

Die Auswirkungen von Umweltbelastungen auf die Energetik von Landasseln

Bernd Ullrich, Volker Storch, Susanne Reiß, Michael Zanger, Mario Ludwig und Gerd Alberti

Synopsis

Terrestrial isopods were substantially affected by higher doses of the heavy metals Pb and Cd and, when given contaminated food, suffered from lowered mass and energy assimilation. Differences in the susceptibility of single species and populations became evident. The effects of acidified foodstuff offered to woodlice revealed only slight negative alterations in assimilation efficiency compared to the massive toxic effects caused by higher doses of Pb and especially Cd. The existence of resistant and sensitive species and populations of woodlice was verified.

Landasseln, Schwermetalle, Resistenzen, Energetik

1. Einleitung

Die Fähigkeit der diversen Mikroflora des Bodens, flexibel und tolerant auf Schwermetallbelastungen zu reagieren (BABICH & STOTZKY 1982, COLE 1977), ist bei höheren Organismen meist weit weniger ausgeprägt. Selbst Bodentiergruppen wie Landasseln, die große Mengen an Schwermetallen in ihrem Gewebe festlegen (HOPKIN & MARTIN 1982, PROSI & DALLINGER 1988) und auch an stark kontaminierten Standorten existieren können, zeigen dennoch deutliche Beeinträchtigungen. Durch die verminderte Aktivität oder das Fehlen von ganzen Bodentiergruppen in hochbelasteten Gebieten verringert sich deren fördernder Effekt auf die Mikroflora und damit auf die Umsetzung von organischem Bestandesabfall (KILHAM & WAINWRIGHT 1981). Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen bestand darin, die Leistungsfähigkeit von Landasseln beim Abbau kontaminierter Blattmaterials zu ermitteln und die energetischen Defekte bei der Ingestion schwermetallkontaminierter oder versauerter Nahrung durch verschiedene Arten von Landasseln mit und ohne Vorbelastung zu dokumentieren. Art- oder populationsspezifische Unterschiede in den Reaktionsmustern und im Resistenzverhalten der untersuchten Arten sollten Hinweise auf deren potentielle Bedeutung als Förderer des Dekompositionsgeschehens und der bodeninternen Stoffkreisläufe an spezifisch belasteten Orten geben, die unter verzögerter Dekomposition des Bestandesabfalles leiden. Die Auswirkungen dieser gestörten Stoffkreisläufe haben gerade in Wald-Ökosystemen deutliche negative Konsequenzen, die sich indirekt wieder sowohl auf Atmosphäre als auch Hydrosphäre auswirken (BLUME 1990).

2. Material und Methoden

Für die Versuche zum Verhalten von Landasseln unter Schwermetallbelastung dienten sowohl Tiere der Arten *Oniscus asellus* (L.) (juvenil/adult) und *Porcellio scaber* LATREILLE aus eigener Zucht als auch vorbelastete Tiere von einer ehemaligen Erzabbaustätte bei Braubach (Koblenz). Die Grunddaten zur Massenassimilation bei einer Fütterung mit Bergahornblättern (*Acer pseudo-platanus*) im teilzersetzten Zustand (mit bzw. ohne Kontamination durch $Pb(NO_3)_2$ oder $CdCl_2$; siehe Tab. 1) wurden gravimetrisch durch Messung der Ingestions- und Egestionsraten ermittelt. Die Versuchsdauer betrug 4 Wochen, wobei zu einer Gruppe 18 Tiere (*O. asellus* juvenil, adult aus der Zucht/adult Braubach, *P. scaber*/Zucht) bzw. 9 (*P. scaber*/Braubach) Tiere zählten. Die Fütterungsversuche mit durch H_2SO_4 versauerten Blattstücken definierten pH-Wertes wurden entsprechend den Versuchsreihen unter schwermetallkontaminierter Nahrung mit jeweils 18 Tieren (aus Zuchtbeständen) der genannten Arten pro pH-Stufe über die Dauer von 3 Wochen durchgeführt und zusätzlich die Species *Trachelipus ratzeburgi* (BRANDT) in die Untersuchungen miteinbezogen. Zur Erfassung der assimilierten Energiebeträge diente in beiden Versuchsreihen eine Mikrokalorimeter-Anlage (Bjeske, Berlin). Die zur Messung mit Hilfe der Verbrennungskalorimetrie benötigten Faecespartikel wurden individuell im Abstand von 2-3 Tagen abgesammelt und bei 35°C getrocknet. Nach der Pressung der von einem (oder mehreren) Individuen stammenden Faeces zu einer Meßpille wurde diese in der Mikrokalorimeteranlage verbrannt. Aus der gemessenen Energie der Faeces und dem energetischen Gehalt des verfütterten Laubes ließen sich unter Heranziehung der Daten für die Massenassimilation die Energieassimilationsraten in Prozent berechnen.

Die Messungen zu den Mengen an Schwermetallen in der Nahrung und in den Tieren erfolgten mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS) und werden in $\mu g/g$ Trockenmasse (entspricht "ppm") angegeben.

Zur Erfassung der Metallmengen diene ein Atomabsorptions-Spektrophotometer 5000 der Firma Perkin Elmer nebst Drucker PRS 10 und Recorder 50. Die Messungen der Schwermetallgehalte beruhen auf jeweils 5 Einzelproben, wobei jede Messung dreifach ausgeführt wurde.

Die Kalkulation der Metallassimilationsraten erfolgte mit Hilfe der Daten zur Ingestion an belastetem Material, dessen gemessenem Schwermetallgehalt und der Veränderung der Schwermetallfracht in den Tieren über die Dauer des Versuches im Vergleich zu weniger belasteten Referenztieren.

Berechnung der Massenassimilation

Die Massenassimilationsrate in % stellt den Anteil der Nahrung dar, dessen Masse in den Organismus des Tieres einging und dort verwertet wird. Der ermittelte Wert der realen Ingestion I_R [mg] dient als Basis, von dem die Menge der resultierenden Faecesmasse F [mg] in % angegeben wird. Das Ergebnis dieser Berechnung umfaßt den relativen Massenanteil der Nahrung, der das Tier wieder verläßt und als Massendurchfluß D_M [%] bezeichnet wird.

$$D_M[\%] = \frac{F[\text{mg}] \cdot 100}{I_R[\text{mg}]}$$

Derjenige Anteil der realen Ingestion I_R [mg], der sich nicht mehr in den Faeces findet, wurde vom Tier assimiliert und ergibt sich aus der Differenz zwischen I_R [mg] = 100% und dem Massendurchfluß D_M [%]. Der resultierende Wert stellt die gesuchte relative Massenassimilationsrate A_M [%] dar.

$$A_M[\%] = 100\% - D_M[\%]$$

Berechnung der Energieassimilation

Der relative Energiegehalt der Faeces E_F [J/mg] wird unter Einbeziehung des Wertes für den Massendurchfluß D_M [%] für die Berechnung des ungenutzt aus 1 mg Laub herrührenden und mit den Faeces ausgeschiedenen Energiebetrages E_F^* [J/mg] verwendet.

$$E_F^*[\text{J/mg}] = \frac{E_F[\text{J/mg}] \cdot D_M[\%]}{100}$$

Mit den bekannten Daten zum Energiegehalt von 1 mg Laub E_L [J/mg] und der Energie der daraus resultierenden Faeces E_F^* [J/mg] läßt sich der relative Energiebetrag, der ungenutzt in Form der Faeces das Tier wieder verläßt, ermitteln. Dieser erhält die Bezeichnung Energiedurchfluß D_E [%].

$$D_E[\%] = \frac{E_F^*[\text{J/mg}] \cdot 100}{E_L[\text{J/mg}]}$$

Derjenige Anteil der Energie, der nicht wieder ungenutzt nach außen abgegeben wurde, verbleibt im Tier und stellt die assimilierte Energie dar. Die Energieassimilation A_E [%] ist als die Differenz zwischen 100% Gesamtenergie abzüglich der Rate des Energiedurchflusses D_E [%] definiert.

$$A_E[\%] = 100\% - D_E[\%]$$

Berechnung des Energiegewinns

Der Energiegewinn E_G [J] bezeichnet den Mittelwert des absoluten Energiebetrages in Joule, der über die gesamte Versuchsdauer von 35 Tagen von den Tieren einer Versuchsgruppe assimiliert wurde.

$$E_G[\text{J}] = \frac{\bar{I}_R[\text{mg}] \cdot \bar{E}_L[\text{J/mg}] \cdot A_E[\%]}{100}$$

Das Produkt aus der durchschnittlichen realen Ingestion I_R [mg] und dem mittleren Energiegehalt des Futterlaubes E_L [J/mg] ergibt durch Multiplikation mit der Energieassimilationsrate A_E [%] den absolut aufgenommenen Energiebetrag.

3. Ergebnisse

3.1 Massen- und Energieassimilation bei Asseln unter Schwermetallbelastung

Die Kontamination der als Futtersubstrat dienenden Blattstücke mit den Schwermetalllösungen hatte nach dem Trocknen der Blätter deutliche Konzentrationseffekte (bis auf die 1000 µg/g Cd-Lösung) zur Folge. So führte die Behandlung mit 1000 (5000) µg/g Pb zu Belastungswerten von 7592,80 ± 2665,00 (24892,60 ± 5254,90) µg/g Pb in den Blattstücken. Die entsprechenden Werte für Cd beliefen sich für 100 (1000) µg/g in der Lösung auf 154,50 ± 21,70 (509,30 ± 123,60) µg/g Cd im Blattmaterial.

In der Tabelle 1 ist die Reaktion von fünf Gruppen juveniler Exemplare der Mauerassel *Oniscus asellus* auf künstlich kontaminiertes Ahornlaub dargestellt. Bei der Analyse der Daten wird deutlich, daß die Tiere in der Lage sind, Nahrungsstoffe verschiedenen Belastungsgrades zu unterscheiden und zwischen dem weniger toxischen Pb und dem geringer konzentrierten, aber toxischeren Cd zu differenzieren vermögen. Die ermittelten Werte für den durchschnittlichen, von der Assel über die Versuchsdauer assimilierten Energiebetrag in Joule zeigen die mit zunehmender Kontamination des Futtersubstrates einhergehende absolute Energieeinbuße deutlich auf. Der absolute Energiegewinn konnte jedoch auch durch außergewöhnlich hohe Massen- und Energieassimilationsraten bei extrem niedriger Ingestion nicht auf einen das weitere Überleben des Tieres gewährleisten Wert gesteigert werden.

Tab. 1: Massen- und Energieassimilation von juvenilen *Oniscus asellus* unter Schwermetallbelastung. J: Joule, SD: Standardabweichung.

Ahornblätter belastet mit	Reale Ingestion in mg	Massenassimilation in %	Energieassimilation in %	Energiegewinn in Joule (gemittelt)
Kontrolle	23,97 (SD 9,86)	11,52 (SD 5,83)	17,63 (SD 20,62)	61 J
1000 µg/g Pb	16,73 (SD 5,45)	9,20 (SD 9,76)	25,54 (SD 10,59)	61 J
5000 µg/g Pb	6,79 (SD 6,66)	3,55 (SD 10,83)	10,22 (SD 12,07)	10 J
100 µg/g Cd	3,55 (SD 2,43)	-3,11 (SD 27,23)	27,98 (SD 17,44)	14 J
1000 µg/g Cd	0,72 (SD 1,01)	78,54 (SD 15,01)	70,44 (SD 20,68)	7 J

3.2 Akkumulation von Schwermetallen

Die Untersuchungen zum Akkumulationsverhalten von Pb und Cd in der Nahrung von juvenilen *Oniscus asellus* erbrachten deutlich unterschiedliche Werte für die beiden untersuchten Metalle. In der Abbildung 1 zeigen die nicht unterlegten Säulen die (anhand der ingestierten Laubmengen hochgerechneten) aufgenommenen Metallmengen an, während die gerasterten Säulen die vom Tier eingelagerten Metallmengen repräsentieren. Die Assimilationswerte für Pb mit einer Durchflußrate von ca. 89% bzw. 86% und einer entsprechenden Assimilation von ca. 11% bzw. 14% der aufgenommenen Metallmenge standen im deutlichen Kontrast zu den hohen Cadmiumbelastungswerten, die alleine durch die geringe quantitative Aufnahme des Futtersubstrates bekannter Belastung nicht zu erklären waren.

3.3 Resistenzbildungen bei Asseln gegen Schwermetalle

Zur Untersuchung dieses Phänomens wurden zwei Arten von Landasseln, die Mauerassel *Oniscus asellus* und die Kellerassel *Porcellio scaber*, aus unbelasteter Zucht sowie von einem belasteten Standort bei Braubach (Koblentz), vergleichend untersucht. Die Auswertung der Mortalitätsdaten (Abb. 2) gab zu erkennen, daß sich die aus den Zuchten stammenden Tiere der beiden Arten bezüglich ihrer Überlebensraten mit und ohne belastetem Futter nur wenig unterschieden. Ein anderes Reaktionsmuster wiesen die vorbelasteten Tiere auf. Während *Oniscus asellus* aus Braubach eine sehr hohe Sterblichkeit bei einer Hälterung mit den kontaminierten Blättern zeigte, vermochten Exemplare der Art *Porcellio scaber* fast genauso gut zu überleben wie die unbelasteten Tiere. Im Gegensatz zu den vorbelasteten Tieren von *Oniscus asellus*, die versuchten, das kontaminierte Material zu vermeiden und ihre Ingestion stark gegenüber den unbelasteten Tieren herabzusetzen (Abb. 3), waren vorbelastete Tiere der Art *Porcellio scaber* in der Lage, stark kontaminierte Nahrungsstoffe in deutlich größerem Umfang als die Zuchttiere aufzunehmen, ohne deutlich davon geschädigt zu werden.

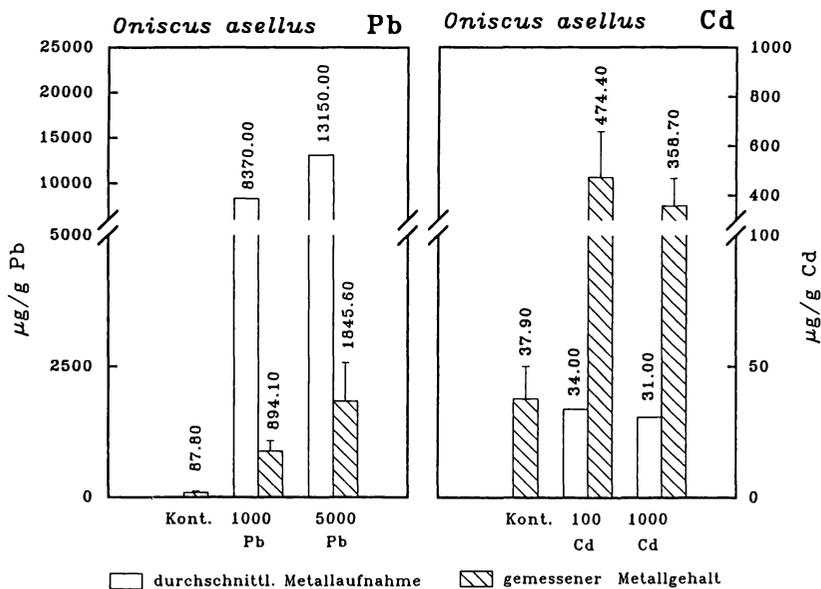


Abb. 1: Blei- und Cadmiumaufnahme und Metallassimilation bei *Oniscus asellus*. Kont.: Kontrolltiere gefüttert mit unbelastetem Laub.

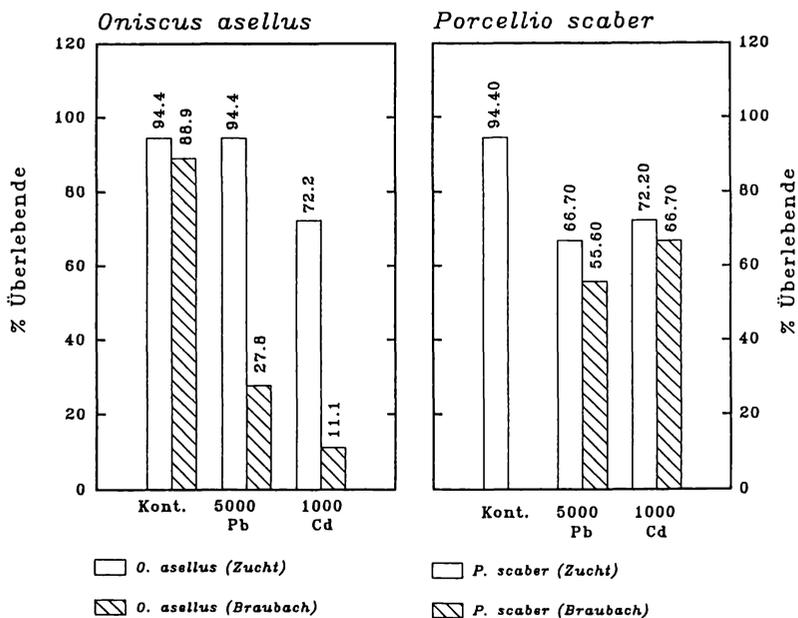


Abb. 2: Mortalitätsraten verschiedener Populationen der Arten *Oniscus asellus* und *Porcellio scaber* mit bzw. ohne Vorbelastung. Kont.: Kontrolltiere mit unbelastetem Futter.

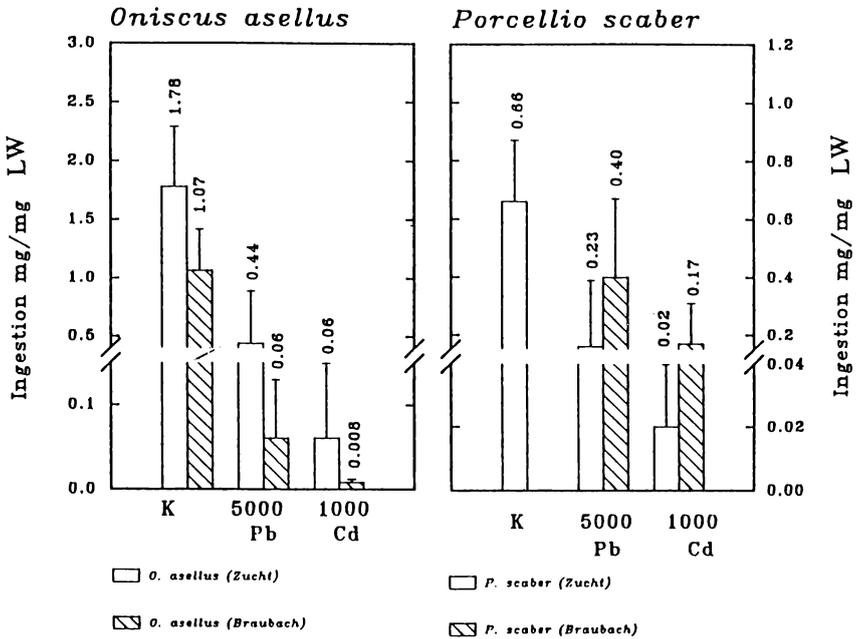


Abb. 3: Menge an ingestierter Nahrung von *Oniscus asellus* und *Porcellio scaber* aus belasteten (Braubach) und nicht belasteten (Zucht) Populationen. K: Kontrolle, LW: Lebendgewicht.

3.4 Der Einfluß versauerter Nahrungsstoffe auf die Leistungsdaten von Landasseln

Die drei in die Untersuchungen aufgenommenen Arten *Oniscus asellus*, *Porcellio scaber* und *Trachelipus ratzeburgi* unterschieden sich deutlich in ihrem Ingestionsverhalten gegenüber den künstlich versauerten Blattstücken. Die spezifische Aufnahmerate wird allerdings erst ab pH-Werten des Futtersubstrates unter 1,7 erkennbar. Unterhalb dieses Wertes wiesen die drei Arten ein weitgehend uniformes Ingestionsverhalten auf (Abb. 4).

Die Analyse der Ergebnisse zeigte, daß im Gegensatz zu der Art *T. ratzeburgi*, die ihre Ingestion bei einer Fütterung mit Kontrolllaub gegenüber der niedrigsten pH-Stufe 1,0 nur um 15,63% erhöhte, der Anstieg bei *O. asellus* mit 65,71% und *P. scaber* mit 116,42% weitaus deutlicher ausfiel. Der Verlauf der Massenassimilation unter Säurestreß bestätigte die Sonderstellung von *T. ratzeburgi* im Vergleich zu den beiden anderen Arten (Abb. 4). Diese waren in der Lage, mit abnehmender Säurebelastung des Futters ihre Massenassimilation fast kontinuierlich zu erhöhen, während *T. ratzeburgi* ein uneinheitliches Reaktionsmuster aufwies. Die mit Hilfe der Mikrokolorimetrie ermittelten Werte für die Energieassimilation der drei Arten lagen für die Verwertung des Kontrollfutters in einem relativ engen Bereich zwischen ca. 33% und 44% (Abb. 4). Große Unterschiede wurden jedoch für die Art *Oniscus asellus* bei der Ingestion von Futter mit pH 1,0 im Vergleich zu den anderen beiden Arten deutlich. Bei pH-Werten von 1,0 und 1,3 des Laubsubstrates lagen die Energieassimilationswerte von *O. asellus* deutlich unter denen von *P. scaber* und *T. ratzeburgi*, was *O. asellus* als sensibelste der drei untersuchten Arten gegenüber versauertem Futter ausweist.

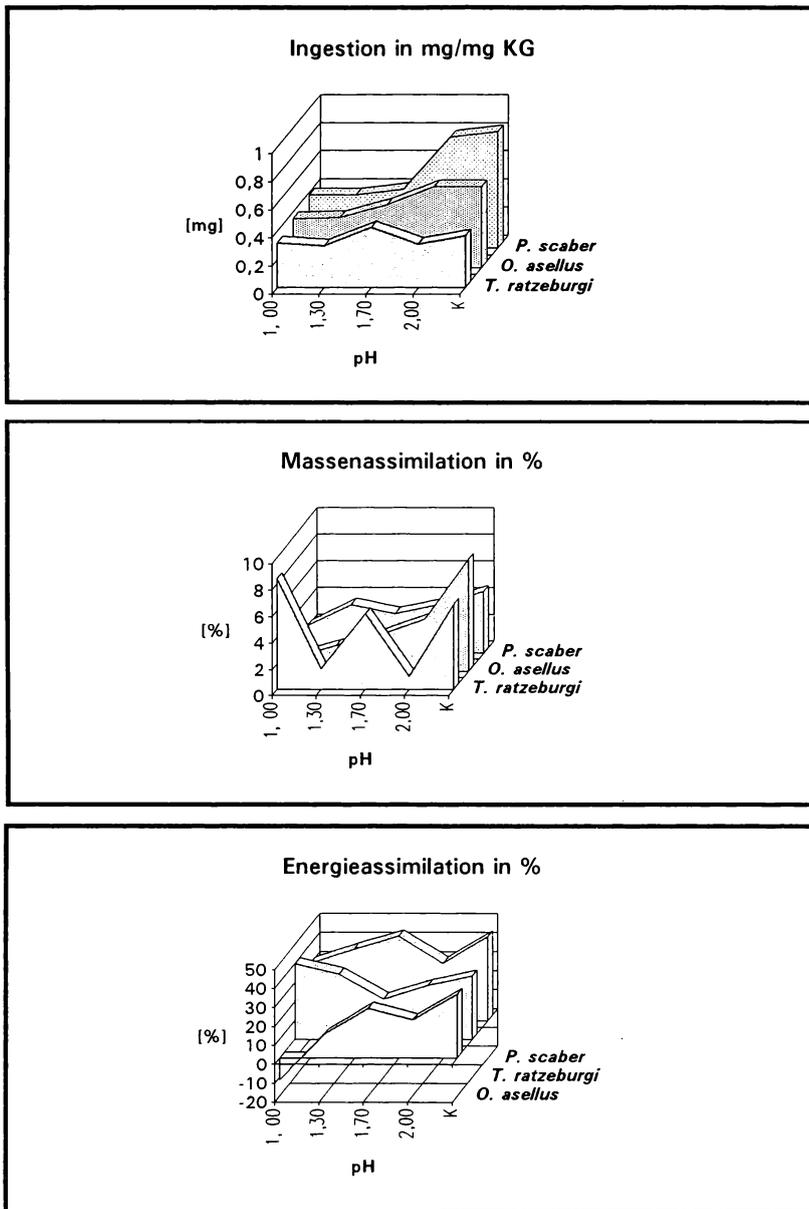


Abb. 4 : Leistungsdaten der Arten *Oniscus asellus*, *Porcellio scaber* und *Trachelipus ratzeburgi* aus der Zucht bei Fütterung mit künstlich versauertem Futtersubstrat. KG: Körpergewicht.

4. Diskussion

Die hohen eingesetzten Konzentrationen von Pb und Cd im Futtersubstrat hatten z.T. massive Auswirkungen auf die Vitalität und damit den Energiehaushalt der Tiere. Demgegenüber können die von SCHAEFER (1985) geäußerten negativen Auswirkungen von durch sauren Regen in ihrem pH-Wert verminderten Nahrungssubstraten auf die Enzymaktivitäten von Bodentieren im Falle der untersuchten Landassellarten als relativ gering eingestuft werden.

Besonders deutlich traten Beeinträchtigungen durch Cd in Erscheinung. Während das mit der künstlich kontaminierten Nahrung aufgenommene Blei zu ca. 90% wieder ausgeschieden wurde, kam es bei den mit Cd belasteten Tieren zu solch hohen Belastungswerten, daß diese nicht allein auf das ingestierte Material bekannten Schwermetallgehaltes zurückgeführt werden konnten. Das Wachstum schwermetalltoleranter Pilze mit bekannt hohem Akkumulationsverhalten gegenüber Schwermetallen (HOPKIN 1989) auf dem kontaminierten Blattsubstrat und deren bevorzugte Ingestion durch Asseln (GUNNARSSON 1987, STÖCKLI 1990) bietet einen möglichen Erklärungsansatz für das hier dokumentierte Phänomen der überproportionalen Schwermetalleinlagerung. Die selektive Nutzung hochkontaminierter Nahrungsressourcen bietet eine mögliche Erklärung für das Fehlen von Asseln an bestimmten Standorten, deren Grundbelastung des Futterlaubes mit Schwermetallen weit unter den Werten liegt, die von den Asseln im Labor ohne pathologische Effekte toleriert werden (BEEBY 1980). Bezüglich der Toleranz der untersuchten Landasseln gegenüber den Belastungen wurde deutlich, daß vorbelastete Tiere der Arten *Oniscus asellus* und *Porcellio scaber* unterschiedlich sensibel auf weitere Schwermetallgaben reagieren und sich, wie bei *Asellus meridianus* (BROWN 1976) sowie *Asellus aquaticus* (FRASER 1980), folglich "resistente" von "weniger resistenten" Populationen einer Art unterscheiden lassen. Diese spezifischen Unterschiede zwischen *Oniscus asellus* und *Porcellio scaber* äußern sich auch in differierenden Assimilationswerten für Cd und Zn (HAMES & HOPKIN 1991). Durch die engen Bindungen zwischen Bakterien und Landasseln (ULLRICH & al. 1991, 1992), die im Besitz schwermetallresistenter, spezifischer Mitteldarmdrüsen symbionten unterschiedlicher genetischer Konstitution deutlich werden (ULLRICH & al., eingereicht), können zusätzliche Selektionsvorteile für die Arten oder Populationen einer Art entstehen, die derartige Mikroorganismen dauerhaft beherbergen. Das Akkumulationsvermögen von Bakterien, Mengen bis zu 36% ihres Trockengewichts an Pb aufzunehmen und damit zu immobilisieren (AICKIN & DEAN 1977), kann hierbei die individuellen Detoxifikationsmechanismen des Asselorganismus (DONKER & al. 1990) entscheidend ergänzen.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes "Wasser-Abfall-Boden" (PWAB) des Kernforschungszentrums Karlsruhe gefördert (Förderkennzeichen: PW 91 102).

Literatur

- AICKIN, R.M. & A.C.R. DEAN, 1977: Lead accumulation by micro-organisms.- *Microbios Lett.* 5: 129-133.
- BABICH, H. & G. STOTZKY, 1982: Gaseous and heavy metal air pollutions.- In: BURNS, R.G. & J. H. SLATER (eds.): *Experimental Microbial Ecology*. - Blackwell, Oxford: 631-670.
- BEEBY, A., 1980: Lead assimilation and brood-size in the woodlouse *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda) following oviposition.- *Pedobiologia* 20: 360-365.
- BLUME, H.-P., 1990: *Handbuch des Bodenschutzes*. - ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg: 668 S.
- BROWN, B.E., 1976: Observations on the tolerance of the isopod *Asellus meridianus* Rac. to copper and lead. - *Wat. Res.* 10: 555-559.
- COLE, M. A., 1977: Lead inhibition of enzyme synthesis in soil.- *Applied and environmental microbiology* 33 (2): 262-268.
- DONKER, M.A., KOEVOETS, P., VERKLEIJ, J.A.C. & N.M. VAN STRAALLEN, 1990: Metal binding compounds in hepatopancreas and haemolymph of *Porcellio scaber* (Isopoda) from contaminated and reference areas. - *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 97C (1): 119-126.
- FRASER, J., 1980: Acclimation to lead in the freshwater isopod *Asellus aquaticus*.- *Oecologia* (Berl.) 45: 419-420.
- GUNNARSSON, T., 1987: Selective feeding on a maple leaf by *Oniscus asellus* L. (Isopoda). - *Pedobiologia* 30: 161-165.
- HAMES, C.A.C. & S.P. HOPKIN, 1991: Assimilation and loss of ¹⁰⁹Cd and ⁶⁵Zn by the terrestrial isopods *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber*. - *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 440-447.
- HOPKIN, S.P., 1989: *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates*. - Elsevier Applied Science, London and New York.
- HOPKIN, S.P. & M.H. MARTIN, 1982: The distribution of zinc, cadmium, lead and copper within the woodlouse *Oniscus asellus* (Crustacea, Isopoda). - *Oecologia* 54: 227-232.
- KILHAM, K. & M. WAINWRIGHT, 1981: Deciduous leaf litter and cellulose decomposition in soil exposed to heavy atmospheric pollution. - *Environ. Pollut. (Ser. A)* 26: 79-85.
- PROSI, F. & R. DALLINGER, 1988: Heavy metals in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* Latr. - I. Histochemical and ultrastructural characterization of metal-containing lysosomes. - *Cell Biol. Toxicol.* 4: 81-86.
- SCHAEFER, M., 1985: Waldschäden und die Tierwelt des Bodens. - *Allgemeine Forstzeitschrift* 27: 676-679.

- STÖCKLI, H., 1990: Das Unterscheidungsvermögen von *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda) zwischen Blättern einer Baumart, unter Berücksichtigung der makroskopisch sichtbaren Verpilzung. - *Pedobiologia* 34: 191-205.
- ULLRICH, B., STORCH, V. & H.U. SCHAIRER, 1991: Bacteria on the food, in the intestine and on the faeces of the woodlouse *Oniscus asellus* (Crustacea, Isopoda). - *Pedobiologia* 35: 41-51.
- ULLRICH, B., VOLLMER, M., STÖCKER, W. & V. STORCH, 1992: Hemolymph protein patterns and coprophagous behaviour in terrestrial isopods. - *J. Inv. Rep. Dev.* 21 (3): 193-200.
- ULLRICH, B., SCHEURIG, M., BUTTERFASS, H.-J., ALBERTI, G., STORCH, V. & H.-U. SCHAIRER, (eingereicht): Überlebensstrategien von Bodentieren an schwermetallbelasteten Standorten: Die Analyse spezifischer bakterieller Symbionten des Intestinaltraktes bei Isopoden und Diplopoden mit Hilfe der DNA-Hybridisierungstechnik.

Adresse

Dipl. Biol. B. Ullrich, Prof. Dr. V. Storch, Prof. Dr. G. Alberti, Dr. M. Ludwig, S. Reiß, M. Zanger, Zoologisches Institut I (Morphologie/Ökologie) der Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 230, D-W-6900 Heidelberg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [22_1993](#)

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: [Die Auswirkungen von Umweltbelastungen auf die Energetik von Landasseln 443-450](#)