

***Anaitis efformata* (Gn., 1857), eine Monitorart für Schwermetalle (Lepidoptera, Geometridae)?¹**

Peter Wüst

Abstract

The Geometrid moth *Anaitis efformata* was studied for its potential as an bioindicator for Pb, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn at a heavy metal polluted industrial wasteland. Metal analyses of soil, washing water of the forage plant fruits of *Hypericum perforatum*, adults and larvae of *A. efformata* were carried out with an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) corresponding to the German DIN-Norm 38414-S7. Neither larvae nor adults showed a high accumulation rate of heavy metals. On the contrary the accumulation of zinc as well as other mechanisms lead to a reduction of the remaining heavy metal concentrations in adults and larvae. Therefore *Anaitis efformata* is not suitable for biomonitoring any heavy metals.

1. Einleitung

In industriellen Ballungsgebieten, wie dem Ruhrgebiet, gilt es negative Entwicklungen von Ökosystemen durch anthropogene Stressoren, wie z.B. durch Schwermetalle, rechtzeitig zu erkennen, um Schädigungen der Umwelt möglichst früh vorbeugen zu können. Einen Beitrag zur Früherkennung von Ökosystemschädigungen können Bioindikatoren leisten. Einige Anforderungen, die ein Monitororganismus in Bezug auf die Erkennung von Schwermetallen erfüllen sollte, sind: eine hohe Akkumulationsrate des Schwermetalls, eine einfache Korrelation zwischen der Metallkonzentration im Tier und dem kontaminierten Boden oder einer belasteten Pflanze, Monophagie und Biotoptreue. Zudem sollte die Art weit verbreitet, leicht zu bestimmen und zu fangen sein (SCHUBERT 1991).

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Spannerschmetterling *Anaitis efformata* (Geometridae) auf seine Verwendbarkeit als Monitorart für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink untersucht.

Die Fragen der Monophagie und der Biotoptreue sind bei *Anaitis efformata* gut untersucht. Dieser Johanniskrautspanner (*Anaitis efformata*) lebt an sonnigen, trockenen bis dünnen Stellen an warmen Halden, wo seine Futterpflanze Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum*) vorkommt (BERGMANN 1954). Die Vermutung von BERGMANN (1954), daß die Raupe wahrscheinlich auch an anderen Arten dieser Gattung lebt, hat sich bestätigt (WEIGT 1975, WÜST 1994a) und widerspricht damit den Angaben der meisten anderen Autoren, wie z.B. FORSTER & WOHLFARTH 1981, SKOU 1986, KOCH 1988 und SAUER 1992, die einzig *H. perforatum* nennen. *H. perforatum* selbst ist schon ein geeigneter Bioindikator für den Einfluß anthropogener Belastungen auf die Vegetation und zeigt diesen Einfluß auf das Untersuchungsgebiet mit einer ermittelten Häufigkeit des Auftretens von 40 bis 70 %, je nach

¹ Inhalt eines Vortrages, gehalten auf dem Westdeutschen Entomologentag 1995

Probenstelle, sehr deutlich (MAHN 1981, SCHUBERT 1991). Diese Untersuchung hat weiterhin ergeben, daß *A. efformata* die charakteristische Leitart für die untersuchte Grasflur ist, hier monophag lebt und sehr biotoptreu ist. Da das untersuchte Gelände nachweislich mit Schwermetallen belastet ist, die Schwesterart *A. plagiata* hier nicht vorkommt und an diesem Ort nur *H. perforatum* wächst, sollte es möglich sein, die Schwermetallfracht vom Boden über die Futterpflanze bis hin zum Falter verfolgen zu können, um eine Antwort auf die Frage nach der Verwendbarkeit des Falters als Monitorart für Schwermetalle zu bekommen.

2. Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet ist eine belastete Industriebrache im Essener Norden (WÜST 1994b). Untersucht wurde eine Grasflur mit Dominanz von Sumpfrispengras (*Poa palustris*) und Echtem Johanniskraut, wobei die zuletzt genannte Art je nach Untersuchungsstelle einen Anteil von 40 bis 70 % aller Pflanzen ausmacht. Das gesamte Untersuchungsgebiet ist durch künstliche Aufschüttungen aus Bauschutt, Bergematerial und in den oberen 4 - 5 m hauptsächlich durch alte Gießereischlacke und -asche gekennzeichnet. Die Humusschicht ist sehr dünn und Schlacke und Asche treten stellenweise immer wieder offen zu Tage.

Die Schwermetallbestimmung erfolgte mit jeweils 2 Meßlösungen nach der DIN-Norm 38414-S7 mit dem Atomabsorptionsspektrophotometer Philips PU 9200X nach dem Standardadditionsverfahren (FACHGRUPPE WASSERCHEMIE 1994).

Untersucht wurden:

Bodenproben: Es liegen Bodenproben vom Lehrstuhl der Physischen Geographie der Universität Bochum (KALVERAM 1992) aus diesem *H. perforatum*-Bestand und aus dem unmittelbar angrenzenden Birkenhain (WÜST 1994b) vor, die in 0-5 cm und in 20-30 cm Tiefe genommen wurden.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde auf der gleichen Grasflur vom 7.-31.8.1993 täglich im Wurzelbereich von ein bis zwei *H. perforatum*-Pflanzen, die ebenfalls gesammelt und auf Schwermetalle untersucht wurden, eine Bodenprobe entnommen. So entstand am Ende ein Gemisch aus "Hypericumboden", der die durchschnittliche Schwermetallbelastung wiedergibt.

Pflanzenwaschwasser: Alle gesammelten Pflanzen wurden vor ihrer Analyse mit Wasser gewaschen. Dieses Wasser wurde anschließend analysiert.

Früchte: Die täglich frisch gesammelten Pflanzen wurden den Raupen als Nahrung angeboten. Nächtliche Freilanduntersuchungen und eine Raupenzucht an der Universität Essen ergaben, daß diese Raupen fast ausschließlich die Früchte fressen. So wurden am Ende die restlichen Früchte einer Schwermetallanalyse unterzogen.

Falter 1. Generation: Die Elterngeneration der gesammelten Raupen flog vom 7.5. - 30.6.93 und wurde täglich mit einer Lichtfalle (superaktinische Röhre, 15 W) vom Minnesota-Typ mit Fangkreuz aus drei Plexiglasprallplatten gefangen (LÖDL 1984). Zur getrennten Analyse gelangten 207 Männchen und 24 Weibchen.

Raupen: Die in der Zeit vom 7. - 31.8.93 nachts gesammelten Raupen, die sich im dritten bis letzten Stadium befanden, wurden an der Universität mit täglich frisch gesammelten *H. perforatum*-Pflanzen vom Standort weiter gezüchtet, bis sie die Nahrungsaufnahme vor der Verpuppung einstellten. Von den 74 gesammelten Raupen gelangten 72 zur Analyse. Zwei wurden zur Überprüfung der Art bis zum Imago erfolgreich weitergezüchtet.

Falter 2. Generation: Die aus dieser Raupengeneration geschlüpften Falter flogen ohne Überschneidung mit der 1. Generation vom 2.7. - 13.10.93 und wurden ebenfalls täglich mit der Lichtfalle gefangen. Zur getrennten Analyse gelangten 313 Männchen und 91 Weibchen.

Um einen tieferen Einblick über mögliche Schädigungen des Ökosystems, u.a. auch auf höherer trophischer Ebene zu erhalten, wurde noch der geschredderte Stamm einer 15 Jahre alten **Hängebirke** (*Betula pendula*) aus dem Birkenhain, die **Leber** von drei auf diesem Gelände gefangenen **Elstern** (*Pica pica*) und die Leber zweier dort lebender **Wildkaninchen** (*Oryctolagus cuniculus*) auf Schwermetalle untersucht. Alle Proben wurden bis zur Untersuchung in Plastikbehältern bei -25°C aufbewahrt.

3. Ergebnisse

Die Bodenanalysen der Universität Bochum ergaben folgende Ergebnisse:

Es ist in Tabelle 1 zu erkennen, daß die Werte recht inhomogen sind. Bei der Probe aus 0-5 cm Tiefe aus dem *H. perforatum*-Bestand liegen die Werte für Blei mit 11880 mg/kg und für Zink mit 27600 mg/kg fast im abbauwürdigen Bereich und das sehr toxische Cadmium erreicht 44,3 mg/kg. Insgesamt überschreiten alle Schwermetallwerte sowohl im *H. perforatum*-Bestand wie auch im Birkenhain die Normalgehalte in Böden nach DVWK (1988) (s. Tab. 2). Da es noch keine einheitlichen Grenzwerte für Schwermetalle in Böden gibt, dienen die Richtwerte der Tabelle 2 der Orientierung (s. auch MERIAN 1984).

Aufgrund der inhomogenen Ergebnisse der Bodenanalyse der Universität Bochum wurden im Rahmen dieser Untersuchung alle Proben von vornherein auf die Erlangung von Mittelwerten angelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

Der Vergleich der **Bodenanalysen** dieser Untersuchung mit denen der Universität Bochum zeigt auch noch einmal deutlich die Inhomogenität des Bodens. Nur Chrom zeigt in beiden Proben einen identischen Wert. Die natürlichen Gehalte der untersuchten Schwermetalle sind bis auf Nickel alle deutlich überschritten. Ein Vergleich der ermittelten Belastungen des Bodens mit den Orientierungswerten II des Entwurfes zur UVPG 1993 (identisch mit den Werten der Klärschlammverordnung von 1992), die bei einem Überschreiten der Werte eine mögliche Beeinträchtigung der Bodenfunktionen anzeigt, ergibt nur für Blei und Zink zu hohe Werte. Die übrigen Schwermetalle liegen etwas unter den Orientierungswerten.

Tab. 1: Schwermetallgehalte von Bodenproben zweier Meßpunkte auf einer belasteten Industriebrache im Essener Norden in mg/kg Trockengewicht (Universität Bochum)

Probe	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
Birkenhain (0-5cm Tiefe)	658	2,2	115	118	196	905
Birkenhain (20-30cm Tiefe)	445	3,1	89	224	127	840
<i>Hypericum</i> -Bestand (0-5cm Tiefe)	11880	44,3	211	280	161	27600
<i>Hypericum</i> -Bestand (20-30cm Tiefe)	958	4,4	114	477	172	1347

Tab 2.: Ausgesuchte Richtwerte zur Beurteilung des Schwermetallgehaltes in Böden in mg/kg. ¹⁾ Grenzwerte gelten für Böden mit pH > 6

* = Umweltverträglichkeitsprüfung Orientierungswert I

Ansatz	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
DVWK 1988						
Normalgehalte (natürliche Schwankungsbreite in Böden)	0,1-20	0,01-0,7	2-50	1-40	2-50	3-100
EIKMANN & KLOKE 1993 (Bodenmultifunktionalität noch gewährleistet)	100	1	50	50	40	150
AbfklärV 1992 (Klärschlammverordnung)	100	1,5 ¹⁾	100	60	50	200 ¹⁾
LÖLF 1988 (Schwellenwerte in Kulturböden)	300	2	300	100	100	500
Niederländische Liste 1993 (Zielwerte für Standardboden)	85	0,8	100	36	35	140
UVPG OWI* 1993 (Bodenfunktionen nicht beeinträchtigt)	50	0,6	50	40	35	120

Um sicher zu sein, daß die gemessenen Schwermetallbelastungen gänzlich auf die Kontaminierung des Bodens zurückzuführen sind, wurde das **Pflanzenwaschwasser** analysiert. Bis auf einen sehr niedrigen Bleiwert und einen ebenfalls zu vernachlässigenden Zinkwert waren alle anderen Metalle unter der Nachweisgrenze.

Tab. 3: Ergebnisse der Schwermetallanalyse nach DIN 38414-S7 in mg/kg Trockengewicht (Universität Essen)

Probe	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
Hypericum-Boden	141,50	1,40	93,30	50,1	37,00	287,7
Pflanzenwaschwasser	0,37	0,01	1,00	0,5	1,00	0,5
Hypericum-Früchte	12,3	3,92	1,75	13,1	12,90	62,3
<i>A. efformata</i> ,						
1. Gen. Männchen	4,63	2,00	1,15	32,0	5,14	410,1
<i>A. efformata</i> ,						
1. Gen. Weibchen	2,06	1,74	3,92	21,6	4,62	318,2
<i>A. efformata</i> , Raupen	1,33	0,47	5,76	18,0	4,13	196,4
<i>A. efformata</i> ,						
2. Gen. Männchen	6,35	1,41	1,32	28,6	4,87	366,7
<i>A. efformata</i> ,						
2. Gen. Weibchen	3,25	1,49	4,44	23,8	4,83	351,9
Birkenholz	3,17	0,08	0,59	6,1	2,68	76,0
Elsterleber	7,95	2,71	1,21	28,6	2,87	102,2
Kaninchenleber	3,17	1,88	2,90	31,8	1,09	364,3

Bei den **Früchten** von *H. perforatum* zeigt sich, daß nur das toxische Cadmium deutlich akkumuliert worden ist. Die Spurenelemente Chrom, Kupfer, Nickel und Zink und das toxische Blei sind alle gegenüber dem Boden reduziert worden.

Die **Falter der 1. Generation** zeigen in der Schwermetallbelastung keine nennenswerten Abweichungen gegenüber den Faltern der 2. Generation. Bei der Belastung mit Blei und Chrom ist in beiden Generationen ein deutlicher Unterschied zwischen den Geschlechtern festzustellen. Weibchen sind nur halb so stark mit dem toxischen Blei belastet wie Männchen. Bei Chrom verhält es sich genau umgekehrt, dort sind Weibchen mehr als 3x stärker mit Chrom belastet als Männchen.

Die **Raupen**, die aus dieser 1. Falter-Generation hervorgegangen sind, zeigen einen geringeren Gehalt an Blei, Cadmium und Nickel gegenüber den gefressenen Früchten, wobei besonders eine starke Reduktion der beiden toxischen Schwermetalle zu erkennen ist. Die anderen Schwermetalle werden akkumuliert.

Die aus dieser Raupengeneration hervorgegangenen **Falter der 2. Generation** zeigen gegenüber den Raupen eine Akkumulierung von Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink, nur Chrom wird reduziert. Auch hier zeigen sich die gleichen Unterschiede in der Schwermetallbelastung zwischen Männchen und Weibchen wie in der 1. Generation zu erkennen.

Im **Birkenholz** sind alle Schwermetalle gegenüber dem Boden stark reduziert. Besonders auffällig ist die extreme Reduzierung des toxischen Cadmiums.

Wenn man die Belastung der **Elsterleber** mit denen der Raupen und Falter, als Beispiel für deren tierischen Nahrungsanteil, und mit den *Hypericum*-Früchten, als Beispiel für den pflanzlichen Nahrungsanteil, vergleicht, fällt die Akkumulierung der beiden toxischen Schwermetalle Blei und Cadmium auf.

Für die **Kaninchenleber** fehlt der direkte Vergleich mit den Belastungen der Kräuter und Gräser. Auffällig ist hier die starke Akkumulierung von Zink.

4. Diskussion

Was sich schon durch den hohen Anteil von *H. perforatum* an der Vegetation andeutete, wurde durch die Schwermetallanalysen bestätigt. Der untersuchte Boden dieser Industriebrache ist mit Schwermetall belastet und könnte gemäß den Orientierungswerten II Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen aufweisen. Die Ursache für die ermittelte Inhomogenität des Bodens auf diesem relativ kleinen Areal ist in der schon länger zurückliegenden künstlichen Aufschüttung des Geländes mit z.T. stark belasteten Produktionsrückständen zu suchen. Die Ergebnisse der Universität Bochum stellen dabei Maximalwerte dar, insbesondere die Probe aus dem *Hypericum*-Bestand aus 0 bis 5 cm Tiefe.

Die *Hypericum*-Früchte weisen mit Ausnahme des Cadmiums eine Reduktion der Schwermetalle gegenüber dem Boden auf.

Da die Ergebnisse der Pflanzenwaschwasseranalyse auf Schwermetalle entweder unterhalb der Nachweisgrenze oder wie im Fall von Blei und Zink nur minimal waren, gelangen die Schwermetalle eindeutig über den belasteten Boden in die Nahrungskette.

Von den Schwermetallen werden aufgrund ihrer hohen Mobilität vor allem Cadmium und Zink von den Pflanzen aufgenommen (SALT 1988). Der an der Universität Bochum ermittelte pflanzenverfügbare Cadmium-Gehalt war mit über 50 % des Cd-Gesamtgehaltes trotz des hohen Boden-pH-Wertes von 7,1 ungewöhnlich groß. Zum Nachweis der mobilen Fraktion der übrigen Schwermetalle fehlen geeignete Methoden. Nach SALT (1988) sind Kupfer, Blei und Chrom oberhalb pH 4, wie auf diesem Gelände, immobilisiert. Cadmium, Zink und Nickel sind erst unterhalb eines Wertes von pH 6 löslich. Nach diesen Angaben wäre bei einem ermittelten pH-Wert von 7,1 (nach HOFFMANN 1991) im Boden nur mit einer geringen Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle zu rechnen. Dies steht im Gegensatz zu dem hohen ermittelten pflanzenverfügbaren Cd-Gehalt. Bei *H. perforatum* sind trotz der Cadmiumbelastung keine Schäden oder Wachstumsdepressionen festgestellt worden (SCHUBERT 1991).

Bei der Birke muß es ein reduzierendes System für Cadmium geben, denn der ermittelte Cadmiumwert von 0,08 mg/kg ist zu vernachlässigen.

Da Raupen in wenigen Wochen das 10.000 -fache des Gewichtes der Eier erreichen, laufen sie bei ihrem großem Nahrungsbedarf Gefahr, Schwermetalle sehr stark zu akkumulieren und diese dann über ihre Freßfeinde an Tiere höherer

trophischer Ebene weiterzugeben. Die Analyse der Raupen zeigt jedoch, daß gerade die beiden toxischen Schwermetalle deutlich reduziert werden.

Die Schwermetallgehalte der Elsterleber spiegeln aber die auf diesem Gelände mit Schwermetall belastete tierische und pflanzliche Nahrung wider.

STARY (1989) und LINDQVIST (1992) zeigten, daß Raupen Blei und Cadmium reduzieren, indem sie den überwiegenden Teil der Schwermetalle, die sie mit der Nahrung aufgenommen haben, mit dem Kot wieder ausscheiden. Ebenso können Raupen die aufgenommenen Schwermetalle durch Einlagerung in die Kopfkapsel und in die Raupenhülle reduzieren (GINTENREITER et al. 1993a). Kupfer und Zink sind für Schmetterlinge essentielle Metalle, deren Konzentration sie regulieren können. Wie in dieser Untersuchung war auch bei anderen Autoren (PIHLAJAMÄKI et al. 1989, STARY 1989, KROUPA et al. 1990, LINDQVIST 1992 und GINTENREITER et al. 1993a) bei einer Schwermetallbelastung der Nahrung eine Akkumulierung von Zink in den Raupen festzustellen. Wie bei den Säugetieren, z.B. dem untersuchten Wildkaninchen, scheint die Akkumulierung von Zink auch bei Insekten eine Methode zu sein, um andere noch toxischere Metalle zu verringern (PIHLAJAMÄKI et al. 1989).

Beim Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*) zeigen Larven, Puppen und Imagines die sowohl mit Cadmium als auch mit Zink kontaminiert werden, deutlich niedrigere Cadmiumwerte als die nur mit Cadmium kontaminierten Tiere. Dazu kommt, daß sich die Schädigung des Cadmiums, eine deutlich spätere Verpuppung, ins Gegenteil umkehrt. Die Verpuppung erfolgt deutlich früher. Diese Reaktion findet man auch bei Tieren mit einer reinen Zinkkontamination (VOGEL 1988).

Bei Fütterungsversuchen mit Schwermetallen wurden für den Schwammspinner (*Lymantria dispar*) sogenannte NOECs (No-Observed-Effect-Concentrations) ermittelt (GINTENREITER et al. 1993b). Erst oberhalb der ermittelten Schwermetallkonzentrationen zeigten die Raupen Vitalitätsbeeinträchtigungen, wie Entwicklungsstörungen, Veränderungen bei Lebensdauer, Wachstum und Fortpflanzung. Obwohl jede Art andere NOECs besitzen dürfte, würde ein Transfer dieser Ergebnisse für *A. efformata* folgendes ergeben: Wegen zu hoher Kupferwerte wird *A. efformata* weniger Nachwuchs hervorbringen, d.h. es werden weniger Raupen aus den Eiern schlüpfen. Der zu hohe Cadmiumgehalt kann zur Bildung einer kleineren Kopfkapsel oder zu einem geringeren Raupen- oder Puppengewicht führen.

Bei *A. efformata* waren allerdings keine Beeinträchtigungen zu erkennen. Eine Verminderung des Nachwuchses durch zu hohe Kupferwerte war nicht zu beobachten. Ganz im Gegenteil, *A. efformata* war auf dieser Grasflur die dominante Art mit einem Dominanzwert von 22 %. Eine verzögerte oder eine beschleunigte Entwicklung durch die Cadmiumbelastung, die sich in späteren oder früheren Flugzeiten hätte zeigen müssen, war nicht festzustellen. Die ermittelten Flugzeiten beider Generationen stimmen fast auf den Tag genau mit den von WEIGT (1975) ermittelten überein.

Die Falter beider Geschlechter in beiden Generationen weisen eine Anreicherung der beiden toxischen Schwermetalle Blei und Cadmium auf. Auch hier geht die Schwermetallbelastung mit einer Akkumulierung von Zink einher. Chrom wird gegenüber den Raupen reduziert und Nickel und das essentielle Kupfer werden leicht akkumuliert.

Eine Vitalitätsbeeinträchtigung der Falter war nicht zu erwarten, denn die Imagines der Schmetterlinge besitzen mit der Abgabe des Meconiums eine effektive Methode zur Ausscheidung von Schwermetallen. Dieser Weg wird auch von anderen Insekten zur Exkretion von Schwermetallen genutzt (ERNST & JOOSSE 1983, AOKI & SUZUKI 1984).

Von den Spurenelementen Chrom, Kupfer, Nickel und Zink sind Kupfer und Zink für Insekten essentielle Metalle. Für diese beiden Metalle gibt es physiologische Regelmechanismen, mit denen die Schmetterlinge deren Konzentration innerhalb bestimmter Grenzen auf ihre Bedürfnisse einstellen können. Deshalb muß ein essentielles Metall im Insekt nicht die Belastung der Umwelt und umgekehrt wiedergeben. Über die Wirkung und Funktion von Chrom und Nickel bei Insekten ist so gut wie nichts bekannt. Bei den beiden toxischen Schwermetalle Cadmium und Blei kommt es bei Insekten meistens schon bei geringeren Dosen zu Beeinträchtigungen der Vitalität.

5. Fazit

Weder die Raupen noch die Falter des Geometriden *Anaitis efformata* eignen sich als Monitorart für die untersuchten Schwermetalle, da keine hohen Akkumulationsraten festzustellen waren.

Da Schmetterlinge Reduktionsmechanismen für Schwermetalle besitzen, wozu auch der bei *A. efformata* ermittelte recht hohe Zinkgehalt gehört, kommt es zu keinen offensichtlichen Vitalitätsbeeinträchtigungen, d.h. die NOECs dieser Art sind auf dem untersuchten Gelände noch nicht überschritten.

Grundsätzlich müßten zuerst bei allen potentiellen Monitorarten die NOECs für Schwermetalle untersucht werden, um dann über auftretende Schädigungen der Monitorart auf das Überschreiten der ermittelten Schwermetallwerte schließen zu können. Bei allen Schwierigkeiten die bei der Übertragung von Laborergebnissen auf das Freiland auftreten, wird die Akkumulierung von Zink in Zusammenarbeit mit den anderen Reduktionsmöglichkeiten ein Biomonitoring für Schwermetalle mit Schmetterlingen wohl unmöglich machen. Selbst der melanistische Birkenspanner (*Biston betularia* f. *carbonaria*) eignet sich nicht als Bioindikator für Schwermetalle (KROUPA et al. 1990).

6. Literatur

ANONYMUS (1992): Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992, BGBl. I S.912.

- AOKI, Y. & K. SUZUKI (1984): Excretion of Cd and change in the relative ratio of iso-cadmium-binding proteins during metamorphosis of freshfly (*Sarcophaga peregrina*), *Comp. Biochem. Physiol.*, 78, 315-317.
- BERGMANN, A. (1954): Die Großschmetterlinge Mitteldeutschlands, Bd. 5, 231-232, Urania Verlag, Jena.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1993): Referententwurf - Allgemeine Verwaltungsvorschriften zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeit (UVPVwV(E), Stand 02/93), Bonn.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen, Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 212, Hamburg & Berlin.
- EIKMANN, T. & A. KLOKE (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden - Eikmann-Kloke-Werte, In: Rosenkranz, D., G. Einsele & H.-M. Harres: (Hrsg.) (1988): Bodenschutz. - Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, 14. Lieferung, Kz.: 3590, 1-26, Berlin.
- ERNST, W. & E. JOOSSE (1983): Umweltbelastungen durch Mineralstoffe, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- FACHGRUPPE WASSERSCHEMIE in der GDCh (Hrsg.) (1994): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Band IV, Verlag Chemie, Weinheim; Beuth Verlag, Berlin.
- FORSTER, W. & T. WOHLFAHRT (1981): Die Schmetterlinge Mitteleuropas, Bd. 5, 71, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.
- HOFFMANN, G. (1991): Die Untersuchung von Böden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- GINTENREITER, S., J. ORTEL & H.J. NOPP (1993a): Bioaccumulation of Cadmium, Lead, Copper, and Zinc in successive Developmental Stages of *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae, Lep.) - a Life Cycle Study, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 25, 55-61.
- (1993b): Effects of Different Dietary Levels of Cadmium, Lead, Copper, and Zinc on the Vitality of the Forest Pest Insect *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae, Lep.), *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 25, 62-66.
- KALVERAM, T. (1992): Untersuchungen zur Samenbank und zur Vegetation auf einer Industriebrache im Essener Norden, Diplomarbeit Universität Bochum (unveröffentlicht).
- KOCH, M. (1988): Wir bestimmen Schmetterlinge, 580 S., Neumann-Neudamm, Leipzig.
- KROUPA, M., K. SPITZER & I. NOVAK (1990): The heavy metals content in melanic and typical forms of *Biston betularia* (Lep., Geometridae) and its bioindicator significance, *Acta Entomol. Bohemoslov.*, 87, 249-252.

- LINDQVIST, L (1992): Accumulation of cadmium, copper, and zinc in five species of phytophagous insects, *Environ. Entomol.*, 21, 160-163.
- LÖDL, M. (1984): Kritische Darstellung des Lichtfanges, seiner Methoden und seine Bedeutung für die ökologisch - faunistische Entomologie, Teil 1, 74 & 112, Diss. Wien.
- LÖLF (Hrsg.) (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung. Schriftenreihe d. LÖLF NW.
- MAHN, E.G. (1981): Zur Erfassung des Einflusses anthropogener Belastungen auf die Vegetation der Dübener Heide durch Bioindikatoren, *Naturwiss. Beiträge Mus. Dessau*, 2, 5-20.
- MERIAN, E. (Hrsg.) (1984): *Metalle in der Umwelt*, Verlag Chemie, Weinheim.
- PIHLAJAMÄKI, J., V.- M. VÄÄNÄNEN, P. KOSKINEN & P. NUORTEVA (1989): Metal levels in *Laothoe populi* and *Sphinx pinastri* (Lep., Sphingidae) in Finland, *Ann. Entomol. Fennici*, 55, 17-21.
- SALT, C. (1988): Schwermetalle in einem Rieselfeld-Ökosystem. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 54, Diss. Berlin.
- SAUER, F. (1992): Die schönsten Raupen nach Farbfotos erkannt, 252-253, Fauna-Verlag, Karlsfeld.
- SCHUBERT, R. (Hrsg.) (1991): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- SKOU, P. (1986): *The Geometrid Moths of North Europe*, 204, Scandinavian Science Press, Kopenhagen.
- STARY, P. (1989): Heavy metal traffic pollutants in the small egg, *Eriogaster lanestris* (L.) (Lep., Lasiocampidae), *Ekologia*, 8, 211-218.
- VOGEL, W. (1988): Zur Aufnahme und Auswirkung der Schwermetalle Zink und Cadmium beim Mehlkäfer *Tenebrio molitor* L. (Col., Tenebrionidae) unter Berücksichtigung möglicher Wechselwirkungen, *Zool. Anz.*, 220, 25-32.
- WEIGT, H.-J. (1975): Die *Anaitis*-Gruppe (Lep. Geometridae), *Dortmunder Beiträge zur Landeskunde*, 8, 45-56.
- WÜST, P. (1994a): Faunistic characteristics and ecology of the Macroheterocera in different structured areas of Nestos Delta, Bios (Macedonia, Greece), 2, 263-269.
- (1994b): Abiotische Abhängigkeit des Schwarm- und Flugverhaltens von *Nemophora degeerella* (L.1758) (Lep., Adelidae), *Verh. Westd. Entom. Tag 1993*, 177-181.

Peter Wüst
 Fachbereich 9 - Zoologie, Universität GHS Essen
 Universitätsstr. 5
 D-45117 Essen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Entomologische Mitteilungen aus dem Löbbecke-Museum + Aquazoo](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Wüst Peter

Artikel/Article: [Anaitis efformata \(Gn., 1857\), eine Monitorart für Schwermetalle \(Lepidoptera, Geometridae\)? 31-40](#)