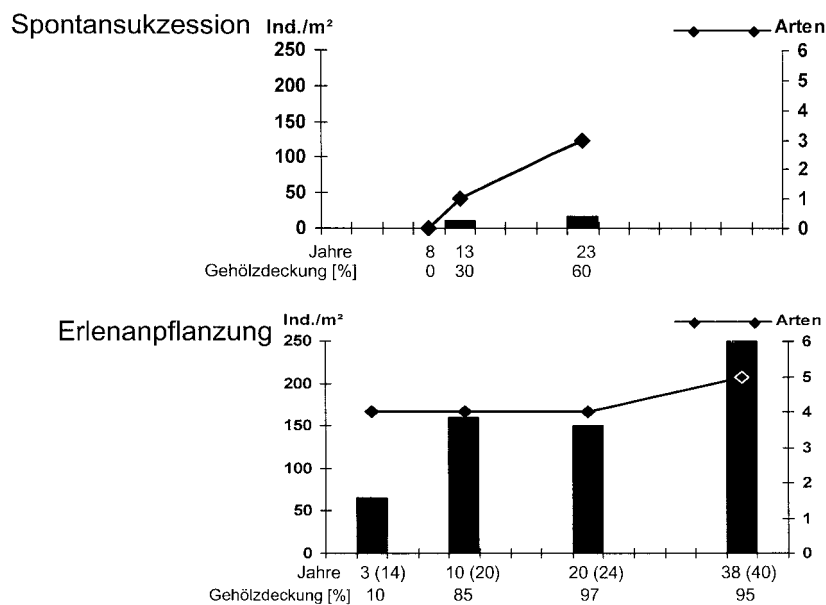


Abb. 3 Entwicklung der Siedlungsdichte von Lumbriciden auf Schiefer-tonkippen in Nordböhmen (Sokolov): Vergleich von Flächen in spontaner Sukzession und unter Erlen-Aufforstung. (Nach Werten von FROUZ et al. 2001b)

Völlig anders verläuft die Einflussnahme des Menschen auf landwirtschaftliche Rekultivierungen. Hierbei wird der Boden systematisch auf eine bestimmte Ertragsfähigkeit getrimmt und durch mehrfache Bodenbearbeitung im Jahresablauf auf diesem Niveau erhalten. Hierdurch wird, wie unsere Untersuchungen in der Niederlausitz (DUNGER 1979) sowie die breiter gefächerten Erfahrungen von WERMBTER (1999) belegen, in keinem Fall eine schnelle Besiedlung durch Lumbriciden gesichert (Abb. 4). Ist aber eine Ansiedlung nach etwa 10 Jahren eingetreten, hängt die – unter Umständen sehr rasche – Entwicklung der Lumbriciden-Bestände von der Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ab. Es gibt keine gesicherten Unterschiede

zwischen Lumbricidendichten in 10-jährig oder 40-jährig genutzten offenen Kippböden. In diesem Fall dominiert der menschliche Einfluss – selbstverständlich nicht ohne Teilabhängigkeit von den Substratqualitäten der ursprünglichen Kippböden.

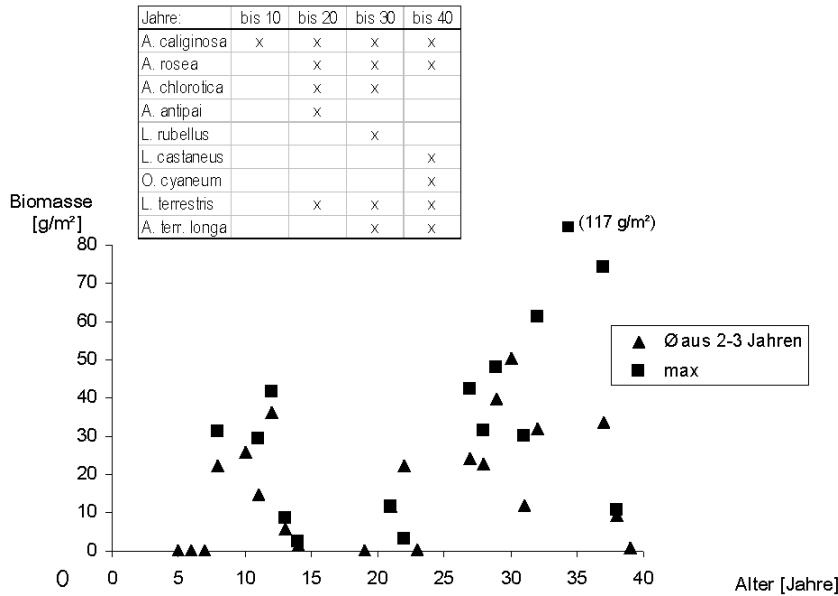


Abb. 4 Biomassen von Lumbriciden auf verschieden alten Kippflächen der Niederlausitz unter landwirtschaftlicher Rekultivierung. (Nach Werten von WERMETER 1999 und DUNGER 1979)

Die Lumbriciden-Entwicklung der „Berzdorfer Serie“ im europäischen Vergleich

Aus der Langzeitbeobachtung an mit Weichlaub-Gehölzen aufgeforsteten Halden des Tagebaues Berzdorf (siehe „Standorte und Methoden“) lässt sich eine kontinuierliche Entwicklung der Lumbriciden-Population ableiten, die mit der Erstbesiedlung im 3. Jahr beginnt, etwa im 30. Jahr bei einer Biomasse von über 100 g/m² kulminiert und sodann in eine normale standortbedingte Dynamik eintritt (Abb. 5). Diese Entwicklung haben wir als „Berzdorfer Serie“ bezeichnet. Sie ist im Detail bei DUNGER & WANNER (2001) beschrieben.

Hier soll nun der Frage nachgegangen werden, wie die Berzdorfer Serie im Vergleich zu Befunden aus anderen Teilen Deutschlands und Europas und unter Berücksichtigung der in den vorstehenden Abschnitten betrachteten Einflussfaktoren zu bewerten ist.

Quantifizierte Untersuchungen über die Besiedlung von bewaldeten Tagebauhalden Europas durch Lumbriciden liegen außer von den großen deutschen Braunkohlengebieten nur aus Nordengland (Durham, STANDEN et al. 1982) und der Tschechei (Nordböhmen, Sokolov; PIČL 1999, FROUZ et al. 2001a) vor. Für deutsche Braunkohlengebiete stehen Befunde mit Angaben von Lumbriciden-Biomassen nur von TOPP et al. (2001) für das Rheinland und von LAMBRECHT (1970), DUNGER (1979), DUNGER et al. (1997) und KEPLIN et al. (1999) für die Niederlausitz zur Verfügung.

Die notwendige Anforderung nach Auswertung der Biomassen (d.h. nicht nur von Individuenzahlen) schränkt die Zahl der nutzbaren Vergleiche leider stark ein. Weiter war zu beachten, dass die Biomassen teils als Trockenmasse, teils als „Frischgewicht“ angegeben sind. In diesen Fällen wurde auf Frischmasse („abgetropftes Alkoholgewicht“) umgerechnet.

In Abb. 5 sind alle Momentwerte, die für einen Vergleich nutzbar sind, in ihrer Lage zum Ablauf der „Berzdorfer Serie“ erkennbar. Eine vergleichsweise stark beschleunigte Besiedlung fanden TOPP et al. 2001 auf solchen Flächen der „Sophienhöhe“ bei Hambach (R II-IV), die mit originalem Waldboden abgedeckt waren („Waldbodenverbringung“). Eine Fläche ohne Waldboden (R I) liegt dagegen im Bereich der „Berzdorfer Serie“. Eine geringfügig bevorzugte Besiedlung teilt weiter PfiDL (1999) von einer dreijährigen Erlen-Mischaufforstung auf Schieferthon aus Nordböhmen (Sokolov; S I) mit, während ältere Standorte dieser Serie entweder im Niveau (S II) oder unterhalb des Bereiches der Berzdorfer Serie liegen (S II, IV). Die Ermittlungen von STANDEN et al. (1982) aus Nordengland passen sich annähernd in die „Berzdorfer Serie“ ein.

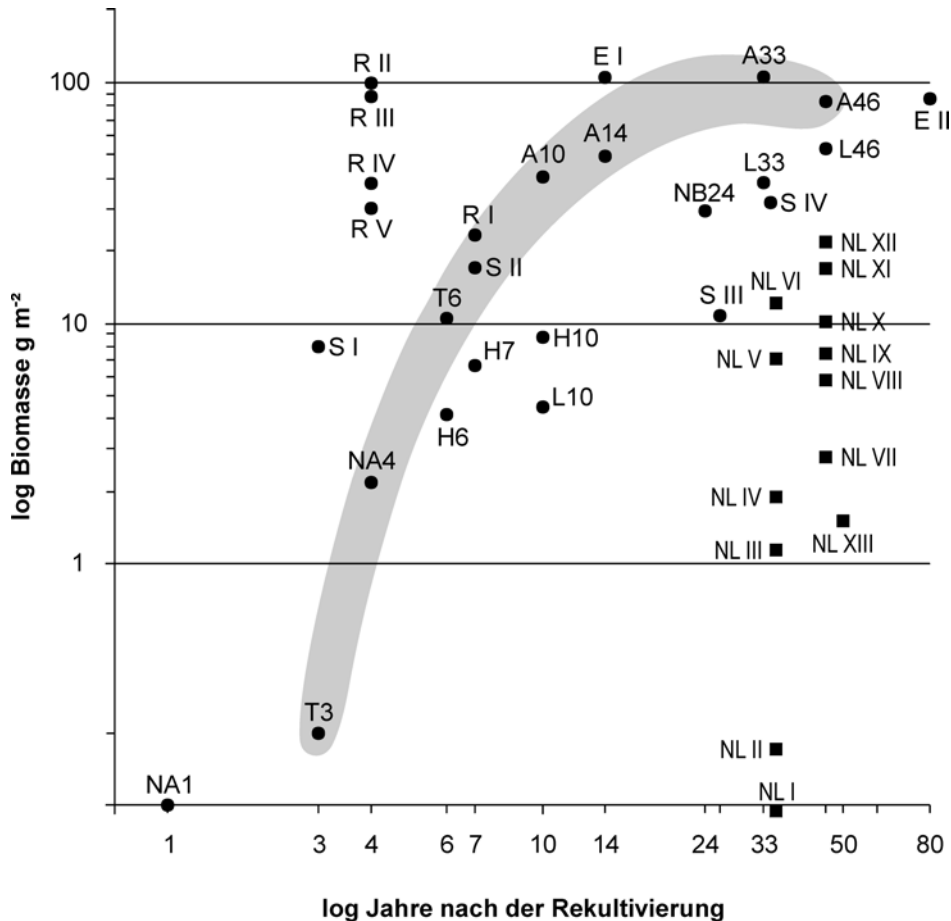


Abb. 5 Die Lumbriciden-Besiedlung der „Berzdorfer Serie“ auf der Basis der Biomassen, verglichen mit Befunden in anderen aufgeforsteten Haldenböden Europas. (Nach Werten von DUNGER 1968, 1979, 1987, 1997; DUNGER & WANNER 2001; STANDEN et al. 1982; KEPLIN et al. 1999; PfiDL 1999; TOPP et al. 2001)

T, NA, A	Berzdorfer Serie	E I, II	Nordengland: Durham
H, L, NB	Oberlausitz: Berzdorf	S I – IV	Tschechien: Sokolov
R I – IV	Rheinland: Hambach	NL I- XIII	Niederlausitz, div. Standorte

Allgemein auf ungünstigere Substratbedingungen weisen die Erhebungen der Lumbriciden-Dichten in den geprüften Aufforstungen auf Halden der Niederlausitz hin. Hierfür wird aus der oben zitierten Literatur nur eine Auswahl der Ergebnisse angezeigt, welche die doch

bemerkenswerte Breite der Besiedlungsdichten deutlich macht. Die im Laufe der Untersuchungen im Tagebaugelände Berzdorf vorgefundenen suboptimalen Besiedlungen (Standorte H, L, NB) unterhalb der „Berzdorfer Serie“ sind durch offene Ringe gekennzeichnet.

Bietet die „Berzdorfer Serie“ für europäische Bedingungen gültige Erwartungswerte?

Weder die ältere (DAVIS 1986, MAJER 1989) noch die neuere Literatur bietet eine ausreichende Breite von Daten, die auf vergleichbarer Basis das Verhalten von Lumbriciden bei der Besiedlung von frisch geschütteten Halden oder Kippen aus Tagebauen in verschiedenen Teilen Europas beschreibt. Die Frage, ob die bisher längste Beobachtung dieses Prozesses an einem konkreten Haldenstandort (Berzdorf) einen gültigen, als Erwartungswert tauglichen Prozess beschreibt, bedarf daher durchaus der Diskussion.

Im Vorfeld haben die hier dargelegten Befunde einerseits erhärtet, dass eine landwirtschaftliche Rekultivierung von Haldenstandorten in diese Überlegungen nicht eingeschlossen werden kann. Andererseits erscheint es berechtigt, spontane Sukzessionen durchaus mit Primärsukzessionen (im Sinn von DUNGER & WANNER 1999) zu vergleichen, die durch einmalige menschliche Einflussnahme in Form der Aufpflanzung mit Baumstecklingen einen Anstoß erhielten (gelenkte oder geförderte Primärsukzessionen), ohne die für sekundäre Sukzessionen typischen Prozesse einer vorausgehenden biogenen Bodenbildung durchlaufen zu haben.

Der in dieser Arbeit vorgenommene Vergleich mit den zur Verfügung stehenden Daten zeigt nicht nur, dass „bessere“ sowie auch „schlechtere“ Entwicklungen der Lumbriciden belegt sind, sondern gibt auch ökologische Erklärungen für diese Differenzen.

In diesem Vergleich wurde vor allem die geographische Lage und damit der klimatische Einfluss auf die Standorte nicht berücksichtigt. Die wenigen verfügbaren Argumente können darauf verweisen, dass die günstigere Entwicklung im Rheinland nicht unbedingt dem günstigeren Klima zu verdanken sind – anderenfalls wäre der Standort RI bei TOPP et al. (2001) auch ohne Waldbodenauftrag begünstigt. Auch die eher „besseren“ Werte, die STANDEN et al. (1982) aus Nordengland angeben, würden nicht für eine klimatische Argumentation sprechen, soweit damit nicht die verfügbare Feuchtigkeit gemeint ist. Diese ist aber eher lokal als geographisch differenziert und hängt in einem hohen Grad von der Substratqualität ab – also einem der Einflussfaktoren der biologischen Qualität der Kippböden.

Die Besiedlung eines Standortes mit Lumbriciden ist mit wichtigen bodenbiologischen Faktoren wie mikrobiologische Aktivität, Dekomposition, Humifikation und Bioturbation korreliert (SACHELL 1983). Diese Tiergruppe nimmt deshalb zu Recht einen vorderen Platz in der Reihe der bodenbiologischen Indikatoren ein. Die Beschreibung der „Berzdorfer Serie“ der Lumbriciden-Entwicklung als eine mögliche Basis des Vergleiches der Entwicklung der biologischen Bodengüte auf Braunkohlenhalden ist ein methodischer Vorschlag zur biologischen Bewertung von Böden in der Bergbaufolgelandschaft.

Dank

Wir danken der LMBV und den Rekultivierern, besonders Herrn Oberförster Schneider, die dazu beitragen, günstige Bedingungen für eine derartige Langzeituntersuchung zu schaffen und zu erhalten. Ebenso gilt unser Dank allen Mitarbeitern der Abteilung Bodenzologie des Staatlichen Museums für Naturkunde Görlitz, besonders Frau Heiderose Stöhr, sowie Herrn Professor Xylander für die Förderung der Arbeitsbedingungen. Im Zeitabschnitt 1996-1999 wurde die Forschungsarbeit vom BMBF gefördert.

Zusammenfassung

Die Befunde der Abteilung Bodenzologie des Museums für Naturkunde Görlitz zum Auftreten der Lumbriciden in aufgeforsteten Flächen der südostoberlausitzer, niederlausitzer und mitteldeutschen Braunkohlegebiete werden zusammengefasst und mit der vorliegenden Literatur

aus Europa verglichen. Anfangs nehmen nur 3 - 5, nach etwa 30 Jahren 9 Arten regelmäßig an der Besiedlung teil, 3 - 4 weitere treten zeitweise unter besonderen Bedingungen hinzu. Die oxidative Freisetzung von Mineralsäuren im Haldensubstrat in Verbindung mit mangelnder Bodenfeuchte (Substratqualität) und das Fehlen qualitativ geeigneter Nahrung (Streuqualität) hemmen oder verhindern die Lebensmöglichkeit für Lumbriciden. Unter den (bislang selten beobachteten) Bedingungen der spontanen Sukzession ist die Lumbriciden-Ansiedlung gegenüber den Flächen mit (durch den einmaligen Eingriff der Aufforstung) „gelenkter Primärsukzession“ bedeutend verzögert. Für landwirtschaftlich rekultivierte und genutzte Flächen kann keine gesetzmäßige Entwicklung der Lumbriciden-Population festgestellt werden, da die variablen anthropogenen Einflüsse dominieren.

Nach 50-jährigen Beobachtungen, die eine 40-jährige Langzeitstudie an der Langteichhalde Berzdorf einschließen, kann ein sehr typischer Verlauf der Haldenbesiedlung durch Lumbriciden unter Weichlaubgehölzen als „Berzdorfer Serie“ beschrieben werden. Der Vergleich mit den übrigen gegenwärtig vorliegenden Ergebnissen solcher Untersuchungen erlaubt die Hypothese, dass die Berzdorfer Serie eine Lumbriciden-Entwicklung unter durchschnittlich guten Substratbedingungen und (west-)europäischen Klimaverhältnissen darstellt. Damit ist sie geeignet, als Serie von Erwartungswerten für die Beurteilung der biologischen Qualität von aufgeföresteten Haldenböden genutzt zu werden.

Literatur

- BROLL, G., W. DUNGER., B. KEPLIN & W. TOPP (eds) (2000): Rekultivierung in Bergbaufolgelandschaften. Bodenorganismen, bodenökologische Prozesse und Standortentwicklung. – GUG-Schriftenreihe „Geowissenschaften + Umwelt“, Springer, Berlin
- DAVIS, B.N.K. (1986): Colonization of Newly Created Habitats by Plants and Animals. - J. Environmental Management **22**: 361-371
- DUNGER, W. (1964): Erste Ergebnisse bodenzoologischer Untersuchungen auf einer Braunkohlenkippe bei Böhlen. – Pedobiologia **4**: 124-125
- (1968): Die Entwicklung der Bodenfauna auf rekultivierten Kippen und Halden des Braunkohlentagebaues. Ein Beitrag zur pedozoologischen Standortdiagnose. – Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz **43**, 2: 1-256
- (1969): Fragen der natürlichen und experimentellen Besiedlung kulturfeindlicher Böden durch Lumbriciden. – Pedobiologia **9**: 146-151
- (1979): Bodenzoologische Untersuchungen an rekultivierten Kipp-Böden der Niederlausitz.- Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz **52**, 11: 1-19
- (1987): Zur Einwirkung von Kahlschlag, Grundwasserabsenkung und forstlicher Rekultivierung auf die Boden-Makrofauna, insbesondere Regenwürmer. - Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz **60**, 1: 29-42
- (1989): The return of soil fauna to coal mine areas in the German Democratic Republic. – In: MAJER, J. (ed.), Animals in primary succession. The role of fauna in reclaimed lands. – Cambridge Univers. Press: 307-337
- (ed) (1997): Untersuchungen zur Fauna 35-jähriger aschemeliorierter Kippböden. Mit Kiefer und Roteiche/Linde aufgeforstete Standorte im Revier Domsdorf-Tröbitz (Niederlausitz). DFG-Innovationskolleg. Abschlussbericht der Arbeitsgruppe Görlitz unter Mitarbeit von B. Balkenhol, H. Boyle, A. Christian, K. Schmidfrerick, H.-J. Schulz, T. Schwalbe, B. Seifert, H. Stöhr, J. Vogel, K. Voigtländer und M. Wanner.
- (1998a): Ergebnisse langjähriger Untersuchungen zur faunistischen Besiedlung von Kippböden. – In: PFLUG, W. (ed), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Springer, Berlin: 625-634
- (1998b): Immigration, Ansiedlung und Primärsukzession der Bodenfauna auf jungen Kipp-Böden. – In: PFLUG, W. (ed), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Springer, Berlin: 635-644
- & K. VOIGTLÄNDER (2002): Wege zur Beurteilung der biologischen Bodengüte von bewaldeten Kippböden in Abhängigkeit vom Rekultivierungsalter. – Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges. **99**: 169-172

- & M. WANNER (1999): Ansiedlung und Primärsukzession der Bodenfauna auf Tagebaukippen. Ergebnisse und theoretische Ansätze. – Verh. Ges. Ökologie **29**: 201-211
- , - (eds) (2001): Development of soil fauna at mine sites during 46 years after afforestation. (With H. Hauser, K. Hohberg, H.-J. Schulz, T. Schwalbe, B. Seifert, J. Vogel, K. Voigtländer, B. Zimdars, K.P. Zulka). - *Pedobiologia* **45**: 243-271
- FROUZ, J., B. KEPLIN, V. PIĎL., K. TAJOVSKÝ, A. LUKESOVÁ, A. NOVÁKOVÁ, V. BALÍK, L. HÁNEL, J. MATERNA, C. DÜKER, J. CHALUPSKÝ, J. RUSEK & T. HEINKELE (2001a): Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. – *Ecological Engineering* **17**: 275-284
- , PIĎL., V., K. TAJOVSKÝ, V. BALÍK, L. HÁNEL, J. STARÝ, A. LUKESOVÁ & A. NOVÁKOVÁ (2001b): Development of soil biota in post mining forest sites established by reclamation and spontaneous succession – preliminary results of an ongoing study. – In: CANNIZZARO, P. J. (ed): Proceedings of the Twenty Eighth Annual Conference on Ecosystems Restoration and Creation. Hillsborough Community College, Tampa, Florida: 122-129
- HÜTTL, R.F., D. KLEM & E. WEBER (eds) (1999): Rekultivierung von Bergbaufolge-Landschaften – Das Beispiel des Lausitzer Braunkohlereviere. - W. de Gruyter, Berlin
- , E. WEBER & D. KLEM (eds) (2000): Ökologisches Entwicklungspotential der Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlerevier. - Teubner, Stuttgart
- KEPLIN, B., A. DAGEFÖRDE & C. DÜKER (1999): Untersuchungen zum Abbau von organischer Substanz und zur Bodenbiozönose auf forstlich rekultivierten Kippstandorten. - In: HÜTTL, R.F., D. KLEM & E. WEBER (eds), Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften. W. de Gruyter, Berlin: 73-87
- LAMBRECHT, P. (1970): Ein Beitrag zur Kenntnis der Makrofauna auf rekultivierten Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues der Niederlausitz unter besonderer Berücksichtigung der Lumbriciden. - Diplomarbeit Görlitz und PH Potsdam, 64pp
- MAJER, J. D. (1989): Animals in primary succession. The role of fauna in reclaimed land. – Cambridge Univers. Press
- PFLUG, W. (1998): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. – Springer, Berlin
- PIĎL., V. (1999): Development of earthworm populations in afforested colliery spoil heaps in northern Bohemia, Czech Republic. – *Pedobiologia* **43**: 691-697
- RÖMBKE, J., L. BECK, B. FÖRSTER, C. FRÜND, F. HORAK, A. RUF, K. ROSCICZEWSKI, M. SCHEURIG & S. WOAS (1997): Boden als Lebensraum für Bodenorganismen – Literaturstudie. – Texte und Berichte zum Bodenschutz Nr. 4/97, LFU Baden-Württemberg, Karlsruhe. 437 pp.
- , P. DREHER, L. BECK, W. HAMMEL, K. HUND, H. KNOCH, W. KÖRDEL, W. KRATZ, T. MOSER, S. PIEPER, A. RUF, J. SPELDA & S. WOAS (2000): Biologische Bodengüte-Klassen. UBA-Texte 6/2000
- , G. LABES & J. WOIWODE (2002): Ansätze für Strategien zur Bewertung des Bodens als Lebensraum für Bodenorganismen. – *Bodenschutz* **7**, 2: 62-68
- SATCHELL, J. E. (ed) (1983): Earthworm Ecology. Chapman and Hall, London, 495 pp.
- STANDEN, V., G.B. STEAD & A. DUNNING (1982): Lumbricid populations in open cast reclamation sites and colliery heaps in Country Durham, U.K. – *Pedobiologia* **24**: 57-64
- TOPP, W., M. SIMON, G. KAUTZ, U. DWORSCHAK, F. NICOLINI & S. PRÜCKNER (2001): The soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: Improvement of soil quality. – *Ecological Engineering* **17**: 307-322
- VETTER, F. (1996): Regenwurm. Führer zur Ausstellung. – Veröff. Natur-Museum Luzern Nr. 8, 48 pp.
- VOIGTLÄNDER, K. (1996): Leben im Boden. Führer zur Wanderausstellung des Staatlichen Museums für Naturkunde Görlitz, 41 pp.
- WERMBTER, N. (1999): Bodenbiologische Eigenschaften von Kippböden im Leipziger und Lausitzer Braunkohlerevier in Abhängigkeit von Substrat, Nutzung, Bodenbearbeitung und Alter. – *Trierer Bodenkundliche Schriften* **3**: 154 + 41 pp.

WIEGLEB, G., U. BRÖRING, J. MRZLJAK. & F. SCHULZ (2000): Naturschutz in Bergbaulandschaften. Landschaftsanalyse und Leitbildentwicklung. – Umweltwissenschaften, Schriftenreihe BTU Cottbus, Physica-Verlag, Heidelberg

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Wolfram Dunger, Dr. Karin Voigtländer, Bettina Zimdars
Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz
PF 30 01 54
02806 G ö r l i t z