

Schwermetalle in Elsternfedern – Zur Frage nach den Anteilen von exogener und endogener Einlagerung in die Federn bei Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt

Heavy metal in Magpie feathers – On the relative quantities of exogenous and endogenous contamination of zink, cadmium, lead, copper, nickel and cobalt in feathers

Von Edmund Hahn*, Peter Ostapczuk*, Markus Stoeppler* und Hermann Ellenberg**

Key words: Feathers, heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu, Ni and Co) Biomonitoring, Magpie (*Pica pica*)

Zusammenfassung

HAHN, E., P. OSTAPCZUK, M. STOEPLER & H. ELLENBERG (1989): Schwermetalle in Elsternfedern – Zur Frage nach den Anteilen von exogener und endogener Einlagerung in die Federn bei Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt. Ökol. Vögel 11: 265-281.

Die Elster (*Pica pica*) erfüllt in wesentlichen Punkten die Anforderungen, die an eine als Biomonitor geeignete Tierart zu stellen sind. In der Nähe von Immissionsmeßstationen der KFA Jülich wurden 1984 und 1985 Elsternfedern als repräsentative Umweltproben zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten gesammelt. Dazu wurden die standorttreuen Brutvögel gezielt gefangen. Mittels Voltammetrie wurden die Gehalte an Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co in den nach Alter und Position im Gefieder charakterisierten Steuerfedern der Elstern bestimmt.

Für Cd, Pb, Cu, Ni und Co liegen die Konzentrationen in über längere Zeit getragenen Federn um den Faktor zwei bis fünfzehn höher als in vergleichbaren, nach der Mauser frisch geschobenen Federn. Der Anstieg der Schwermetallgehalte in den Elsternfedern findet über die Zeit statt. Korrelationen zwischen den Metallgehalten in Federn und den vor Ort gemessenen Schwermetall-Depositionsraten werden nur dann zuverlässig interpretierbar, wenn die Expositionsdauer der Federn berücksichtigt wird. In den Steuerfedern werden höhere Schwermetallgehalte in der freier exponierten Außenfahne im Gegensatz zur Innenfahne derselben Feder gemessen. In den Federfahnen sind die Schwermetallgehalte im Vergleich zu den Federkielen deutlich erhöht. Die gemessenen Schwermetall-»Belastungen« in den Federn sind also auch eine Funktion der exponierten Federflächen.

Anschriften der Verfasser:

* Institut für Angewandte Physikalische Chemie der Kernforschungsanlage
Jülich, Postfach 1913, D-5170 Jülich

** Fachgebiet Wild- und Jagdökologie des Instituts für Weltforstwirtschaft,
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft,
Leuschnerstraße 91, D-2050 Hamburg 80

Die Ergebnisse belegen, daß die in länger exponierten Federn meßbaren Schwermetallgehalte nur zu einem unbedeutenden Teil die während des Federwachstums endogen in die Feder inkorporierte Schwermetallbelastung widerspiegeln. Vielmehr entsprechen sie der während der Expositionszeit auf bzw. in die Feder exogen deponierten Schwermetallimmission aus der Atmosphäre. Indem Federn am Vogel über dessen Aktionsraum »getragen« werden, integrieren sie Schwermetalldepositionen aus der Luft proportional zur Zeit und zur Fläche. Federn eignen sich deshalb in besonderem Maße zum Biomonitoring der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten. Für die Interpretierbarkeit der Meßergebnisse ist auf Vergleichbarkeit der Federabschnitte im Gefieder, der Expositionsdauer der Feder am Körper und der Waschprozeduren vor der Analyse der Umweltprobe zu achten. Entsprechende Vorschläge zur Standardisierung der »Umweltprobe Elsternfeder« werden gemacht.

Summary

HAHN, E., P. OSTAPCZUK, M. STOEPLER & B. ELLENBERG (1989): Heavy metals in Magpie feathers. — On the relative quantities of exogenous and endogenous contamination of zink, cadmium, lead, copper, nickel and cobalt in feathers. *Ecol. Birds* 11: 265-281.

Magpie (*Pica pica*) fulfills most of the criteria for the selection of a species suitable for biomonitoring. Close to wet deposition samplers of the nuclear research center (KFA) Jülich from 1984 to 1985 feathers of magpies were collected to study the heavy metal burden of distinct areas. To achieve this breeding birds with sedentary home range behaviour were caught. The content of Zn, Cd, Pb, Cu, Ni and Co in rectrices of magpies was determined by voltammetry. The feathers were characterized by their age and position in the plumage.

The concentration of the analyzed elements are about a factor of two to fifteen higher in old feathers than in freshly moulted ones.

The increase of heavy metal content in feathers of magpies is a function of time. Correlations between the heavy metal content in feathers and the immission rate obtained from deposition could be found only, if exposure time is taken into account.

The metal content in the more heavily exposed outer barb was determined in contrast to the inner barb of the same feather. In comparison barbs of feathers are higher polluted with heavy metals than quills. Thus, heavy metal content of a feather is a function of the exposed area of this feather too.

These results confirm that the heavy metal content of »old« feathers does not reflect — or only in a very inferior part — the heavy metal burden endogenously incorporated into the feather during its growth but correspond much more with heavy metal immission from the atmosphere during exposure in/on the feather.

Feathers integrate heavy metal deposition from the atmosphere in proportion to time and space of bird's home range. Feathers therefore are very suitable as biomonitors of heavy metal burden of areas. It is very important for the interpretation of the measured heavy metal content of bird's feathers to know exposure time and the position in the plumage, and to use appropriate washing procedures before analysis of feathers. Proposals are given to standardize environmental sampling for rectrices of magpies.

1. Einleitung und Entwicklung der Fragestellung

Untersuchungen zum Schwermetallgehalt von Vogelfedern haben sich in den letzten Jahren in einer Vielzahl von Veröffentlichungen zu diesem Thema niedergeschlagen (BERG et al. 1966, JENSEN et al. 1972, RANTA, TOMASSINI & NIEBOER 1978, KELSALL & BURTON 1979, SCANLON et al. 1980, BAUMGARDT 1982, ELLENBERG & DIETRICH 1982, ROSE & PARKER 1982, DOI & FUKUYAMA 1983, PARRISH, ROGER & WARD 1983, BREITSCHWERT 1984, EDWARDS & SMITH 1984, GOEDE & DE BRUIN 1984, KOOIKER 1984, MÜLLER et al. 1984, ELLENBERG et al. 1985, GOEDE 1985, GOEDE & DE VOGT 1985, HAHN et al. 1985, DIETRICH & ELLENBERG 1986, ELLENBERG et al. 1986b. Ziel dieser Arbeiten ist es mit Hilfe von Federn als Indikatoren die sonst nicht so leicht erfaßbare Schwermetallbelastung in der Umwelt der untersuchten Vogelart darzustellen.

Voraussetzungen für diesen Ansatz, der Federn ausgewählter Vogelarten im Sinne eines Biomonitoring gebrauchte (vgl. Definition von ELLENBERG jun. 1982), ist die klar dokumentierte Beziehung zwischen dem wirkenden Umweltfaktor und dem Indikator oder Monitor: der Schadstoffimmission an einem bestimmten Standort in einem bestimmten Zeitraum und den Schwermetallgehalten in den Federn der untersuchten Vogelart aus dem selben Bezugsraum zur selben Zeit.

Organismen (Tiere und Pflanzen), die als Biomonitoring für die Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten eingesetzt werden, müssen, damit sie als Integratoren für räumliche und zeitliche Belastungstrends herangezogen werden können, bestimmte Eigenschaften besitzen. Anhand von Kriterienlisten, in denen die einzelnen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Relevanz im Sinne der Fragestellung gewichtet sind, lassen sich geeignete von weniger bis ungeeigneten Arten unterscheiden und als Biomonitoring auswählen (vgl. ELLENBERG, 1981, 1982; HAHN, 1984, ELLENBERG et al. 1985, 1986a).

Für den Einsatz von warmblütigen Wirbeltieren als Biomonitoring haben sich drei Kriterien als wesentliche Voraussetzungen herausgeschält. Die ausgewählten Tierarten müssen einen klaren Raumbezug zulassen. Nur so ist gewährleistet, daß gewonnene Daten ortsbezogen interpretiert werden können. Tiere, die über das ganze Jahr oder zu bestimmten Zeiten den selben Lebensraum besetzen, erfüllen diese wesentliche Voraussetzung.

Darüberhinaus müssen Biomonitoring über eine ausreichende Schadstofftoleranz verfügen, damit sie auch bei ansteigender Belastung für weitere Untersuchungen zur Verfügung stehen. Implizit setzt diese Eigenschaft voraus, daß die ausgewählte Tierart Schadstoffe in gut meßbaren bzw. nachweisbaren Mengen akkumuliert.

Kenntnisse über die Nahrungszusammensetzung sind eine wesentliche Voraussetzung für die Interpretation einer Reihe von Schadstoffbelastungen in Organismen (vgl. MAY & ELLENBERG 1985).

Neben diesen für einen Biomonitoring wesentlichen Voraussetzungen existieren wichtige Voraussetzungen sowie nützliche Eigenschaften, die für die Eignung der Art als Biomonitoring und für die praktische Durchführung der Untersuchungen beachtet werden müssen (HAHN 1984, ELLENBERG et al. 1985).

Nach diesem Auswahlverfahren haben sich Habicht (*Accipiter gentilis*), Waldkauz (*Strix aluco*) und Elster (*Pica pica*) als besonders geeignete Vogelarten für einen Einsatz als Biomonitoring erwiesen (HAHN 1984, ELLENBERG 1985, ELLENBERG et al. 1986a). Freilanduntersuchungen an Habicht (DIETRICH 1982), Waldkauz (HAHN 1982, 1984) und Elster (GAST 1984), haben die besondere Eignung dieser Arten als Integratoren für die Erfassung von räumlichen und zeitlichen Belastungstrends bestätigt.

Gestützt auf diese Vorarbeiten begannen die Untersuchungen an Habichtmauserfedern und Elsterfedern. Es sollte geprüft werden, ob die durch Niederschlagssammler ermittelten Schwermetalldepositionen mit den Gehalten in den Federn der oben genannten Arten direkt korrelieren. Für standardisierte Habichtmauserfedern und

Elsterfedern konnten überraschend gute Übereinstimmungen mit den gemessenen Schwermetallimmissionen aufgezeigt werden (ELLENBERG et al. 1985, 1986a, 1986b, HAHN et al. 1985, DIETRICH & ELLENBERG 1986).

Eine signifikante Korrelation zwischen der gemessenen Depositionsrate und dem Schwermetallgehalt in Federn erklärt jedoch nicht, woher die gemessenen Schwermetallgehalte der Federn stammen: handelt es sich um die endogen über die Nahrung und Physiologie während des Federwachstums inkorporierte Schwermetallfracht oder messen wir mit Vogelfedern im wesentlichen den Anteil der Schwermetallimmission, der exogen — nach der Bildung der Feder — auf die Feder auftritt?

Anlaß der Frage nach dem exogenen und endogenen Anteil der Schwermetallbelastung in Vogelfedern nachzugehen war die Beobachtung, daß die Schwermetallgehalte der mittleren Elstersteuerfedern im Gegensatz zu den äußeren Schwanzfedern derselben Individuen nicht auf Anhieb mit der gemessenen Schwermetallimmission korrelierten. Erst nachdem in alte und frisch vermauserte Federn unterschieden wurde, konnten für beide Gruppen getrennt signifikante Korrelationen zwischen Schwermetallgehalten in den Federn und gemessenen Schwermetallimmissionen festgestellt werden.

Zur Klärung der Frage nach dem endogenen und exogenen Anteil der Schwermetallbelastung von Vogelfedern ist es notwendig, daß man sich mit den Besonderheiten der Vogelfeder wie Struktur, Morphologie (SICK 1937, RUTSCHKE 1960, 1965) und Entstehungsweise (SPEARMAN & HARDY 1985) auseinandersetzt. Die Einzelfeder als Substruktur des Gefieders hat für den Organismus Vogel drei wichtige Funktionen zu erfüllen (PORTMANN 1984). Als Teil des Integumentes dient sie der Wärmeregulation und schützt den Organismus vor direkten Einflüssen der ihn umgebenden Umwelt. Sie selbst ist somit um so mehr diesen direkten Umwelteinflüssen ausgesetzt.

Die physikalisch-technischen Anforderungen des Fliegens erfordern große Oberflächen bei möglichst geringem Gewicht. Dies ist in Struktur und Aufbau der Federn (Leichtbauweise) optimal realisiert (vgl. NACHTIGALL 1985). Beim Fliegen sind vor allem Hand-, Arm- und Steuerfedern einem besonders intensiven Kontakt mit der Umwelt (Atmosphäre) ausgesetzt.

In einem dritten Aufgabenkreis dienen Federn als optische Signale bei der innerartlichen Kommunikation.

Damit Federn ihre für den Organismus wichtigen Funktionen erfüllen und erhalten können, sind Gefiederpflege durch regelmäßiges Putzen sowie Baden und bei der Mehrzahl der Vogelarten das tägliche »Einfetten« des Gefieders mit dem Sekret der Bürzeldrüse für den Vogel unabdinglich. Die starke Beanspruchung und damit verbundene Abnutzung erfordert eine regelmäßige Erneuerung der Federn durch die Mauser. Alte Federn werden abgestoßen und durch neue ersetzt.

Bereits aufgrund dieser Betrachtungen über die biologischen Aspekte der Vogelfeder läßt sich vermuten, daß Federn eher die durch intensiven Kontakt mit der Umwelt exogen aufgelagerte Schwermetallbelastung widergeben, als eine endogene, über Nahrung und Physiologie gesteuerte Belastung.

In der vorliegenden Arbeit wird anhand von Schwermetalluntersuchungen an Elsterfedern gezeigt, daß die in den Federn gemessenen Schwermetallgehalte an Cd, Pb, Cu, Ni und Co fast ausschließlich auf exogenen Schwermetallauftrag auf bzw. in die Feder zurückzuführen sind. Konsequenzen dieser Ergebnisse für den Einsatz von Federn als Biomonitoren zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten werden diskutiert.

2. Material und Methoden

Mit der Zielsetzung, die Eignung von Elsterfedern als repräsentative Umweltproben zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten zu untersuchen, wurden 1984 und 1985 jeweils 26 Elstern für Rückstandsuntersuchungen gefangen. Die Probennahmegebiete waren durch die Standorte der Immissionsmeßstationen des Instituts für Angewandte Physikalische Chemie der Kernforschungsanlage Jülich vorgegeben. Seit 1980 werden mit einem Netz von automatisch arbeitenden Niederschlagssammlern in der Bundesrepublik Deutschland die Schwermetallimmissionen für die Elemente Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co ermittelt (NÜRNBERG et al. 1984, VALENTA & NGUYEN 1986).

In dem ausgeprägten Immissionsgradienten des durch bleiverhüttende Industrie hoch belasteten Raumes um Stolberg/Rhld. zu der deutlich geringer mit Schwermetallen belasteten Region um Jülich wurden in nächstmöglicher Entfernung zu den Niederschlagssammlern die Elsterproben gezogen. Hinzu kamen Elstern des Reinluftgebietes Deuselbach/Hunsrück, Proben aus der Nähe der Meßstation Saarbrücken und von weiteren Standorten.

Mit Hilfe eines gekäfigten Lockvogels (Methode siehe GAST 1984) lassen sich gezielt standortbezogene Elsterproben in Form territorialer Elterntiere bzw. von diesen erbrüteter flügger Jungvögel ziehen. Die gefangenen Vögel wurden in der Regel sofort wieder freigelassen. Die Probennahme der Elsterfedern im Freiland erfolgte unter Berücksichtigung eines möglichen Kontaminationsrisikos nur mit Einmalhandschuhen. Bis zur Analytik wurden die Federn in Polyethylentüten im Gefrierschrank bei ca. -18°C aufbewahrt.

Für die rückstandsanalytischen Untersuchungen wurden die Steuerfedern ausgewählt (siehe Abb. 1). Sie sind groß genug, um als Einzelfeder eine ausreichende Einzelprobe zu ermöglichen, und sie scheinen in ihrer Gesamtstruktur bemerkenswert homogen (vgl. GAST 1984).

Elstern mausern im Anschluß an die Brutzeit (BÄRMANN 1968). Die Mauser der Steuerfedern beginnt mit den beiden mittleren Schwanzfedern und verläuft von diesem Mauserzentrum konsequent zentrifugal zu den äußeren Schwanzfedern. Für das Kollektiv der gesammelten Elstersteuerfedern bedeutet dies, daß bereits ein Teil der mittleren Federn vermausert bzw. gerade im Wachstum begriffen waren. Die äußeren Steuerfedern (S_0) waren bei Abschluß der Fangaktion von der Mauser noch nicht betroffen. Sie standen alle seit etwa einem Jahr an dem Vogel. Anhand der Federabnutzung und aufgrund der Kenntnisse über den Mauserverlauf war für jede Feder eine Aussage über ihr Alter möglich (BUB 1985). Die analysierten Federn waren somit nach Alter und Position im Schwanzgefieder charakterisiert. Bei den diesjährigen Jungvögeln sind die Federn alle ungefähr gleich alt.

Die Probenvorbereitung erfolgte unter Reinluftbedingungen an einem staubfreien Arbeitsplatz, einer sog. »Clean-bench«. Die Federn wurden vermessen und Besonderheiten, z.B. Beschädigungen vermerkt.

Um oberflächlich anhaftende Schmutzpartikel zu entfernen wurden die Federn dreimal gründlich mit Aceton abgespült. Danach wurden sie 10 Minuten bei 60°C im Trockenschrank getrocknet. Durch diese Waschprozedur wurde bei den Elsterfedern ein Gewichtsverlust zwischen 1,2 und 1,5% festgestellt. Bei aufgesammelten Elstermauserfedern betrugen die so ermittelten Gewichtsverluste 3,6 bis 4,5%. Die gleiche Waschbehandlung der Federproben gewährleistet eine weitgehende Vergleichbarkeit des abgewaschenen Anteils.

Nach dem Waschen wurden die Federn mit einer Titanschere (Fa. Stürmer, Würzburg) in Fahne und Kiel zerteilt und die Federfahne in Quarzziegel eingewogen. Der Aufschluß der Elsterfedern erfolgte mit Perchlorsäure und Salpetersäure (Merck, Darmstadt »Suprapur«) (OSTARCZUK et al. 1984). Die Federn wurden mit Aceton (»zur Analyse«) gewaschen.

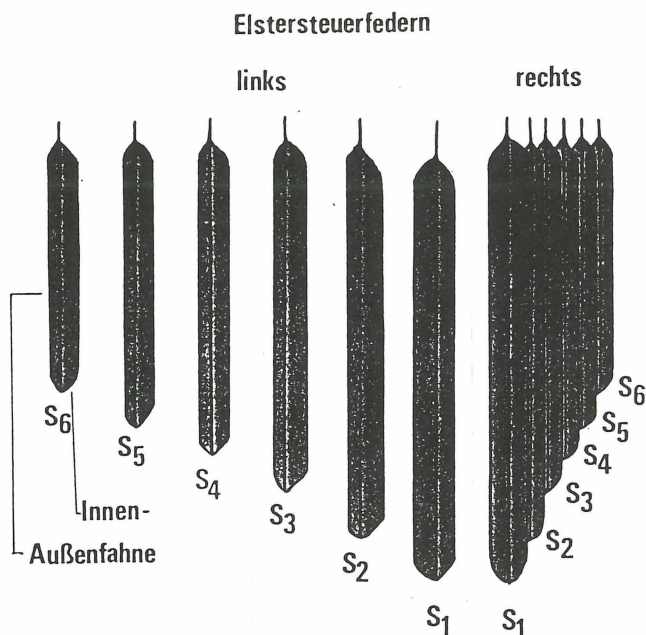


Abb. 1. Positionen der einzelnen Steuerfedern im Schwanzgefieder der Elster. Bei zusammengefalteten Steuerfedern (rechte Hälfte, angedeutet) überdecken die Außenfahnen der jeweils inneren die Innenfahnen der jeweils äußeren Federn. In der Regel sind nur die Außenfahnen frei exponiert.

Die Gehalte an Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co in den Federproben wurden voltammetrisch bestimmt. Die Analysen wurden mit einem Polarographen Modell 384 B in Verbindung mit einer stationären Quecksilbertropfenelektrode Modell 303 A (beide Geräte EG & G, Princeton Applied Research, Princeton, USA) durchgeführt. Aus jeder Aufschlußlösung einer Feder wurden mindestens zwei aliquote Teile analysiert. Dabei wurden Standardabweichungen bis maximal 10% des Mittelwertes toleriert. Einzelne Proben wurden zusätzlich mit der AAS (Atomabsorptionsspektroskopie) analysiert. Eine ausreichende Übereinstimmung der Meßwerte zwischen beiden Methoden wurde erzielt.

3. Ergebnisse

3.1 Schwermetallgehalte in Federn in Abhängigkeit von ihrer Expositionszeit

Zum Probennahmezeitpunkt (während und nach der Brutzeit) hatte ein Teil der gefangenen Elstern bereits mit der Mauser der inneren Steuerfedern begonnen. In einigen Fällen standen am selben Individuum Federn unterschiedlichen Alters nebeneinander. Bei einer Elster aus dem Raum Stolberg war zum Zeitpunkt der Probennahme die rechte mittlere Steuerfeder (S_{1r}) gerade im Wachsen. Sie hatte ihre volle Länge noch nicht erreicht und die Basis der Feder befand sich noch in der Federscheide. Die linke mittlere Steuerfeder (S_{1l}) war im Gegensatz dazu voll ausgewachsen und, wie aufgrund der Abnutzung ersichtlich, bereits länger getragen, aber

noch kein Jahr alt. Für alle untersuchten Elemente sind die Gehalte der frisch vermauserten Feder um den Faktor 1,5-6, für Cd sogar 16 mal geringer als die Gehalte der »alten« Feder (Tab. 1).

Tab. 1. Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co-Gehalte in den mittleren Steuerfedern einer Elster aus Stolberg. Angaben in mg/kg.

Feder	Gesamt- länge cm	Feder- scheide cm	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	Co
S ₁ links	23,7	—	550,8	2,70	127,80	20,60	2,17	0,66
S ₁ rechts	8,1	4,4	217,3	0,17	21,7	4,51	1,48	0,15

Diese Beobachtung bestätigt sich an den Federn einer Elster aus Jülich. Bei diesem Vogel wurde die linke Schwanzhälfte wahrscheinlich nach einer Schreckmauser (z.B. im Zusammenhang mit einem Greifvogelangriff möglich) nachträglich erneuert. Die Gehalte der dabei erneuerten äußersten Steuerfeder (S₆l) sind wiederum deutlich geringer als die der rechten Seite (Tab. 2).

Tab. 2. Schwermetallgehalte in unterschiedlichen alten äußeren Steuerfedern einer Elster aus Jülich. Angaben in mg/kg.

Feder	Gesamt- länge cm	Feder- scheide cm	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	Co
S ₆ links	9,2	2,5	157,73	0,22	3,76	3,02	0,64	n.a.
S ₆ rechts	14,1	—	282,98	0,61	33,90	7,47	2,31	0,62

Wenn sich in Federn die endogen über die Nahrung aufgenommene Schwermetallbelastung widerspiegeln würde, so ließen sich diese extremen Unterschiede in Federn desselben Individuums, die zu verschiedenen Zeiten gewachsen sind, nur durch eine drastische Verbesserung der Belastungssituation in der Umgebung des Vogels erklären. Anhand der Immissionsdaten ließ sich jedoch keine zeitlich mit den Federbefunden korrelierbare Veränderung des Schwermetalleintrags erkennen. Bei der Berechnung der Korrelation zwischen Schwermetallimmissionen und Gehalten in den mittleren Elstersteuerfedern wurden unabhängig vom Standort erhebliche Unterschiede in den Schwermetallgehalten dieser Federn beobachtet, obwohl mit äußeren Steuerfedern der selben Vögel signifikante Korrelationen zur Immissionsrate gefunden worden waren mit folgenden Korrelationskoeffizienten (r): für Cadmium $r=0,74$ (N=26); Blei $r=0,89$ (N=26); Kupfer $r=0,88$ (N=25). Diese Diskrepanzen lassen sich mit dem Alter (d.h. der Expositionszeit) der Steuerfedern erklären: von den äußeren Schwanzfedern war zum Zeitpunkt der Probenziehung noch keine vermausert, sie waren also alle etwa gleich alt.

Teilt man die inneren Steuerfedern in zwei Altersklassen — ein Jahr alte und frisch vermauserte Federn — ein, lassen sich jeweils für beide Gruppen getrennt signifikante Korrelationen mit der Schwermetallimmission feststellen (siehe Tabelle 3).

Tab. 3. Beziehungen zwischen Schwermetallgehalten in frisch vermauserten bzw. ein Jahr alten mittleren Steuerfedern von Elstern (y) und den gemessenen Schwermetallimmissionsraten (x) (vgl. Abb. 2) — Lineare Regression bzw. Korrelation (r=Korrelationskoeffizient, r^2 =Bestimmtheitsmaß).

Anzahl Wertepaare	Regression	Korrelation r	r^2	Bezugssystem
S _f : frisch vermausert				
Pb 13	$y = 2,28 \times -33,05$	0,91	0,83	metr.
	$y = 1,40 \times -0,04$	0,90	0,82	log.
Cd 13	$y = 1,92 \times +0,24$	0,87	0,76	metr.
	$y = 0,95 \times +0,23$	0,82	0,66	log.
Cu 12	$y = 1,83 \times -12,12$	0,93	0,86	metr.
	$y = 0,88 \times +0,08$	0,77	0,59	log.
S ₁ : 1 Jahr getragen				
Pb 18	$y = 14,33 \times -191,44$	0,91	0,83	metr.
	$y = 1,49 \times +0,12$	0,89	0,79	log.
Cd 18	$y = 6,24 \times +0,65$	0,85	0,73	metr.
	$y = 0,80 \times +0,78$	0,59	0,35	log.
Cu 18	$y = 7,40 \times -17,71$	0,96	0,93	metr.
	$y = 1,08 \times +0,57$	0,78	0,61	log.

Für die Elemente Ni und Co lagen aus den entsprechenden Jahren keine Immissionsdaten vor. Zink als essentielles Spurenelement für den Aufbau der Federn zeigt keine deutliche Korrelation der Gehalte in den Federn zu den Immissionswerten. In Abbildung 2 sind die Blei-, Cadmium- und Kupfer-Gehalte der inneren Steuerfedern in Abhängigkeit von den Immissionswerten graphisch dargestellt. Frisch vermauserte Elstersteuerfedern sind bei gleicher Immissionsrate etwa um den Faktor 10 geringer belastet als ein Jahr alte Federn. Die beiden Regressionsgeraden verlaufen weitgehend parallel. Die Schwermetallgehalte in den Steuerfedern flügger Jungvögel lassen sich in dieser Regression den frisch vermauserten Steuerfedern der adulten Tiere zwanglos zuordnen.

Auch Steuerfedern unterschiedlicher Individuen aus einem eng begrenzten Areal zeigen eine deutliche Abhängigkeit ihrer Schwermetallgehalte von der Expositionszeit. Am westlichen Stadtrand von Jülich wurden in einem Gebiet von ca. 5 qkm zwischen dem 30. 6. 1985 und dem 15. 7. 1985 13 Elsterproben gezogen. Aus diesem Kollektiv wurden sieben Elstern ausgewählt, deren mittlere Steuerfedern zu diesem

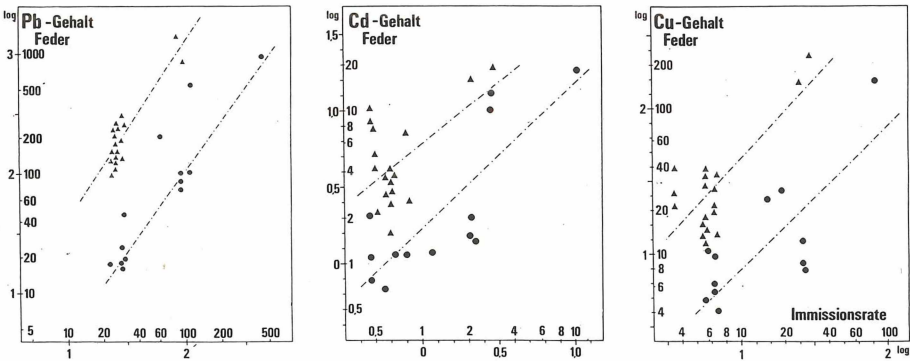


Abb. 2. Regressionen der Schwermetallgehalte der mittleren Steuerfedern von Elstern (mg Schwermetall/kg Feder) zu den gemessenen Immissionsraten im Bereich der Elstern-Aktionsräume (μg Schwermetall/ $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ als Jahresmittel) bei wenigen Wochen alten Federn von Altvögeln bzw. von flüggen Jungvögeln (●) und bei Federn, die ca. ein Jahr vom Vogel getragen wurden (▲). Daten aus den Jahren 1984 und 1985 im Immissionsgradienten Stolberg-Jülich.

Zeitpunkt im Wachsen begriffen waren. In Tabelle 4 sind neben den Schwermetallgehalten der mittleren Steuerfedern die Federlängen, die Fangdaten und der Anteil der Federbasen, die noch von der Federscheide umschlossen sind, angeben. Anhand dieser Angaben lassen sich die einzelnen Federn nach ihrem Alter (Expositionszeit)

Tab. 4. Schwermetallgehalte in noch wachsenden, inneren Steuerfedern von Elstern aus dem Raum Jülich geordnet nach Federlängen, Angaben in mg/kg.

Nr.	Fangdatum	Feder	Gesamt- länge cm	Feder- scheide cm	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	Co
1.	30. 6. 85	S ₁ l	18,0	4,1	180,5	0,27	5,16	6,20	0,48	0,16
		S ₁ r	18,2	4,1	211,0	0,09	6,30	4,13	0,46	0,16
2.	30. 6. 85	S ₁ l	18,5	4,5	201,9	0,17	7,29	4,15	0,80	0,27
		S ₁ r	18,6	4,5	219,1	0,17	6,10	4,15	0,46	0,27
3.	15. 7. 85	S ₁ l	21,2	4,3	268,3	0,21	7,75	3,43	0,56	0,15
		S ₁ r	21,1	4,3	290,2	0,22	7,44	4,30	0,51	0,21
4.	8. 7. 85	S ₁ l	21,5	3,0	200,5	0,48	11,20	14,54	n.a.	0,25
		S ₁ r	21,5	3,1	213,7	0,40	10,50	14,85	0,59	0,21
5.	4. 7. 85	S ₁ l	21,7	2,2	231,0	0,33	13,59	9,33	1,03	0,44
		S ₁ r	21,7	2,0	242,8	0,32	13,55	6,96	1,28	0,53
6.	15. 7. 85	S ₁ l	22,3	1,0	519,4	0,79	20,02	4,89	2,94	1,07
		S ₁ r	22,2	1,0	476,3	0,63	15,85	4,84	2,26	0,74
7.	15. 7. 85	S ₁ l	23,1	0,0	435,9	1,92	85,57	15,88	6,89	2,01

ordnen. Nach GAST (1984) wachsen Elsterschwanzfedern etwa 2,5 cm pro Woche. Für Blei und Cadmium sind die Schwermetallgehalte gegen die Federlängen in Abbildung 3 aufgetragen. Mit zunehmendem Alter der Feder nimmt ihr Schwermetallgehalt zu.

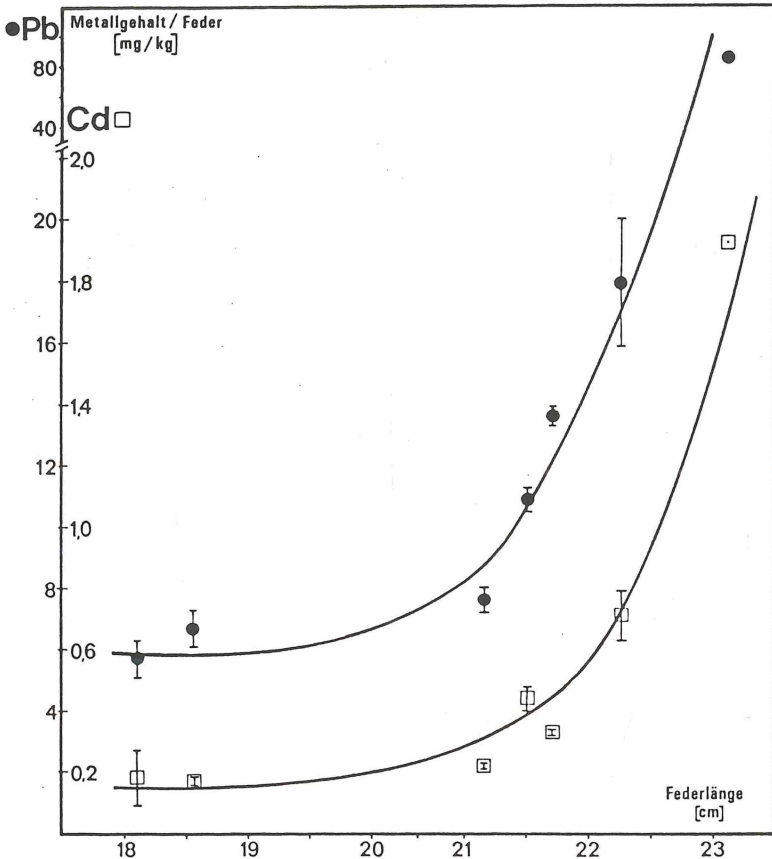


Abb. 3. Blei- und Cadmiumgehalte in wachsenden, mittleren Steuerfedern von Elstern in Abhängigkeit ihrer Länge. Bei wachsenden Federn ist die Federlänge proportional zum Alter bzw. der Expositionszeit der Feder. Dargestellt sind die Mittelwerte der Blei- und Cadmiumgehalte der beiden mittleren Steuerfedern mit ihren Standardabweichungen.

3.2 Schwermetallgehalte in Federn in Abhängigkeit der exponierten Fläche

Bei den Voruntersuchungen zur Standardisierung von Elsterfedern für ein Monitoring der Schwermetallbelastung von Landschaftssausschnitten wurden die in ihrer Elementzusammensetzung und Struktur unterschiedlichen Federteile Fahne und

Kiel getrennt untersucht, um zu klären welcher Federteil sich für derartige Untersuchungen besser eignet. Der überwiegende Teil der Schwermetallgehalte der Federn (70-95%) ist in den Federfahnen lokalisiert. Diese Verteilung entspricht nicht dem Gewichtsanteil der beiden Federteile am Gesamtgewicht der Feder (Kiel 40%, Fahne 60%). Federfahne und Federkiel wachsen zur gleichen Zeit und sind aus der gleichen Grundsubstanz, dem Keratin, aufgebaut. Geht man von einer endogenen Einlagerung der Schwermetalle in die Federn aus, so müßten in Fahne und Kiel ähnliche Schwermetallgehalte auftreten. Berücksichtigt man jedoch die im Vergleich zum Federkiel deutlich größere und »rauhere« Oberfläche der Federfahne, sind die gemessenen Unterschiede in den Schwermetallgehalten ein weiteres Indiz für die exogene Auflagerung der Schwermetalle auf die Feder.

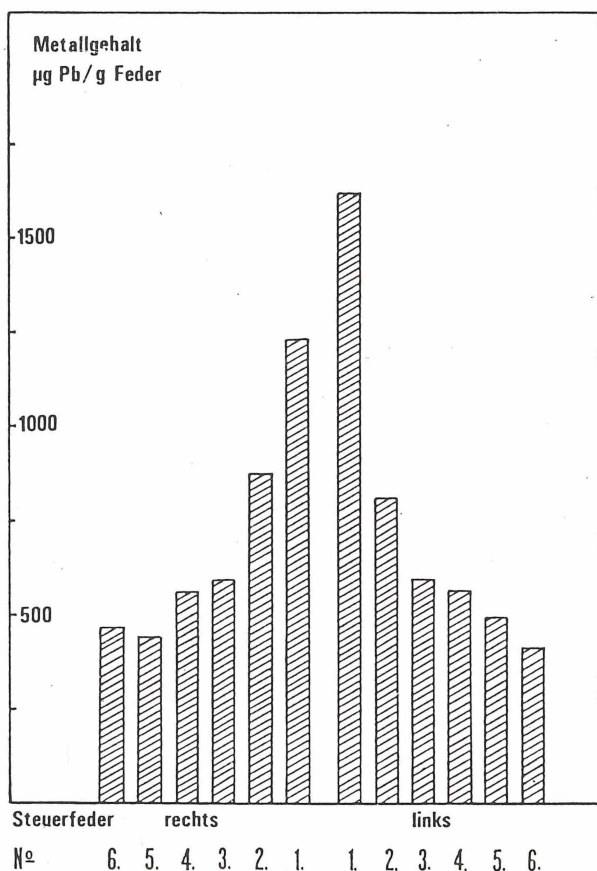


Abb. 4. Bleigehalte in ein Jahr alten Steuerfedern eines brütenden Elsterweibchens aus Stolberg, in direkter Nähe und Hauptwindrichtung des Emittenten. Die linke mittlere Steuerfeder überdeckt als »Firstfeder« bei zusammengelegtem Schwanz die rechte mittlere Steuerfeder und einen großen Teil der übrigen Federn.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Standardisierung von Federn wurden Hand-, Armschwingen und Steuerfedern auf Verteilungsmuster in der Schwermetallbelastung hin untersucht. Bei gleich alten Federn zeigt sich ein typisches, immer wiederkehrendes Belastungsmuster im Flügel bzw. im Stoß. Zur Zeit laufende Untersuchungen bestätigen diese Muster auch für ökologisch so unterschiedliche Arten wie Habicht (*Accipiter gentilis*) und Rabenkrähe (*Corvus corone corone*). Bereits von GAST (1984) an Elstern und ELLENBERG & DIETRICH (1982) an Habichten wurden diese Verteilungsmuster an Einzelbeispielen aufgezeigt.

Besonders in den Steuerfedern, die wir für unsere Regressionsberechnungen ausgewählt haben, tritt das gleiche Muster für alle untersuchten Elemente auf. Die höchsten Metallgehalte finden sich in den beiden mittleren Steuerfedern. Zu den äußeren Steuerfedern hin nimmt die Belastung ab (Abb. 4). Dieses Muster läßt sich auch an Standorten mit deutlich unterschiedlichen Immissionsbelastungen nachweisen.

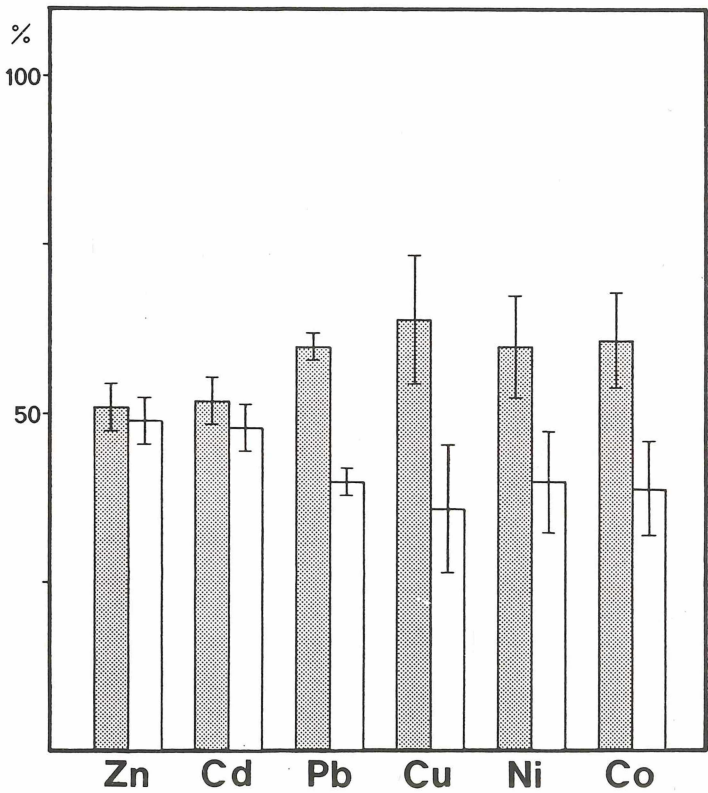


Abb. 5. Vergleich der Schwermetallgehalte von Außen- und Innenfahne in % des Gesamtgehaltes beider Federfahnen. Mittelwerte aus fünf Steuerfedern der rechten Schwanzhälfte einer Elster.
linke Säule: Gehalte in den Außenfahnen
rechte Säule: Gehalte in den Innenfahnen

Wenn das beobachtete Belastungsmuster im wesentlichen von der frei exponierten Fläche abhängig ist, muß sich das auch in den Verhältnissen der Schwermetallbelastung von Innen- und Außenfahne widerspiegeln. Die Außenfahne derselben Feder ist freier exponiert als die entsprechende Innenfahne, die in der Regel von der Außenfahne der nächststehenden Feder überdeckt wird. Die Außenfahne einer Feder muß deshalb relativ höhere Schwermetallgehalte aufweisen. Dies gilt nicht für die beiden mittleren Steuerfedern. Im zusammengelegten Schwanzgefieder einer Elster liegt eine dieser beiden Federn als »Firstfeder« obenauf (vgl. Abb. 1).

Für die Untersuchungen an Innen- und Außenfahnen wurden fünf Federn einer Schwanzhälfte entlang des Kieles in Innen- und Außenfahne getrennt und analysiert. Für alle Elemente weist die Außenfahne im Mittel höhere Gehalte auf als die Innenfahne. Besonders deutlich sind die Unterschiede bei Pb, Cu, Ni und Co (Abb. 5).

4. Diskussion

Nach der Keratinisierung d.h. der Differenzierung der die Federn aufbauenden Zellen besteht keine direkte Verbindung mehr über den Blutkreislauf oder andere physiologische Austauschvorgänge zwischen Organismus und Feder (STETTENHEIM 1972, SPEARMAN & HARDY 1985). Ausgewachsene Federn sind wie Haare von Säugetieren abgestorbene Teile des Integumentes.

Die Tatsache, daß sich die Schwermetallgehalte von Cd, Pb, Cu, Ni und Co zwischen ein Jahr alten und frisch vermauserten Federn des gleichen Individuums bei unveränderter Schwermetallimmissionsrate um mindestens eine Größenordnung unterscheiden, läßt es kaum möglich erscheinen, daß die in älteren Federn gemessenen Schwermetallgehalte die Belastung im Organismus während der Federbildung widerspiegeln. Es müssen Prozesse exogener Natur stattfinden, die den Anstieg der Schwermetallgehalte über die Zeit verursachen und dabei den sicherlich vorhandenen physiologisch erklärbaren Schwermetallgehalt der Feder weitgehend überlagern.

Aufgrund ihrer differenzierten Feinstruktur, der dadurch bedingten großen Oberflächen und ihres intensiven Kontaktes mit der Umwelt (Atmosphäre) bietet die Feder ein hervorragendes Fangsubstrat für den Auftrag exogener Schwermetallfrachten.

Die gemessenen Schwermetallgehalte an Cd, Pb, Cu, Ni und Co in Elsterfedern lassen sich als Funktion der Schwermetallimmission über die Expositionszeit (Alter der Federn) sowie in geringerem Maße als Funktion des Anteils der frei exponierten Federfläche erklären.

Die Zinkgehalte in Elsterfedern sind nicht wie die Gehalte der anderen untersuchten Schwermetalle auf überwiegend exogene Auflagerungen zurückzuführen. Zink ist ein essentielles Spurenelement und übernimmt beim Aufbau der Feder wichtige Funktionen (SUNDE 1972). Es kommt von Natur aus in relativ hohen Konzentrationen zwischen 100 und 200 mg/kg in Elsterfedern vor. Nur in Gebieten mit hohen Zinkimmissionen kann die exogen aufgelagerte Zinkfracht die natürlichen Gehalte überlagern. Im natürlichen »Rauschen« der Zinkgehalte gehen geringere exogene Zinkbelastungen unter.

ROSE & PARKER (1982) beschreiben den 7-20fachen Anstieg von Eisen-, Kupfer- und Nickelgehalten in Federn kanadischer Walddhühner (*Bonasa umbellus*) über ein Jahr. Sie zeigen, daß die gemessenen Schwermetallgehalte in den Federn gleichzeitig eine Funktion des in der Umwelt der Vögel stattfindenden Metalleintrages sowie ihrer Expositionszeit ist. Im Rahmen eines experimentellen Biomonitoring wurden einzelne, ausgerupfte Federn in unterschiedlichen Entfernungen zu einem Emittenten exponiert. Es wurde ein in Abhängigkeit von der Distanz unterschiedlich starker Anstieg der Schwermetallgehalte in den exponierten Steuerfedern für die Elemente Cu, Fe und Arsen festgestellt (BECKETT & PARKER 1985). Dieser Befund zeigt, daß z.B. die Putz-Aktivität des lebenden Vogels für die beobachteten Konzentrationsanreicherungen nicht von wesentlicher Bedeutung zu sein scheint.

Untersuchungen zur Eignung von Federn als Biomonitoren zur Erfassung der Schwermetallbelastung wurden im niederländischen Wattenmeer an verschiedenen Limikolenarten durchgeführt (GOEDE & DE BRUIN 1984, 1985, GOEDE 1985, GOEDE & DE VOGT 1985). Das Untersuchungsgebiet ist Hauptüberwinterungs- und Mauergebiet für diese überwiegend arktischen Vogelarten. Die Autoren konnten einen Anstieg verschiedener Schwermetallgehalte in frisch vermauserten Federn über die Zeit feststellen. So steigt der Bleigehalt in Federfahnen juveniler Knutts (*Calidris canutus*) nach deren Ankunft im Überwinterungsgebiet innerhalb zweier Monate auf das 5- bis 15fache der Ausgangswerte an.

Der Anstieg der Schwermetallgehalte in frisch vermauserten Elsterfedern über die Zeit findet in einer ähnlichen Größenordnung wie der beobachtete Anstieg der Schwermetallgehalte in den Federn kanadischer Walddhühner und in Federn der im niederländischen Wattenmeer überwinternden Limikolenarten statt.

Wenn die Schwermetallgehalte in Federn fast ausschließlich auf exogene Schwermetallkontaminationen zurückzuführen sind, stellt sich die Frage, in welcher Form die Schwermetalle in und/oder auf der Feder gebunden werden. Die durch ihre Feinstruktur bedingte große Oberflächenrauigkeit der Federfahne legt die Vermutung nahe, daß die Schwermetallgehalte in den Federn durch grobe Oberflächenverunreinigungen wie Sand- und Schmutzpartikel verursacht werden. Dagegen sprechen folgende Beobachtungen:

- Zwischen mit Aceton abgespülten und ungewaschenen Elsterfedern lassen sich keine deutlichen Unterschiede in den untersuchten Schwermetallgehalten aufzeigen (HAHN in Vorber.).
- Selbst intensive Waschverfahren können die gesamte exogene Schwermetallkontamination in Amselfedern nur teilweise entfernen (WEYERS et al. in Vorber., vgl. auch BAUMGARDT 1982).
- Bei der direkten Exposition frischvermauselter Feder in mit suspendiertem Material reichem Meerwasser stellten GOEDE & DE BRUIN (1984) keinen Anstieg der Gehalte an Cd, Se und Pb fest.
- Die gemessenen Unterschiede in den Schwermetallgehalten von Innen- und Außenfahnen lassen vermuten, daß die Schwermetalle an den Federfahnen so fest gebunden sind, daß sie durch tägliches Putzen nicht auf beide Fahnentile gleichmäßig verteilt werden können.

Wir nehmen deshalb an, daß die Schwermetalle mittels anderer Mechanismen und in anderer Form als durch Adsorption grober Schmutzpartikel an bzw. in Federn gebunden werden. Inwieweit das Einfetten der Federn mit den arteigenen Bürzeldrüsenlipiden (POLTZ & JAKOB 1974, JAKOB 1977) die Schwermetallaufnahme der Federn beeinflußt oder ob chemische Bindungen zwischen Keratin und Schwermetallen existieren, ist von großem Interesse für den Einsatz von Federn als Biomonitoren. Hier müssen weitere Untersuchungen ansetzen.

Darüberhinaus ist zu prüfen, inwieweit sich Federn als Indikatoren für die Belastung mit anderen luft-transportierten Schadstoffen, z.B. mit organischen Verbindungen, eignen. Erste Untersuchungen von Elsternfedern auf Gehalte an polyzyklischen Aromaten (PAH's) versprechen auch in dieser Hinsicht interessante Ergebnisse. Angesichts aller oben diskutierten und belegten Zusammenhänge sei abschließend folgende Bewertung erlaubt:

Trotz ihres relativ zu anderen Schwanzfedern geringen Schwermetallgehaltes erweisen sich unter den gegebenen Probennahmebedingungen (Fangaktion von Mai bis August) die äußeren Schwanzfedern als am besten geeignet für die Verwendung als Biomonitoren der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten in der Praxis. Sie haben die geringste Variabilität in den individuellen und zeitbedingten Schwermetallgehalten und ermöglichen deshalb einen unkomplizierten Vergleich verschiedener Gebiete bezüglich des mittleren Schwermetalleintrags.

Literatur

- BÄHRMANN, U. (1968): Die Elster (*Pica pica*). Neue Brehm Bücherei. Wittenberg Lutherstadt. — BERG, W., A. JOHNELS, B. SJOSTRAND & T. WESTERMARK (1966): Mercury content in feathers of Swedish birds from the past 100 years. *OIKOS* 17: 71-83. — BAUMGARDT, B. (1982): Inversvoltametrische Bestimmung von Elementspuren in organischer Matrix — Untersuchungen am Beispiel der Schwermetallkontamination von Kohlmeisenfedern. Diplomarbeit. Universität Bochum 113 S. — BECKETT, P. J. & G. H. PARKER (1985): Feathers, mossbags and mammalian hair: Prospects for biomonitoring atmospheric metal burdens. In T. D. LEKKAS (Ed.): Heavy metals in the environment. International Conference, Athens, Sept. 1985. — BREITSCHWERT, G. (1984): Die Kohlmeise als Biomonitor für die Schwermetallbelastung der Umwelt. Diplomarbeit. J. W. Goethe Universität Frankfurt. F. B. Biologie. — BUB, H. (1985): Kennzeichen und Mauser europäischer Singvögel. Allgemeiner Teil. Neue Brehm Bücherei. A. Ziemsen Verlag. Wittenberg Lutherstadt. — DIETRICH, J. (1982): Zur Ökologie des Habichts im Stadtverband Saarbrücken, Diplomarbeit Univ. des Saarlandes. — DIETRICH, J. & H. ELLENBERG (1986): Habichtmauserfedern als hochintegrierend, standardisierte Umweltproben. *Verh. Ges. Ökologie* 14: 413-426. — DOI, R. & Y. FUKUYAMA (1983): Metal content in feathers of wild and zoo-kept birds from Hokkaido 1976-1978. (1983): *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 31: 1-8. — EDWARDS, R. W. & K. E. SMITH (1984): Exploratory experiments on the stability of mineral profiles of feathers. *J. Wild. Mangm.* 48: 853-865. — ELLENBERG, H. (1981): Großtiere urbaner Ökosysteme, ein Projekt. *Verh. Ges. Ökologie* 291-295. — ELLENBERG, H. (1982): Was ist ein Bioindikator? — Sind Greifvögel Bioindikatoren? — In: H. E. (Herausg.), Greifvögel und Pestizide. Versuch einer Bilanz für Mitteleuropa. *Ökol. Vögel* 3, Sonderheft: 83-99. — ELLENBERG, H. & J. DIETRICH (1982): The Goshawk (*Accipiter gentilis*) — a pollution monitor? — Symposium »Understanding the Goshawk«, Oxford 30.9.—2.10.1981. Ed.: R. E. KENWARD, I. LINDSAY, Inst. Ass. Falconry, Conserv. Birds of Prey, Dept. Zoology Univ. Oxford: 69-87. — ELLENBERG, H., J. DIETRICH, M. STOEPLER & H. W. NÜRNBERG (1985): Environmental monitoring of heavy metals with birds as pollution integrating biomonitors I: Introduction, definitions and practical examples for Goshawk (*Accipiter gentilis*). In T. D. LEKKAS (Ed.): Heavy metals in the environment. Int. Conf., Athen, Sept.

1985. Vol. 1: 724-726. Publ.: CEP Consultants LTD: Edinburg, UK. — ELLENBERG, H., J. DIETRICH, F. GAST, E. HAHN, R. MAY (1986a): Vögel als Biomonitoren für die Schadstoffbelastung von Landschaftsausschnitten — ein Überblick. Verh. Ges. Ökol. 403-412. — ELLENBERG, H., J. DIETRICH, M. STOEPLER & H. W. NÜRNBERG (1986b): Habichtmauserfedern als hochintegrierende Biomonitoren für die Schadstoffbelastung von Landschaftsausschnitten. Allg. Forstzeitschr. 1986 (1/2): 23-25. — GAST, F. (1984): Die Elster (*Pica pica*) als Biomonitor für die Belastung von Nahrungsnetzen durch Umweltchemikalien. Ein Beitrag zur Methodik der Umweltüberwachung am Beispiel des Stadtverbandes Saarbrücken. Diss. Univ. d. Saarlandes. 198 S. — GOEDE, A. A. (1985): Mercury, Selenium, Arsenic and Zinc in Waders from the Dutch Wadden Sea. Environm. Poll. (Series A) 37: 287-309. — GOEDE, A. A. & M. DE BRUIN (1984): The use of bird feather parts as a monitor for metal pollution. Environm. Poll. (Series B) 8: 281-298. — GOEDE, A. A., M. DE BRUIN (1985): Arsenic in the Dunlin (*Calidris alpina*) from the Dutch Wadden Sea. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 34: 617-623. — GOEDE, A. A. & P. DE VOOGT (1985): Lead and Cadmium in Waders from the Dutch Wadden Sea. Environm. Poll. (Series A) 37: 311-322. — HAHN, E. (1982): Warum eignet sich der Waldkauz (*Strix aluco*) als Bioindikator für die spezielle Schadstoffbelastung eines Raumes? Seevögel, Sonderband 1982: 161-165. — HAHN, E. (1984): Welche der mitteleuropäischen Eulenarten eignet als Biomonitor? Diplomarbeit. Univ. d. Saarlandes 249 S. — HAHN, E., H. ELLENBERG, P. OSTAPCZUK & M. STOEPLER (1985): Environmental monitoring of heavy metals with birds as pollution integrating biomonitors II: Cadmium, Lead and Copper in magpie (*Pica pica*) feathers from a heavily polluted and a control area. In: T. D. LEKKAS (Ed.): Heavy metals in the environment. Int. Conf. Athen Sept. 1985. Vol. 1: 721-723. — HAHN, E. (in Vorber.): Elsterfedern als Biomonitoren für die Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten. Diss. Univ. Bonn. — JACOB, J. (1977): Bürzeldrüsenlipide. Fortschr. Chem. Org. Naturst. 34: 373-438. — JENSEN, S., A. G. JOHNELS, M. OLSSON & T. WESTERMARK (1972): The avifauna of Sweden as indicator of environmental contamination with mercury and chlorinated hydrocarbons. Proc. Int. Orn. Congr. 15: 455-465. — KELSALL, J. P. & R. BURTON (1979): Some problems in identification of origins of lesser snow geese by chemical profiles. Can. J. Zool. 57: 2292-2302. — KOOIKER, G. (1984): Schwermetalluntersuchungen in Eiern und Federn von Elstern (*Pica pica*) mit Bezug zu Landnutzungsparametern. Diplomarbeit Univ. Osnabrück 112 S. — MAY, R. & H. ELLENBERG (1985): Ein Freilandexperiment zur Ökologie der Schadstoffkontamination von Vögeln und Folgerungen für die Verwendung von Organismen als Biomonitoren. Ökol. Vögel 7: 97-112. — MÜLLER, P., K. DMOWSKI, F. GAST, E. HAHN & G. WAGNER (1984): Zum Problem der Bioindikation von standortspezifischen Schwermetallbelastung mit Vogelfedern. Wissenschaft u. Umwelt 3: 139-144. — NACHTIGALL, W. (1985): Warum die Vögel fliegen. Hamburg, Zürich — Rasch & Röhrig. 224 S. — NÜRNBERG, H. W., P. VALENTA, V. D. NGUYEN, M. GOEDDE & URANO DE CARVALHO (1984): Studies on the deposition of acid and ecotoxic heavy metals with precipitates from the atmosphere. Fresenius Z. Anal. Chem. 37: 314-323. — OSTAPCZUK, P., M. GOEDDE, M. STOEPLER & H. W. NÜRNBERG (1984): Kontroll- und Routinebestimmung von Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co mit Differentieller Pulsvoltammetrie in Materialien der Deutschen Umweltprobenbank. Fresenius Z. Anal. Chem. 317: 252-256. — PARRISH, R. J., D. T. ROGERS & F. B. WARD (1983): Identification of natal locales of peregrine falcons (*Falco peregrinus*) by trace-element analysis of feathers. Auk 100: 560-567. — POLTZ, J. & J. JAKOB (1974): Die Bürzelsekrete von Eichelhäher (*Garrulus glandarius*), Elster (*Pica pica*), Alpendohle (*Pyrrhocorax graculus*) und Kolkrahe (*Corvus corax*). Z. Naturforsch. 29c: 239-249. — PORTMANN, A. (1984): Vom Wunder des Vogel-lebens. Piper München. 219 S. — RANTA, W. B., F. D. TOMASSINI & E. NIEBOER (1978): Elevation of copper and nickel levels in primaries from black and mallard ducks collected in the Sudbury district, Ontario. Ca. J. Zool. 56: 581-586. — ROSE, A. G. & G. H. PARKER (1982): Effects of smelter emission on metal levels in plumage of ruffed grouse near Sudbury, Ontario, Canada. Can. J. Zool. Vol. 60: 2659-2667. — RUTSCHKE, E. (1960): Untersuchungen über die Wasserfestigkeit und Struktur des Gefieders von Schwimmvögeln. Zool. Jahrb. Abt. Syst. 87: 441-506. — RUTSCHKE, E. (1965): Funktionell-Morphologische Studien an der Außenfahne von Schwungfedern. Mitt. Zool. Museum Berlin 41: 59-80. — SCANLON, P. F. R. G. ODERWALD, F. J. DIETRICK & J. L. COGGIN (1980): Heavy metal concentrations in feathers of ruffed grouse shot by Virginia hunters. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 25: 947-949. — SICK, H. (1937): Morphologisch-Funktionelle Untersuchungen über die Feinstruktur der Vogelfeder. J. Orn. 85: 206-372. — SPEARMAN, R. & J. A. HARDY (1985): Integument. In: Form and function in birds. Vol. 3. Ed. A. S. KING & McLELLAND. Academic Press. 1-56 pp. — STETTENHEIM, P. (1972): The integument of birds.

In: Avian biology. Vol. 2, Ed.: FARNER, D. S., J. R. KING & K. C. PARKES. Academic Press. New York and London. 1-63 pp. — SUNDE, M. L. (1972): Zinc requirement for normal feathering of commercial leghorn-type pullets Poultry Sci., 51, 1316-22. — WEYERS, B., E. GLÜCK & M. STOEPLER (1988): Investigation of the significance of heavy metal contents in Blackbird feather. (In preparation). — VALENTA, P. & V. D. NGUYEN (1986): Trends of heavy metal pollution by wet deposition in the Federal Republic of Germany during 1980-1984. In: Atmospheric pollutants in forest areas. H. W. GEORGI (Ed.), D. Reidel Publishing Company: 69-78 pp.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Ökologie der Vögel. Verhalten Konstitution Umwelt](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Hahn Edmund, Ostapczuk Peter, Stoeppler Markus,
Ellenberg Hermann

Artikel/Article: [Schwermetalle in Elsternfedern — Zur Frage nach den Anteilen von exogener und endogener Einlagerung in die Federn bei Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt 265-281](#)