

LUSCINIA	45	Heft 1/2	Seite 23-61	Frankfurt/M. 1983
----------	----	----------	-------------	----------------------

Zum Eisen- Blei- und Zinkgehalt in Eiern von
Kohlmeisen (*Parus major*), Blaumeisen (*Parus
caeruleus*) und Feldsperling (*Passer montanus*)

von Thomas Köth

Herrn Professor Doktor Peter Rietschel zum
80. Geburtstag gewidmet.

1. EINLEITUNG

1.1. Fragestellung

Mit dem Erscheinen ihres Buches "Der stumme Frühling" im Jahr 1962 dokumentierte Rachel CARSON erstmals populärwissenschaftlich, welche Gefahren der Vogelwelt und letztlich auch dem Menschen durch den ungehemmten Einsatz von Pestiziden drohen.

Einer breiten Öffentlichkeit wurden zum ersten Mal Begriffe wie "Ökologische Zusammenhänge und Kreisläufe" und vor allem auch der Begriff des "Bioindikators" anschaulich dargelegt. Nach einigen Jahren wurde in einigen Ländern ein Anwendungsverbot für z.B. DDT ausgesprochen.

Für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland kommt BERTHOLD (1973) zu dem Schluß: "Rachel CARSON hat uns den 'Stummen Frühling' prophezeit; der 'leise Frühling' hat bereits Einzug gehalten" (BERTHOLD 1973, S. 31).

Die der Vogelwelt drohenden Gefährdungen durch den Menschen wurden einem breiten Publikum durch das Buch "Rettet die Vögel" von STERN, THIELCKE, VESTER & SCHREIBER (1978) vor Augen geführt. Auch hier wurde die BIOINDIKATORfunktion der Vögel im Hinblick auf die Gefährdung des Menschen durch Umweltgifte ausführlich beschrieben und problematisiert.

Eine zusammenfassende Darstellung über die Wirkungen von Pestiziden und die Brutphysiologie findet sich bei PRINZINGER & PRINZINGER (1979).

CONRAD (1977) legte mit 457 untersuchten Eiern von 19 einheimischen Vogelarten die bisher umfangreichste Schadstoffuntersuchung (Pestizide und polychlorierte Biphenyle) vor.

Auch die Wirkungen der Schwermetalle (alle Metalle, die sich im Periodensystem hinter dem Element Kalzium befinden. Definition nach LUCKEY et al. (1975, S. 7)) als Umweltgifte stehen seit einiger Zeit im Brennpunkt des öffentlichen Interesses, nachdem es in Japan vor einigen Jahren zu massiven Quecksilber- und Kadmiumvergiftungen bei Menschen kam /vgl. BERTHOLD S. 31).

Inzwischen liegt eine Fülle von Untersuchungen über Schwermetallrückstände in Vögeln vor, z.B. Quecksilbervergiftungen bei Vögeln in Schweden (JOHNELS, TYLER & WESTMARK, 1979), Blei in Staren in den USA (MARTIN 1972 und MARTIN et al. 1973), Kadmium in Seevögeln (ZUNK 1980) oder Schwermetalle im Ökosystem eines Stausees (HÖLZINGER 1977).

Untersuchungen an Vogeleiern sind auch durchgeführt worden.

Aus den USA liegt eine Veröffentlichung von KRANTZ et al. (1970) über Schwermetallrückstände in Eiern des Weißkopfschneehals (Haliaeetus leucocapillus) und von SNYDER et al. (1973) über Schwermetallbelastungen in Eiern des Cooper's hawk (Accipiter cooperi) vor.

Aus der Bundesrepublik Deutschland ist mir nur die Veröffentlichung des BAYRISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ (BLFU) (1979) bekannt. Es wurden Eier von Amseln (Turdus merula) aus verschiedenen Lebensräumen Münchens (Großstadt-Innenstadt, Großstadt-Parkgebiet und stadtfernes Gebiet) untersucht.

Bei allen Untersuchungen an Eiern wildlebender Vögel wurden nur verhältnismäßig wenige Proben analysiert (nie mehr als 25).

Hühnereier, die zum menschlichen Verzehr bestimmt sind, wurden im Auftrag des BUNDESGESUNDHEITSAMTES untersucht (BUNDESGESUNDHEITSBLATT 1979).

Bei allen Eieruntersuchungen wurden nur wenige Elemente untersucht. Auch wurden nie toxologische Bewertungen der gefundenen Ergebnisse durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil eines Programms zur Erforschung der Ökologie von Höhlenbrütern, mit dem die ornithologische Arbeitsgruppe um Dr. K.-H. Schmidt/Schlüchtern seit einigen Jahren befaßt ist.

In ausgewählten Gebieten werden aufgehängte künstliche Nisthöhlen ganzjährig und regelmäßig kontrolliert. Außerdem finden an Futterstellen in den Monaten August bis März Japannetzfänge statt. (Die genaue Methodik ist bei SCHMIDT (1979) beschrieben).

Teilergebnisse dieses Untersuchungsprogramms sind schon veröffentlicht (z.B. SCHMIDT 1976, STEINBACH et al. 1980, SCHMIDT & HAMANN 1983, BERRESSEM & BERRESSEM et al. 1983).

Die erwähnten Kontrollgebiete befinden sich vorwiegend im Raum Schlüchtern (ca. 75 km nordöstlich von Frankfurt a. M.).

Mit der Einrichtung von Kontrollgebieten im Stadtgebiet von Frankfurt wurde eine Fülle von neuen Fragestellungen aufgeworfen (vgl. STEINBACH et al. 1980, S. 199).

Es stellte sich bald heraus, daß bei den untersuchten Parametern zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Gebieten im Raum Schlüchtern und denen im Stadtgebiet von Frankfurt auftraten.

Es liegen inzwischen erste vergleichende Untersuchungen über die Futterfrequenz bei Kohlmeisen (REICHARDT 1980), zur Populationsdynamik (KÜMMEL 1980) und zur Brutbiologie vor (BERRESSEM 1982, STEINBACH et al. 1980 und BERRESSEM et al. 1983).

Damit wird in der vorliegenden Arbeit als Hauptpunkt zu diskutieren sein, ob sich Unterschiede in den Schwermetallrückständen der Vogeleier zwischen den Gebieten feststellen lassen. Auch kann auf mögliche Unterschiede in der Schwermetallbelastung zwischen den Vogelarten eingegangen werden.

Eine direkte Vergleichsmöglichkeit der bei dieser Arbeit gefundenen Werte besteht nicht, da noch keine mir bekannte Schwermetallanalysen an vergleichbaren Vogelarten oder Kleinvögeln überhaupt vorliegen. Daher wurden, wie auch auf Grund begrenzter Mittel, die gut nachweisbaren Elemente Eisen (Fe), Blei (Pb) und Zink (Zn) für die Untersuchung ausgewählt.

Eisen und Zink sind essentielle Spurenelemente (vgl. LUCKEY et al. 1975), Blei dagegen ist ein auf Lebewesen toxisch wirkendes Metall (vgl. GRIFFEN & KNELSON 1975). (KIRCHGESSNER & REICHLMAYR-LAIS (1982) finden Hinweise, daß Blei doch eine essentielle Funktion im Stoffwechsel haben könnte). Für die Bleiwerte wird daher insbesondere festzustellen sein, ob sich im Rahmen einer Bioindikation ein MONITOREFFEKT ergibt.

Da die Begriffe BIOINDIKATOR und MONITOR im Zusammenhang mit Schadstoffen (z.B. Schwermetalle und Pestizide) immer wieder genannt werden, soll kurz eine Definition gegeben werden:

NEUMANN & BICK (1982) definieren diese Begriffe wie folgt:

"So kann man von Zeigerarten oder Indikatoren im engeren Sinn sprechen, wenn an einem Freilandort der Rückgang oder die Zunahme einer Art oder Artengruppe mit bestimmten Biotopveränderungen, Klimaänderungen oder Schadstoffwirkungen zu korrelieren ist. Des weiteren können Organismen als MONITOR für bestimmte Schadstoffe in der Umwelt dienen, indem sie deren Spuren in sich anreichern, ohne hierdurch selbst in ihrer Vitalität - wenigstens in einem gewissen Bereich - beeinträchtigt zu sein" (NEUMANN & BICK 1982, S. 1).

Für Laborzwecke können ferner Testorganismen eingesetzt werden (vgl. NEUMANN & BICK).

Eine differenzierte Ausführung zum Begriff des MONITORS gibt BICK (1982, S. 3):

"Monitororganismen sind Arten, die zur qualitativen und quantitativen Erfassung speziell von Schadstoffen eingesetzt werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Akkumulationsindikatoren und Wirkungsindikatoren.

Akkumulationsindikatoren können solche Arten genannt werden, die Schwermetalle, Chlorkohlenwasserstoffe oder andere Stoffe im Körper anlagern und gegebenenfalls anreichern.

Wirkungsindikatoren erlauben das Erkennen von schadstoffspezifischen Wirkungen und können damit Hinweise auf Typ und Konzentration eines Schadstoffes geben.

Monitororganismen werden entweder dem zu untersuchenden Ökosystem entnommen oder nach standardisierten Verfahren dem System zugefügt. Der Gebrauch von Monitororganismen hat besondere Bedeutung im Umweltschutz."

Die von ELLENBERG (1982) aufgestellten Kriterien für Vögel als Bioindikatoren müssen bei der Beurteilung der Werte für die Vogelarten berücksichtigt werden.

Für die jahrelange ornithologische Betreuung und anregende Diskussionen möchte ich besonders Herrn Dr. K.-H. Schmidt/Schlüchtern danken. Ihm und seiner Arbeitsgruppe gebührt auch der Dank für die Hilfe beim Einsammeln der Eier.

Die Schwermetallanalysen wurden erst durch die bereitwillige Unterstützung seitens Herrn Jaeschkes und Herrn Berresheims vom "Zentrum für Umweltschutz" an der Universität Frankfurt ermöglicht. Herrn Berresheim habe ich auch für die Hilfe bei der Ausarbeitung der Untersuchungsmethode und die Einweisung am Analysegerät zu danken. In Fragen der Statistik standen mir Herr Georgi sowie Frau Reichardt und Frau Junk sowie Herr Juergens hilfreich zur Seite.

1.2. Abkürzungen

Vogelarten:

KM = Kohlmeise	(Parus major)
BM = Blaumeise	(Parus caeruleus)
TM = Tannenmeise	(Parus ater)
TS = Trauerschnäpper	(Ficedula hypoleuca)
FSP = Feldsperling	(Passer montanus)

Kontrollgebiete:

Raum Schlüchtern

1. "Paradiesweiher"	PAW
2. "Schlüchtern Drasenberg"	SLDB
3. "Sterbfritz Steinbruch"	SFSB
4. "Steinau Hermes"	STHE
5. "Salmünster Happel"	SAHP

Stadtgebiet Frankfurt

6. "Frankfurt Ginnheimer Wäldchen"	FGW
7. "Frankfurt Palmengarten"	FPALM
8. "Frankfurt Botanischer Garten"	FBOT
9. "Frankfurt Hauptfriedhof"	FHF
10. "Frankfurt Zoo"	ZOO
11. "Frankfurt Berger Hang"	FBH

Gebiete 1 - 5 : SLÜ

Gebiete 6 - 11 : FFM

Gebiete 1 - 11 : ALLE

AAS: Atomabsorptionsspektroskopie

ppm: parts per million µg/g

2. MATERIAL UND METHODE

2.1. Herkunft der untersuchten Eier

Zur Untersuchung gelangten Eier von Kohlmeisen (*Parus major*), Blaumeisen (*Parus caeruleus*), Tannenmeisen (*Parus ater*), Trauerschnäppern (*Ficedula hypoleuca*) und Feldsperlingen (*Passer montanus*) aus den Jahren 1977, 1980 und 1981.

Es wurden Eier von aufgegebenen Gelegen eingesammelt. Ein anderer Teil der untersuchten Eier stammt von Brutern, bei denen sich nach dem Ausfliegen der Jungvögel noch Eier im Nest befanden.

Die Eier stammen aus folgenden Kontrollgebieten:

Gebiete aus dem Raum Schlüchtern:

- 1 "Paradiesweiher" (PAW)
- 2 "Schlüchtern Drasenberg" (SLDB)
- 3 "Sterbfritz Steinbruch" (SFSB)
- 4 "Steinau Hermes" (STHE)
- 5 "Salmünster Happel" (SAHP)

Aus dem Bereich der Stadt Frankfurt:

- 6 "Frankfurt Ginnheimer Wäldchen" (FGW)
- 7 "Frankfurt Palmengarten" (FPALM)
- 8 "Frankfurt Botanischer Garten" (FBOT)
- 9 "Frankfurt Hauptfriedhof" (FHF)
- 10 "Frankfurt Zoo" (ZOO)
- 11 "Frankfurt Berger Hang" (FBH)

2.2. Gebietsbeschreibungen und Anzahl der untersuchten Eier pro Vogelart

2.2.1. "Paradiesweiher"

"Heller Eichen-Rotbuchen-Mischwald mit geringem Rotbuchenanteil, gut entwickelte Kraut- und Strauchschicht - flächige Nistkastenaufhängung, 180 Kästen" (SCHMIDT 1979)

Kohlmeise:	18
Blaumeise:	10
Feldsperling:	4

2.2.2. "Schlüchtern Drasenberg"

Das Kontrollgebiet Drasenberg ist etwa 350 m hoch gelegen und mit 79 Nistkästen ausgehängt. Es ist ein Rotbuchenhallenwald mit geringem Fichtenanteil (siehe auch STEINBACH et al. 1980)

Kohlmeise:	16
Blaumeise:	2

2.2.3. "Sterbfritz Steinbruch"

"Heller Schwarzkiefernwald mit geringen Fichten- und Rotbuchenanteilen, gut entwickelte Kraut- und Strauchschicht - flächige Nistkastenaufhängung, 97 Kästen" (SCHMIDT 1979)

Kohlmeise:	5
Tannenmeise:	3
Trauerschnäpper:	2

2.2.4. "Steinau Hermes"

"Fichten-Lärchen-Rotbuchen-Mischwald mit geringem Buchenanteil, unterschiedliche Lichtverhältnisse, unterschiedlich entwickelte Kraut- und Strauchschicht - lineare Nistkastenaufhängung, 59 Kästen " (SCHMIDT 1979).

Kohlmeise:	12
Blaumeise:	8

2.2.5. "Salmünster Hoppel"

Es handelt sich um einen nordost-exponierten Wald, der als Fichtenmonokultur zu charakterisieren ist. Die 99 Nistkästen sind linear angeordnet (SCHMIDT mündl.).

Kohlmeise:	23
------------	----

2.2.6. "Frankfurt Ginnheimer Wäldchen"

Dieses Untersuchungsgebiet (Größe 7,5 ha) liegt im Niddatal und ist ein Eichen-Hainbuchen- Wald mit gut ausgebildeter Krautschicht. Die Strauchschicht fehlt nur an wenigen Stellen. Es wird forstwirtschaftlich nicht genutzt. Die 100 Nistkästen hängen in rd. 2,6 m Höhe und sind flächig angeordnet.

Das Wäldchen ist von den Frankfurter Stadtteilen Ginnheim, Hausen, Praunheim und Römerstadt umgeben. Jedoch liegen zwischen dem Ginnheimer Wäldchen und den Wohngebieten Felder, Kleingärten und das in Anfängen fertiggestellte Erweiterungsgelände des Zoologischen Gartens Frankfurt. Die Entfernung zwischen Waldrand und Wohngebieten schwankt zwischen ca. 150 - 500 m. An seiner östlichen Seite wird das Ginnheimer Wäldchen von der stark befahrenen "Rosa-Luxemburg-Straße" tangiert (vgl. KÜMMEL 1980).

Kohlmeise:	13
Blaumeise:	5
Feldsperling:	1

2.2.7. "Frankfurt Palmengarten"

"Der Palmengarten der Stadt Frankfurt (Größe ca. 30 ha) ist als Parkanlage und Schaugarten zu bezeichnen. Innerhalb des Palmengartens findet man eine lockere Bebauung durch Palmenhaus, Betriebshof, Verwaltungsgebäude, Gewächshäuser u.a. vor. Weiterhin sind Teichanlagen, Tennisplätze und Kinderspielflächen vorhanden. Der Palmengarten wird im Westen und Norden von der stark befahrenen Zeppelin- und Miquelallee begrenzt, während im Osten und Nordosten weitere größere Grünflächen (Botanischer Garten und Grüneburgpark) vorhanden sind.

In den Sommermonaten finden sich z.T. bis zu 15000 Besucher täglich im Palmengarten ein. Die 105 Nistkästen sind flächig angeordnet, aber wegen der besonderen Struktur des Palmengartens nicht regelmäßig verteilt " (STEINBACH et al. 1980).

Kohlmeise:	8
Blaumeise:	11
Feldsperling:	7

2.2.8. "Botanischer Garten"

Im Botanischen Garten hängen 20 Nistkästen, die wie im Palmengarten angeordnet sind. Der mit Eichen-Hainbuchen-Wald sowie Kiefern- und Birkenwald bestandene Teil grenzt unmittelbar an den Palmengarten.

Kohlmeise:	10
------------	----

2.2.9. "Frankfurt Hauptfriedhof"

"Es handelt sich um ein ca. 78 ha großes Areal innerhalb Frankfurts, das von allen Seiten von stark befahrenen Straßen begrenzt wird. Etwa 2/3 der Fläche des Hauptfriedhofs ist mit Nistkästen (Typ: Schwegler) ausgehängt. Die Nistkästen sind flächig verteilt. Der Abstand zwischen den Nistkästen beträgt etwa 25 -30 m.

Der Hauptfriedhof ist ein parkartiges Gelände mit teilweise sehr altem Laubbaumbestand und hohem Nadelwaldanteil (vor allem Fichten und Eiben). Weiterhin ist eine gut ausgebildete Strauchschicht zwischen den Grabreihen vorhanden. Neben relativ dichten und dunklen Gebieten kommen solche mit lichtem Baumbestand und Rasenflächen vor. Die 334 Nistkästen hängen in Augenhöhe, d.h. etwa 1,7 m hoch" (STEINBACH et al. 1980).

Kohlmeise:	8
Blaumeise:	4
Feldsperling:	10

2.2.10. "Zoo"

Bei einer Größe von 12 ha ist er in seiner Gesamtheit von bebauter Fläche umgeben. An zwei Seiten laufen parallel zur Zoobegrenzung äußerst verkehrsreiche Straßen. Die Nistkästen sind mehr oder weniger gleichmäßig verteilt und hängen in Augenhöhe (vgl. KÜMMEL 1980).

Blaumeise:	1
------------	---

2.2.11. "Frankfurt Berger Hang"

"Das Kontrollgebiet Berger Hang ist ca. 10 ha groß und liegt am östlichen Stadtrand von Frankfurt. Das Gebiet ist seit 1954 als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Der Hang selbst ist südexponiert und im wesentlichen als Streuobstwiese zu charakterisieren. Neben einigen Tümpeln gibt es im Gebiet kleinere Schilfbestände. Die Verteilung des Baumbestandes (Obstbäume) ist sehr heterogen, so daß die Anordnung der 67 Nistkästen als 'in etwa flächig' zu bezeichnen ist. Störungen treten nur in sehr geringem Maße durch Reiter und Spaziergänger am Südrand des Gebietes auf" (STEINBACH et al. 1980).

Kohlmeise:	9
Feldsperling:	19

2.2.12. Anmerkung zur Probenauswahl

Die großen Unterschiede in der Anzahl der Eier der Arten aus den jeweiligen Gebieten resultiert aus der Tatsache, daß Störungen, Gelegestärke, Schlüpfrate oder Bruterfolg sehr uneinheitlich waren. In den Kontrollgebieten aus dem Bereich der Stadt Frankfurt sind Störungen vor allem auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen (z.B. Eierdiebstahl, Zerstören von Nestern und Zerschlagen von Nistkästen).

In den Gebieten im Raum Schlüchtern sind meist natürliche Nesträuber anzuführen (z.B. Siebenschläfer und Waschbär).

Weitere Schwierigkeiten gab es beim Einsammeln der Eier im Gelände und beim Transport, wo es mehrfach zu Beschädigungen kam, so daß diese Eier nicht mehr untersucht werden konnten.

Auch brüten die einzelnen Vogelarten in diesen Gebieten in unterschiedlicher Häufigkeit.

2.3. Analyseverfahren

Die Analyse erfolgte mit der flammenlosen Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS). Die AAS ist zur Bestimmung von Schwermetallen heute weit verbreitet, da sie gestattet, viele Elemente rasch und genau zu bestimmen. Ein Vergleich mit anderen möglichen Analyseverfahren findet sich bei ZIELKOWSKI & BÄCHMANN (1978). Für die Untersuchung stand ein System der Firma PERKIN-ELMER zur Verfügung ("AAS 4000", "AS 40" und "HGA 500").

Zur Analyse wurden die in Pappbehältern gelagerten und getrockneten Eier mit konzentrierter Salpetersäure (HNO_3 ; MERCK suprapur) und Perchlorsäure (HClO_4 ; MERCK suprapur) unter Erhitzen im Sandbad aufgeschlossen. Bei den Messungen war die Deuterium-Lampe zur Untergrundkompensation eingeschaltet.

2.4. Problematik der Schwermetallanalyse bei der vorliegenden Untersuchung

Bei der Spurenanalytik stellen mögliche Verunreinigungen immer ein großes Problem dar (siehe auch TSCHÖPEL et al. 1980) und müssen bei der Bewertung der gemessenen Werte besonders berücksichtigt werden. Bei der verwendeten Methode kommen folgende Kontaminationsmöglichkeiten in Betracht:

1. Einsammeln, Transport und Lagerung der Eier
2. Die verwendeten Chemikalien
3. Die verwendeten Geräte

Zu 1.:

Wegen der geringen Größe und leichten Zerbrechlichkeit der Eier wurde beim Einsammeln, beim Transport und bei der Lagerung sehr behutsam vorgegangen. Die Eier kamen mit Metallen nicht mehr in Berührung, und mögliche Metallspuren in der Pappe oder Watte der Behälter sollten keinen Einfluß auf die Meßwerte haben. Vor dem chemischen Aufschluß wurden noch am Ei befindliche Kot- und Nestmaterialspuren vorsichtig entfernt.

Zu 2.:

Es wurden die üblichen erprobten Analysechemikalien der Firma Merck verwendet. Meßbare Verunreinigungen im benutzten Wasser (H_2O -bidest) waren

ebenso ausgeschlossen.

Zu 3.:

Die Reinigung der Glasgeräte dürfte die Hauptursache von Verunreinigungen darstellen. Vor allem das verwendete Glas kann selbst als Quelle von Verunreinigungen angeführt werden, so daß bei der Interpretation der gewonnenen Daten dies eventuell zu berücksichtigen ist. (vgl. TSCHÖPEL et al. 1980).

Die angewandte Methode hat allerdings den Vorteil, daß pro Analysegang relativ wenig Geräte eingesetzt werden mußten. Dadurch konnte die Zahl möglicher Kontaminationsquellen niedrig gehalten werden.

Nicht zuletzt auf Grund begrenzter Mittel mußte ein Verfahren gewählt werden, das wenig Aufwand verlangte.

Mithin gestattete die gewählte Methode auch eine vergleichbar große Probenanzahl.

3. ERGEBNISSE

Die Werte für die einzelnen Eier aus den jeweiligen Gebieten finden sich im Anhang.

Die Eisen-, Blei- und Zinkgehalte der Eier sind in ppm (parts per million) bezogen auf das TROCKENGEWICHT angegeben. Eine Angabe, die sich auf das Frischgewicht bezieht, ist nicht möglich, da dies für das jeweils untersuchte Ei nicht individuell feststellbar ist. CONRAD (1977) bezieht seine Werte bei dem bisher umfangreichsten Untersuchungsprogramm in der Bundesrepublik Deutschland an Vogeleiern ebenfalls auf das Trockengewicht.

Auf eine Einzelbetrachtung von Meßwerten wird verzichtet, da die Streuung der Daten in den Gebieten groß ist.

Für die Bleiwerte gilt, daß der Wert "0" nicht bedeutet, daß kein Blei im Ei ist. Vielmehr konnte mit der angewandten Methode kein Blei nachgewiesen werden, d.h. die untersuchten Proben lagen unter der Nachweisgrenze.

Als Hauptkriterium zur Beurteilung der Bleiwerte gilt daher ein Nachweis bzw. Nichtnachweis.

Im Hinblick auf die in der Einleitung erläuterte Fragestellung ergeben sich zwei Hauptaspekte:

1. Gibt es Unterschiede in der Schwermetallbelastung zwischen den Vogelarten ?
2. Gibt es Unterschiede in der Bleibelastung zwischen den Gebieten (MONITOReffekt) ?

Alle statistischen Tests wurden mit Hilfe des SPSS (Statistical Package for Social Sciences) auf DEC 10 des Hochschulrechenzentrums an der Universität Frankfurt durchgeführt.

Um eine für die einzelnen Vogelarten hinreichend große Stichprobenzahl zu bekommen, wurden jeweils alle Daten der Frankfurter bzw. Schlüchterner Gebiete zusammengefaßt. Daher wurden auch die Werte für die Vogelarten Trauerschnäpper ($n=2$) und Tannenmeise ($n=3$) bei den Tests nicht berücksichtigt, zumal bei diesen Arten kein Vergleich Frankfurt - Schlüchtern möglich ist.

3.1. Unterschiede in der Schwermetallbelastung zwischen den Vogelarten

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 1) gibt eine Übersicht der Eisen-, Blei- und Zinkgehalte von Kohl- und Blaumeiseneiern sowie Feldsperlingseiern. Es sind Mittelwerte und Standardabweichung (alles in ppm) angegeben. Es ist ferner aufgeschlüsselt nach allen untersuchten Eiern einer Art (KM-ALLE, BM-ALLE und FSP-ALLE) und nach den Gebieten (KM-SLÜ, BM-SLÜ und FSP-SLÜ bzw. KM-FFM, BM-FFM und FSP-FFM).

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichung der Eisen-, Blei- und Zinkgehalte von Kohl- und Blaumeiseneiern sowie Feldsperlingseiern

	Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
KM-ALLE (n = 122)	$\bar{x} = 97,5$ s = 60,6	$\bar{x} = 0,89$ s = 1,96	$\bar{x} = 24,2$ s = 18,9
BM-ALLE (n = 41)	$\bar{x} = 93,7$ s = 57,2	$\bar{x} = 0,82$ s = 1,30	$\bar{x} = 27,6$ s = 20,2
FSP-ALLE (n = 41)	$\bar{x} = 51,1$ s = 29,4	$\bar{x} = 0,62$ s = 0,84	$\bar{x} = 13,6$ s = 7,8
KM-FFM (n = 48)	$\bar{x} = 98,3$ s = 63,7	$\bar{x} = 1,13$ s = 1,32	$\bar{x} = 25,6$ s = 21,1
BM-FFM (n = 21)	$\bar{x} = 81,0$ s = 58,2	$\bar{x} = 0,85$ s = 1,35	$\bar{x} = 24,0$ s = 12,4
FSP-FFM (n = 37)	$\bar{x} = 49,7$ s = 28,2	$\bar{x} = 0,69$ s = 0,86	$\bar{x} = 13,1$ s = 7,2
KM-SLÜ (n = 74)	$\bar{x} = 97,0$ s = 58,9	$\bar{x} = 0,88$ s = 2,28	$\bar{x} = 23,3$ s = 17,4
BM-SLÜ (n = 20)	$\bar{x} = 107,0$ s = 54,4	$\bar{x} = 0,79$ s = 1,29	$\bar{x} = 31,4$ s = 25,8
FSP-SLÜ (n = 4)	$\bar{x} = 63,9$ s = 44,8	0 0	$\bar{x} = 17,9$ s = 12,4

Bei der vergleichenden Betrachtung der Mittelwerte für die untersuchten Elemente fällt auf, daß für die einzelnen Gruppen kaum Unterschiede zwischen Kohl- bzw. Blaumeisen zu finden sind.

Die Werte für die Feldsperlinge weichen stark von denen der Meisenarten ab. Diese Aussagen gelten für die Elemente Eisen und Zink (Abbildung 1 und 2). Blei wird gesondert im folgenden Abschnitt besprochen.

Mit dem Kruskal-Wallis-Test (1-way Anova) lassen sich diese Aussagen statistisch sichern. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

1. Für KM-ALLE, BM-ALLE und FSP-ALLE:

Eisen: FSP-ALLE (51,1 ppm) weniger Eisen als KM-ALLE (97,5 ppm) und BM-ALLE (93,7 ppm).

3.2. Unterschiede in der Bleibelastung zwischen den Gebieten

Als Kriterium für einen Unterschied in der Bleibelastung wurde ein Nachweis bzw. Nichtnachweis von Blei gewertet.

In folgender Tabelle (Tab. 2 und Abb. 3) ist für Kohl-, Blaumeise und Feldsperling der Nachweis bzw. Nichtnachweis nach Gebieten dargestellt.

Tabelle 2: Nachweis bzw. Nichtnachweis von Blei in Eiern von Kohl-, Blaumeise und Feldsperling nach Gebieten

	Nachweis (Anzahl)	Nichtnachweis (Anzahl)
KM-FFM	38	10
KM-SLÜ	27	45
BM-FFM	11	10
BM-SLÜ	8	12
FSP-FFM	33	4
FSP-SLÜ	0	4

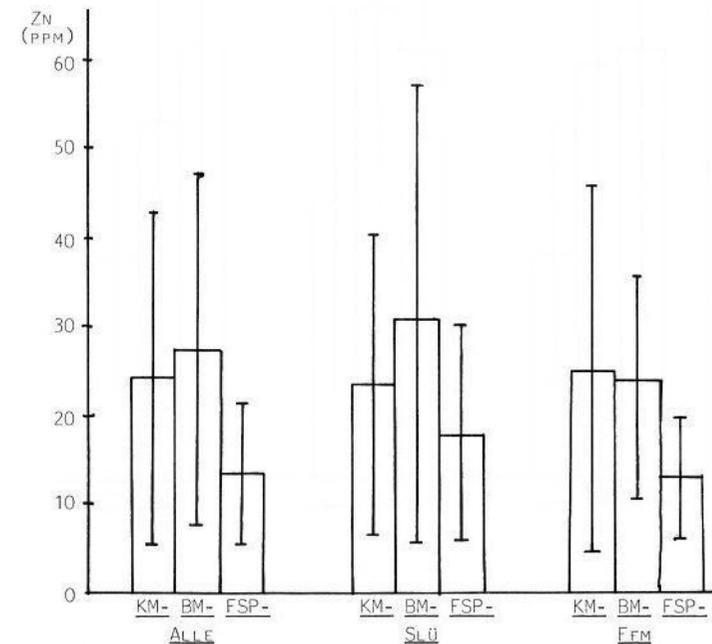


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichung der Zinkgehalte von Kohl- und Blaumeiseneiern sowie Feldsperlingseiern

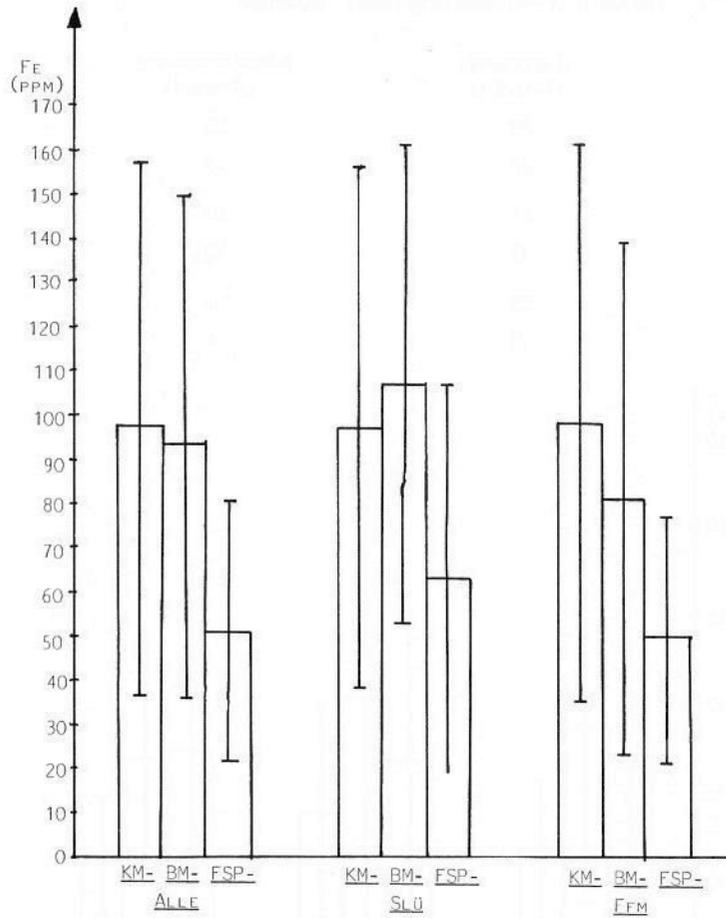


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Eisengehalte von Kohl- und Blaumeiseneiern sowie Feldsperlingseiern

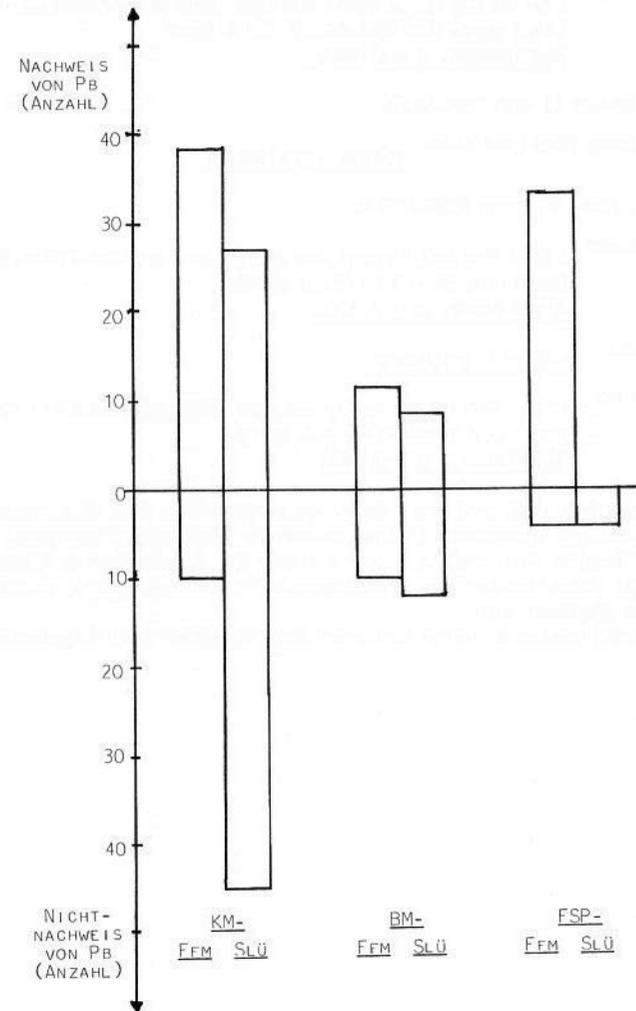


Abbildung 3: Nachweis bzw. Nichtnachweis von Blei in Eiern von Kohl-, Blaumeise und Feldsperling

Signifikanz, $p < 0,0001$

Blei: Keine Signifikanz

Zink: FSP-ALLE (13,6 ppm) weniger Zink als KM-ALLE (24,2 ppm) und BM-ALLE (27,6 ppm).
Signifikanz, $p = 0,0006$

2. Für KM-SLÜ, BM-SLÜ und FSP-SLÜ:

Eisen, Blei und Zink: Keine Signifikanz

3. Für KM-FFM, BM-FFM und FSP-FFM:

Eisen: FSP-FFM (49,7 ppm) weniger Eisen als KM-FFM (98,3 ppm) und BM-FFM (81,0 ppm).
Signifikanz, $p < 0,0001$

Blei: Keine Signifikanz

Zink: FSP-FFM (13,1 ppm) weniger Zink als KM-FFM (25,6 ppm) und BM-FFM (24,0 ppm).
Signifikanz, $p < 0,0001$

Es bleibt festzustellen, daß zwischen den Vogelarten Kohl- und Blaumeise bzw. Feldsperling statistisch sicherbare Unterschiede im Zink- und Eisengehalt der Eier bestehen. Für eine Aufschlüsselung innerhalb der Schlüchterner Gebiete ist die Anzahl der untersuchten Feldsperlingseier ($n = 4$) zu gering, so daß hier keine Signifikanz gegeben war.

In der Bleibelastung bestehen keine Unterschiede zwischen den Vogelarten.

Für die einzelnen Vogelarten lassen sich folgende Aussagen treffen:

Kohlmeise: Mehr Blei für KM-FFM als KM-SLÜ.
Signifikanz, $p < 0,0001$ (Vierfelder-Chi-Quadrat-Test)
Signifikanz, $p = 0,0001$ (Mann-Whitney-U-Test)

Blaumeise: Keine Signifikanz

Feldsperling: Mehr Blei für FSP-FFM als FSP-SLÜ.
Signifikanz, $p < 0,0001$ (t-Test)

Für den Feldsperling können nur tendenzielle Aussagen getroffen werden, da die geringe Anzahl ($n = 4$) der Schlüchterner Proben für weitergehende Betrachtungen zu gering ist. Innerhalb der Frankfurter Kontrollgebiete lassen sich für die Feldsperlingseier statistisch sicherbare Unterschiede feststellen. Unter Berücksichtigung der Daten von FPALM, FHF und FBH ergibt sich für den Feldsperling:

FSP-FPALM ($\bar{x} = 1,8$ ppm) mehr Blei als FSP-FHF ($\bar{x} = 0,99$ ppm) und FSP-FBH ($\bar{x} = 0,42$ ppm).
Signifikanz, $p < 0,05$ (Scheffè-Test)

4. DISKUSSION

Angaben aus der Literatur zu Schwermetallgehalten von vergleichbaren Vogelarten sind mir nicht bekannt. Auch existieren meines Wissens keine Veröffentlichungen, die sonstige Gewebe oder komplette Individuen von Kohl-, Blau-, Tannenmeise, Trauerschnäpper oder Feldsperling zum Untersuchungsgegenstand haben.

4.1. Vergleich mit Literaturwerten von Schwermetalluntersuchungen an Vogeleiern

Es werden die Angaben zu Eisen-, Blei- und Zinkmessungen betrachtet.

KRANTZ et al. (1970) fanden in 25 untersuchten Eiern des Weißkopfseeadlers (*Haliaeetus leucocephalus*) aus verschiedenen Regionen der Vereinigten Staaten von Amerika keine meßbaren Bleirückstände. Es wurde die bei BAGLEY et al. (1967) beschriebene Methode verwendet. Es wurden nur Eier untersucht, die nicht bebrütet waren oder aus denen kein Jungvogel schlüpfte.

Für Eisen werden, bezogen auf das Trockengewicht, Werte zwischen 42 und 147 ppm angegeben, für Zink sind Werte zwischen 30 und 65 ppm registriert worden. Überraschenderweise liegen diese Werte in durchaus vergleichbarer Größenordnung zu den von mir untersuchten Eiern.

Zu den gefundenen Daten wird bemerkt:

"These results are presented for record only, since data are inadequate for interpretation." (KRANTZ et al., S. 138)

In dieser Publikation wird ferner mitgeteilt, daß ein Teil des Probenmaterials für spätere Untersuchungen aufgehoben wurde. Da die heutige Generation der Analysegeräte weitaus empfindlicher messen kann, wäre eine Überprüfung der

Daten zu fordern. Eine diesbezügliche Veröffentlichung ist mir jedoch nicht bekannt.

SYNDER et al. (1973) untersuchten 23 Eier des Cooper's Hawk (*Accipiter cooperi*) aus dem Gebiet Arizona und New Mexiko in den USA. In 12 Eiern konnte kein Blei nachgewiesen werden. Für 10 Eier wird ein Mittelwert von 0,193 g/ml (= ppm) angegeben. Ein Ei enthielt 19,6 g/ml Blei, das zur Berechnung des Mittelwertes nicht herangezogen wurde. SYNDER et al. bemerken dazu: "Possibly this birds was carrying coppercoated lead shot in its tissues." (SYNDER et al., S. 304)

Das erwähnte Ei wies auch einen "Ausreißer" im Kupferwert auf.

Beide Veröffentlichungen zeigen sehr deutlich, daß die Daten von Schwermetallgehalten in den Eiern nur schwer zu interpretieren sind.

In der Veröffentlichung des BAYRISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ (BLFU 1979) wurden 19 Amseleier (*Turdus merula*) auf Blei und 18 von diesen auf Zink hin untersucht. Die Eier stammen aus 3 unterschiedlichen Gebieten. Das Gebiet I wird von den Autoren als verkehrsbelasteter Bereich des Stadtgebietes von München angegeben. Das Gebiet II stellt Park- und Gartenbereiche innerhalb Münchens dar, und das Gebiet III wird als stadtfernes Gebiet charakterisiert.

Wie bei meinen Untersuchungen werden potentiell belastete Bereiche (z.B. Innenstadt) mit weniger belasteten Regionen verglichen. Die Eier wurden mit Atom-Absorptions-Spektroskopie auf Blei, Zink, Kadmium (mit Hilfe der Graphitrohrküvette) und Quecksilber (Kaldampfverfahren) hin untersucht.

Im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen wurden die Schalen nicht mit analysiert. Auch werden die gefundenen Werte in bezug auf das Frischgewicht angegeben. Damit ist eine direkte Vergleichbarkeit nur bedingt möglich.

Für das Gebiet I wird für Blei ein Mittelwert von 2 ppm (n = 4) angegeben. Für die anderen Bereiche werden Werte zwischen 0,1 und 0,23 ppm (n = 4 bzw. n = 3) registriert, wobei einige Proben unterhalb der Nachweisgrenze lagen und nicht mit in die Berechnung eingegangen sind.

Für Zink werden Werte um 10 ppm genannt. Mir erscheint die Probenanzahl zu gering, um hier zu weiteren Beurteilungen zu kommen.

In der Diskussion dieser Arbeit wird auf mögliche Analysefehler hingewiesen, wobei nur die Zinkproben hinreichend über der Nachweisgrenze lagen. Für andere Elemente und Proben wird mitgeteilt:

"Ein großer Teil der Einzelanalysen liegt im Bereich der Nachweisgrenze: definitionsgemäß ist hier mit den höchsten Einzelabweichungen zu rechnen." (BLFU, S. 28)

Mithin wird auch die große Streuung der Einzelergebnisse erwähnt, was auch angesichts der geringen Probenzahl für die Auswertung nur qualitative Aussagen zuläßt.

Die Autoren kommen zu dem Schluß, daß ein Zusammenhang zwischen den Gebieten und der Belastung mit Blei, Kadmium und Quecksilber vorzuliegen scheint.

Wie bei meinen Untersuchungen besteht auch bei den Proben des BLFU kein Zusammenhang zwischen den Zinkwerten und den Gebieten.

Es werden dazu allerdings weitere Untersuchungen gefordert, wobei insbesondere analytische Fragen zu klären seien.

Es wird ferner festgestellt, daß sich die Amseleier zur Bioindikation eignen. Nach heutiger Definition (vor allem BICK 1982) sollte in diesem Zusammenhang der Begriff MONITOR zur Anwendung gelangen.

Bemerkenswert an den Ergebnissen des BLFU bei Amseleiern, im Vergleich zu den von mir untersuchten Meisen- und Feldsperlingseiern erscheint mir die Tatsache, daß die Bleiwerte in durchaus vergleichbarer Größenordnung liegen. Diese Aussage gilt selbst dann, wenn man die Werte auf das Trockengewicht umrechnen würde (dazu CONRAD S. 9).

Berücksichtigt man ferner, daß bei den Amseleiern die Schalen nicht mit untersucht worden sind, so erhebt sich auch die Forderung, durch geeignete Verfahren und Methoden herauszufinden, wie die Verteilung möglicher Bleirückstände im Ei ist (Schale, Dotter u.s.w.). Entsprechende Untersuchungen sind meines Wissens noch nicht durchgeführt worden.

Im BUNDESGESUNDHEITSBLATT 22 (1979) werden Bleiwerte von 266 Hühnereiern angegeben. Bezogen auf das Frischgewicht ohne Schale wird ein Mittelwert von 0,074 ppm mitgeteilt. Die Variationsbreite in den untersuchten Eiern ist sehr groß, es werden als Minimal- bzw. Maximalwert 0,0002 bzw. 0,8689 ppm genannte. Mit einer Streuung über drei Zehnerpotenzen sollte solchen Untersuchungen größere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Als Richtwert, der nicht überschritten werden sollte, wird vom BUNDESGESUNDHEITSAMT für Blei ein Wert von 0,2 ppm mitgeteilt.

Nur 9 von 118 Eiern, in denen ich bei meinen Untersuchungen Blei nachweisen konnte, lagen unter diesem Richtwert.

4.2. Vergleich zur Schwermetall-Kontamination von Kohlmeisenfedern

Ein Vergleich mit der vorliegenden Untersuchung bietet sich bei der Arbeit von BAUMGARDT (1982) an, da die von ihr analysierten Proben teilweise aus den gleichen Kontrollgebieten wie die untersuchten Eier stammen. BAUMGARDT untersuchte mit Hilfe der inversen Voltammetrie Schwanzfedern von Kohlmeisen auf Zink-, Kadmium-, Blei- und Kupferrückstände.

Die Probennahme erfolgte im Winter 1981/82 in Frankfurt (Hauptfriedhof), Schlüchtern (verschiedene Gebiete) und im Stadtgebiet von Bochum (Botanischer Garten, Kalwes). (BAUMGARDT, S. 80)

Den Vögeln wurden jeweils die äußeren Schwanzfedern ausgerissen, was zu keiner Schädigung führte, da diese Federn in kurzer Zeit ersetzt werden. Für die verschiedenen Elemente und Gebiete findet BAUMGARDT folgende Werte (Tabelle 3):

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichung (in ppm) der Elemente Zink, Kadmium, Blei und Kupfer in Kohlmeisenschwanzfedern der Populationen Schlüchtern, Frankfurt und Bochum (BAUMGARDT, S. 89)

Schlüchtern (n = 26)

Zn	Cd	Pb	Cu
$\bar{x} = 133,4$	$\bar{x} = 0,4$	$\bar{x} = 11,6$	$\bar{x} = 4,4$
s = 48,0	s = 0,2	s = 6,3	s = 2,4

Frankfurt (n = 23)

Zn	Cd	Pb	Cu
$\bar{x} = 150,2$	$\bar{x} = 0,9$	$\bar{x} = 40,7$	$\bar{x} = 16,6$
s = 43,1	s = 0,3	s = 11,3	s = 9,1

Bochum (n = 9)

Zn	Cd	Pb	Cu
$\bar{x} = 178,8$	$\bar{x} = 2,2$	$\bar{x} = 26,5$	$\bar{x} = 8,5$
s = 55,2	s = 1,4	s = 11,5	s = 2,5

Bei den statistischen Betrachtungen kommt BAUMGARDT zu dem Schluß, daß sich mit Ausnahme von Zink die einzelnen regionalen Population in den Schwermetallgehalten signifikant voneinander unterscheiden.

Für die Bleibelastung ergibt sich bei den Federanalysen ein ähnliches Bild wie bei den Kohlmeiseneiern.

Die Frankfurter Proben weisen einen erhöhten Bleigehalt auf, was auf einen MONITOREffekt hindeutet.

Für das von mir untersuchte Element Zink ergibt sich ebenfalls keine Signifikanz in den gefundenen Daten beim Vergleich der Gebiete Frankfurt und Schlüchtern.

Als Ursachen für die höhere Kontamination in den Stadtgebieten (vor allem Frankfurt) werden die höheren Emissionen bzw. Immissionen durch Industrie, Hausbrand und Autoabgase vermutet.

BAUMGARDT stellt fest: "....., daß es möglich ist, Kohlmeisen als Indikator für die Kontamination ihres Lebensraumes durch Schwermetallspuren anzusehen." (BAUMGARDT, S. 101)

4.3. Blei und Eiproduktion

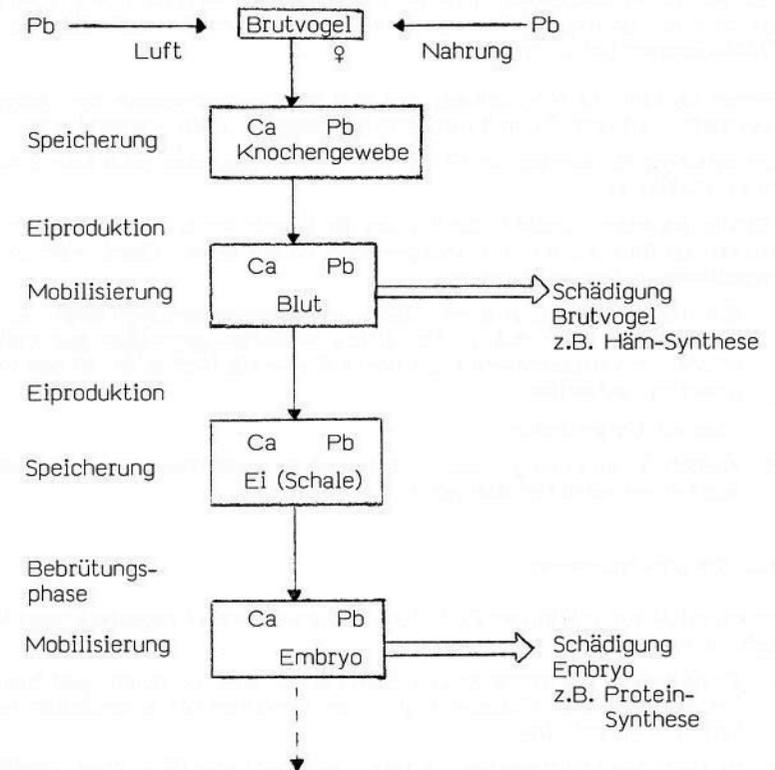
Zusammenfassende Darstellung der Wirkungsmechanismen

Es bestehen bei vielen Schwermetallen Kenntnislücken über den genauen Metabolismus, Wechselwirkungen zwischen Schwermetallen und Wechselwirkungen mit organischen Stoffen.

Hier soll nun dargelegt werden, wo Blei im Zusammenhang mit der Eiproduktion zu einer Schädigung bzw. Fitnessverlust des jeweiligen Vogels führen kann.

Das nachfolgende erläuterte Modell stützt sich vor allem auf die Ausführungen von SIMKISS (1975) und CONRAD (1977), was den Kalziumstoffwechsel angeht. Die Zusammenhänge zwischen dem Kalzium- und Bleimetabolismus sind von LUCKEY et al. (1975) beschrieben.

Abbildung 4: Wirkungsmechanismus von Blei und Kalzium bei der Eiproduktion



Im Laufe des Jahres kann der Vogel (hier das Weibchen) Blei über Luft und Nahrung aufnehmen. Kalzium wird ausschließlich über die Nahrung aufgenommen. Das Blei wird nun vorwiegend in den Knochengewebe gespeichert und ist für den Stoffwechsel nicht wirksam (aber Akkumulation!). Im Zeitraum der Eiproduktion bzw. -ablage wird nun das Kalzium und damit das Blei aus den Knochengewebe zur Bildung des Eis (vor allem der Eischale) mobilisiert und gelangt in das Blut des Vogels.

Hier kann das Blei im Stoffwechsel des Vogels wirksam werden und z. B. die Häm-Synthese hemmen. An dieser Stelle kann es zu einer Schädigung bzw.

Fitnessverlust für den Vogel kommen. Das Kalzium (und damit auch das Blei) wird hauptsächlich zur Bildung der Eischale verwendet. Das Blei wird also gespeichert und ist zunächst für den Stoffwechsel unwirksam.

Mit der Bebrütungsphase und der damit einsetzenden Embryonalentwicklung wird Kalzium und somit auch Blei aus der Eischale mobilisiert, um das Knochengewebe des Embryos (Jungvogel) aufzubauen. Daher kann es schon während der Embryonalentwicklung zu einer Schädigung bzw. Fitnessverlust für den Vogel kommen.

Bei der nun einsetzenden Protein-Synthese im Ei kann Blei dann schon in vergleichsweise geringen Konzentrationen wirksam werden (z.B. Blockierung von Thiol-Gruppen bei Enzymen).

Ferner besteht die Möglichkeit, daß Blei im Knochengewebe des Jungvogels gespeichert wird und bei späterer Mobilisierung wirksam werden kann.

Bei erhöhten Bleiwerten im Ei ist daher zumindest eine subletale Schädigung zu konstatieren.

Für die Weibchen besteht damit auch die Möglichkeit, auf dem Wege der Eiproduktion Blei aus ihren Körpergeweben zu entfernen. Damit können folgende Hypothesen aufgestellt werden:

1. Bei Vogelarten, die mehrere Jahre an Lebenserwartung haben (wegen des Akkumulationseffekts), sollten ältere Weibchen gegenüber gleichaltrigen Männchen vergleichsweise geringere Bleiwerte (vor allem in den Knochengeweben) aufweisen.
oder als Gegenthese:
2. Weibchen haben wegen des erhöhten Kalziumstoffwechsels (Eiproduktion) auch einen erhöhten Bleigehalt.

4.4. Schlußbetrachtung

Im Hinblick auf die in der Einleitung aufgeworfenen Fragestellungen kann ausgeführt werden:

1. Es bestehen Unterschiede zwischen den Vogelarten (Kohl- und Blaumeise im Vergleich zum Feldsperling) in den Gehalten der essentiellen Schwermetalle Eisen und Zink.
2. Es bestehen Unterschiede zwischen den Gebieten (Frankfurt - Schlüchtern) in dem Gehalt des toxischen Schwermetalls Blei.

Besonders Punkt 2 soll hier weiterdiskutiert werden. Für die Kohlmeise, von der die größte Anzahl der untersuchten Eier stammt, ergibt sich für Blei ein MONITOREffekt. Nach der Definition von BICK (1982) handelt es sich hierbei um einen Akkumulationsindikator. Das vorhandene Blei im Lebensraum der Kohlmeise wird über Luft und Nahrungskette aufgenommen und kann sich in den Geweben akkumulieren. Unmittelbare Schädigungen treten für den Vogel zunächst nicht ein, es dürfte sich vielmehr um subletale Schädigungen handeln.

Eine Vielzahl der Kriterien für einen Bioindikator bzw. MONITORorganismus, die ELLENBERG (1982) aufstellte, wird von der Vogelart "Kohlmeise" erfüllt, z.B. flächendeckende Vorkommen, große Dichte der Population, weite Verbreitung, Euryökie, leichte Erreichbarkeit (durch Ansiedlung in Nistkästen). Die unterschiedliche Qualität der von Kohlmeisen besiedelten Gebiete (besonders im Vergleich Großstadt - Waldgebiete, d.h. Frankfurt - Schlüchtern) ließ sich durch Bioindikation im Rahmen des "Höhlenbrüterprogramms" mit den Arbeiten von KÜMMEL (1980), REICHARDT (1980), STEINBACH et al. (1980) und BERRESSEM (1982) mehrfach aufzeigen.

Die vorliegende Arbeit weist nun für die Eier der Kohlmeise auf einen MONITOREffekt hin. BAUMGARDT (1982) konnte einen MONITOREffekt am Beispiel der Kohlmeisenfedern nachweisen.

Da die Eier im Frühling (März bis Mai) und die Federn im Spätsommer (Mauser im August und September) gebildet werden, eignet sich die Kohlmeise ebenso als MONITORorganismus zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Zudem eignen sich unterschiedliche Gewebe der Kohlmeise für Schwermetalluntersuchungen. Federn bestehen fast nur aus Proteinen (BEZZEL 1977, S. 27), während Eier aus einer Vielzahl von organischen (verschiedene Proteine und Fette) und anorganischen (Kalzium in der Eischale) Stoffen gebildet werden. Bei einer Beurteilung der Schwermetalle in Vogelfedern ist allerdings zu berücksichtigen, daß sich die Werte in den Geweben der Vögel während der Mauser besonders stark verändern, was OSBORN (1979) und HAARAKANGAS (1974) zeigten.

Auch muß bei einer Bewertung der biologischen Relevanz der gefundenen Werte beachtet werden, daß Federn "totes Material" darstellen (vgl. BEZZEL 1977). Eier hingegen beinhalten potentiell Leben. Kommt es hier zu einer Akkumulation von toxischen Schwermetallen, bedeutet es für den Organismus wie für die Population eine ungleich höhere Gefährdung.

Die Ablagerung in dem "toten Material" Feder ist für den Organismus sogar eine "Entgiftung", da die Schwermetalle dann nicht mehr im Stoffwechsel wirksam werden können.

Der vorliegenden Arbeit lassen sich weitere Ansätze für noch zu erfolgende Untersuchungen entnehmen:

Bei der Betrachtung der Bleiwerte der Eier aus dem Kontrollgebiet "Paradiesweiher" fällt auf, daß im Vergleich zu anderen Gebieten aus dem Raum Schlüchtern sehr viele Eier kontaminiert sind. Es entspricht somit den Verhältnissen in den Frankfurter Kontrollgebieten. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß viele bei den Kohlmeisen gemessenen Belastungen im Bereich der festgestellten Maximalwerte für Blei liegen. Bei den Blaumeisen ergibt sich ein ähnliches Bild. Da die Blaumeiseneier aus dem Gebiet PAW die Hälfte der Blaumeiseneier aus dem Raum Schlüchtern darstellen, kommt es auch bei der statistischen Auswertung zu keiner Signifikanz im Vergleich Frankfurt - Schlüchtern. Die Ursachen hierfür sind unmittelbar nicht ersichtlich. Mithin bleibt festzustellen, daß sich angrenzend an das Gebiet "Paradiesweiher" eine Mülldeponie sowie eine Autorennstrecke befinden. Hier sind weitere Untersuchungen in bezug auf Wasser, Boden, Luft und Organismen angebracht.

ZUSAMMENFASSUNG

209 Eier von Kohl-, Blau- und Tannenmeise sowie Trauerschnäpper und Feldsperling wurden mit Hilfe der Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS) auf Eisen- (Fe), Zink- (Zn) und Bleirückstände (Pb) hin untersucht. Die Eier stammen aus verschiedenen Gebieten aus dem Raum Schlüchtern (ca. 75 km nordöstlich von Frankfurt) und dem Stadtgebiet von Frankfurt. Es finden sich statistisch sicherbare Unterschiede in den Gehalten der essentiellen Schwermetalle Eisen und Zink zwischen den Vogelarten (Kohl- und Blau- meise im Vergleich zum Feldsperling). Es finden sich statistisch sicherbare Unterschiede bei den Bleirückständen in Kohlmeiseneiern zwischen den Gebieten (Frankfurter Gebiete im Vergleich zu Gebieten im Raum Schlüchtern). Für die Werte des toxischen Schwermetalls Blei kann ein MONITOREffekt bei den Kohlmeiseneiern festgestellt werden. Das Verhalten von Blei im Stoffwechsel während der Eiproduktion wird diskutiert.

SUMMARY

Iron-, Lead- and Zincresidues in eggs of Great Tit, Blue Tit and Tree Sparrow were measured by flameless Atomic-Absorption-Spectroscopy. Eggs were collected in study areas in the city of Frankfurt and study areas in the countryside near Schlüchtern (75 km NE from Frankfurt). There are differences in the levels of the essential trace elements Iron and Zinc between species (Great Tit and Blue Tit compared to Tree Sparrow). There are differences in the level of the toxic heavy metal lead between the studied areas (study areas in the city of Frankfurt compared to those in the countryside near Schlüchtern). Eggs of Great Tits are monitoring Lead pollution. Lead metabolism during egg production is discussed.

LITERATURVERZEICHNIS

- ARNDT, U. (1979): Schadstoffe in der Nahrungskette - Einführung in die Problematik, in: DOKUMENTATIONSSTELLE DER UNI HOHENHEIM, Daten und Dokumente zum Umweltschutz Nr. 23
- BAGLEY, G.E. and LOCKE, L.N. (1967): The Occurrence of Lead in Tissues of Wild Birds, Bull. of Environm. Contamination and Toxicology, 2,5: S. 297 - 305
- BAUMGARDT, B. (1982): Inversvoltammetrische Bestimmung von Elementspuren in organischer Matrix - Untersuchung am Beispiel der Schwermetallkontamination von Kohlmeiseneiern, Diplomarbeit am Fachbereich Chemie der Universität Bochum
- BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1979): Rückstandsuntersuchungen in Vogeleiern, Schriftenreihe "Chemische Analytik und Umwelttechnologie" Band 3, Oldenburg Verlag München - Wien

- BELLROSE, F.C. (1959): Lead Poisoning as a Mortality Factor in Waterfowl Populations, Illinois Natural History Survey Bull. 27: S. 235-288
- BERRESSEM, K.G.(1982): Vergleichende Untersuchung zur Brutbiologie von Höhlenbrütern in zwei innerstädtischen und zwei stadtfernen Biotopen, Diplomarbeit im Fachbereich Biologie an der Universität Frankfurt
- BERRESEM, K.G., BERRESSEM, H. und SCHMIDT, K.-H. (1983): Vergleich der Brutbiologie von Höhlenbrütern in innerstädtischen und stadtfernen Biotopen, Journal für Ornithologie 124: S. 431-445
- BERTHOLD, P. (1973): Fortschreitende Rückgangerscheinungen bei Vögeln: Vorboten des "Stummen Frühlings", Mitt. der Max-Planck-Gesellschaft 1973, S. 18-33
- BEZZEL, E. (1977): Ornithologie, UTB 681, Stuttgart
- BICK, H. (1982): Bioindikatoren und Umweltschutz, Decheniana Beiheft Nr. 26: S. 2-5
- BUNDESGESUNDHEITSBLATT (1979): Richtwerte '79 für Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln, 22,15: S. 282-283
- CARSON, R. (1962): "Der Stumme Frühling", Ch. Beck München, 2.Ausgabe 1976
- CONRAD, B. (1977): Die Giftbelastung der Vogelwelt Deutschlands, Vogelkundliche Bibliothek Band 5, Kilda-Verlag Greven
- EHRlich, P.R., EHRlich, A.H. & HOLDEN, J.P. (1975): Humanökologie - Der Mensch im Zentrum einer neuen Wissenschaft, übersetzt und bearbeitet von H. REMMERT, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, zit. in HÖLZINGER (1977): s.u.
- ELLENBERG, H. (1982): Was ist ein Bioindikator? - Sind Vögel Bioindikatoren, Seevögel Sonderband 1982 "Vogelzugforschung und Seevogelökologie", S. 153-158
- FIODORA, B. (1972): Der Bleigehalt von Pflanzen verkehrsnaher Standorte in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode, Ber. dtsh. bot. Ges. 85: S. 219-227
- FINELLI, V.N. (1977): Lead, Zinc and δ -Aminolevulinat Dehydratase, in: LEE, S.D. (1977): Biochemical Effects of Environmental Pollutants, Ann. Arbor Service, Mich. USA, S. 351-363
- FORTH, W. & RUMMEL, W. (1977): Pharmakotherapie des Eisenmangels, in: FORTH (Hrsg.): Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie, 2. Auflage Mannheim
- GREICHUS, Y.A., GUECK, B.D. and AMMANN, B.D. (1978): Organochlorine Insecticide, Polychlorinated Biphenyl, and Metal Residues in Some South Dakota Birds, 1975-76, Pesticides Monitoring Journal 12, 1: S. 4-7
- GRIFFIN, T.B. & KNELSON, J.H. (1975): Lead, Thieme Verlag Stuttgart - New York
- HAARAKANGAS, H., YVÄRINEN, H. and OJANEN, M. (1974): Seasonal Variation and the Effects of Nesting and

- Moulting on Liver Mineral Content in the House Sparrow (*Passer domesticus*), *Comp. Biochem. Physiol.* 47 A: S. 153-163
- HEINRICHS, H. (1979): Determination of Lead in Geological and Biological Materials by Graphite Furnace Atomic Absorptions Spectrometry, *Fresenius* 295: S. 355-361
- HÖLL, W. & HAMPP, R. (1974): Blei in der Biosphäre, einige Aspekte, *Naturw. Rundschau* 27,7: S. 272-276
- HÖLZINGER, H.-J. (1977): Der Einfluß von Sulfitzellstoff-Abwässern und Schwermetallen auf das Ökosystem des Öpfinger Donaustausees, insbesondere ihre Bedeutung für die Massenvermehrung von *Leptomitus lacteus* (ROTH) AG. (Eumycotina, Oomycetes) und *Sphaerotilus natans* KÜTZ. (Schizomycetes, Clamydobacteriales) und das hiervon abhängige Vorkommen von Schwämmvögeln, Diss., Eberhard-Karls-Universität, Tübingen
- JOHNELS, TYLER and WESTMARK (1979): A history of mercury in Swedish fauna, *Ambio* 8: S. 160-168
- JONES, L.H.P. & CLEMENT, C.R. (1971): Lead Uptake by Plants and its Significance for Animals, in: HEPPLER, P. (ed.): *Lead in the environment*, Bering, Essex, England reprinted 1973
- KIRCHGESSNER, M. and REICHELMAJR-LAIS, A.M. (1982): Lead Deficiency and its Effects on Growth and Metabolism, in: GAWTHONE, J.M., HOWELL, J. and WHITE, C. (eds): *Proc. 4th. Int. Sym. on Trace Elements in the Man and Animal (TEMA 4)* S. 390-392
- KORTE, F. (1980): *Ökologische Chemie*, Thieme Verlag Stuttgart
- KRANTZ, W.C., MULHERN, B.M., BAGLEY, G.D., SPRUNT, A., LIGAS, F.S. and ROBERTSON, W.B. (1970): Organochloride and heavy metal residues in Bald Eagle eggs, *Pesticides Monitoring Journal* 3,3: S. 136-140
- KÜMMEL, H. (1980): Beobachtungen zur Populationsdynamik von Kohlmeisen (*Parus major*), 1. Staatsexamensarbeit für die Sekundarstufe II, Universität Frankfurt
- LEE, S.D. (1977): *Biochemical Effects of Environmental Pollutants*, Ann. Arbor Service, Mich. USA, S. 365-376
- LEPP, N.W. (1981): *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*, Vol. 2, Metals in the Environment, London - New Jersey
- LUCKEY, T.D. (1975): Introduction to Heavy Metal Toxicity, Safety, and Hormology, in: LUCKEY, T.D., VENUGOPAL, B. and HUTCHSON: *Heavy Metal Toxicity, Safety and Hormology*, Thieme Verlag Stuttgart-New York
- DERS. & VENUGOPAL, B. (1977): *Metal Toxicity in Mammals*, Vol. 1, Physiological and Chemical Basis for Metal Toxicity, New York
- MARTIN, W.E. (1972): Mercury and Lead Residues in Starlings, *Pesticides Monitoring Journal*, 6: S. 27-32
- DERS. & NICKERSON, P.R. (1973): Mercury, Lead, Cadmium and Arsenic Residues in Starlings - 1971, *Pesticides Monitoring Journal* 7,1: S. 67-72
- MOORE, M.R., CAMPBELL, B.C. and GOLDBERG, A. (1977): Lead, in: LENIHAN, I. and FLETCHER, W.V.: *The Chemical Environment*, aus: *Environment and Man*, Vol. 6, Glasgow and London
- NEUMANN, D. & BICK, H. (1982): Vorwort, *Decheniana Beiheft* Nr. 26, S. 1
- NIE, N., HULL, C., JENKINS, J.G., STEINBRENNER, K. and BENT, P.H. (1975): *SPSS- Statistical Package for the Social Sciences*, Mc Graw Hill, New York
- OSBORN, D. (1979): Seasonal Changes in the Fat, Protein and Metal Content of the Liver of the Starling, *Envir. Poll.* 19: S. 145-155
- PETERING, H.G., MURTHY, C. and CERKLEWSKI, F.C. (1977): Role of Nutrition in Heavy Metal Toxicity, in: LEE, S.D.: *Biochemical Effects of Environmental Pollutants*, Ann. Arbor Service, Mich. USA, S. 265-376
- PETRI, H. (1973): Pathophysiologisch-toxikologische Bedeutung des Zinks im Hinblick auf Trinkwasser, *Schr.-Reihe Ver. Wasser-Boden-Luft-hyg.*, Berlin-Dahlem, Heft 40: S. 155-165
- PHIPPS, D.A. (1976): *Metals and Metabolism*, Oxford Univers. Press, 1978
- PRINZINGER, G. und PRINZINGER, R. (1979): Der Einfluß von Pestiziden auf die Brutphysiologie der Vögel, *Ökologie der Vögel* 1, S. 17-89
- QUARTERMANN, I. and MORRISON, I.V. (1978): The interaction of Iron and Lead, in: KIRCHGESSNER, Proc. 3rd Int. Symp. on Trace Element Metabolism in Man and Animal, Weihenstephan, S. 589-592
- REICHARDT, M. (1980): Untersuchungen zur Fütterfrequenz von Kohlmeisen (*Parus major*), Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Grundschulen, Universität Frankfurt
- SCHENKEL, H. (1979): Wechselbeziehungen im Auftreten toxischer Schwermetalle und ihre Auswirkungen in der Nahrungskette, in: DOKUMENTATIONSSTELLE DER UNI HOHENHEIM: *Schadstoffe in der Nahrungskette*, Daten u. Dokumente zum Umweltschutz Nr. 23: S. 85-97
- SCHLICHTING, E. (1979): Schwermetallkonzentration in Naturstandorten, in: DOKUMENTATIONSSTELLE DER UNI HOHENHEIM: *Schadstoffe in der Nahrungskette*, Daten und Dokumente zum Umweltschutz, S. 21-27
- SCHMIDT, K.-H. (1976): Ermittlung der Alters- und Geschlechtszusammensetzung einer Winterpopulation der Kohlmeise (*Parus major*) anhand von Nistkastenkontrollen, *Journal f. Ornith.* 117: S. 353-361

DERS. (1979): Untersuchungen zur Jahresdynamik einer Kohlmeisenpopulation, Diss. Universität Frankfurt

DERS. und HAMANN, H.-J. (1983): Unterbrechung der Legefolge bei Höhlenbrütern, Journal für Ornithologie 124: S. 163-176

SIMKISS, K. (1975): Calcium and Avian Reproduction, in: PEAKER, M.: Avian Physiology, Symp. zool. Soc. London No. 35: S. 307-337

SLAVIN, S., PETERSON, G.E. and LINDAHL, P.C. (1975): Determination of Heavy Metals in Meats by Atomic Absorption Spectroscopy, Atomic Absorption Newsletter 14,3: S. 57-59

SNYDER, N.F.R., SNYDER, H.A., LINCER, J.L. and REYNOLDS, R.T. (1973): Organochlorines, Heavy Metals, and the Biology of North American Accipiters, Bioscience 23,5: S. 300-305

SPERLING, K.-R. (1975): Heavy Metal Determination in Sea Water and Marine Organisms with the Aid of Flameless AAS II: Determination of Cadmium in Biological Material, Atomic Absorption Newsletter, 14,3: S. 60-62

SPSS (1975): siehe NIE et al.

STEINBACH, J., EINLOFT, H., KÖTH, Th., HÖRSTER, P. und ACHENBACH, H.-J. (1980): Brutbiologische Untersuchungen in 3 neuen Frankfurter Kontrollgebieten, Luscinia 44: S. 189-209

STERN, THIELCKE, VESTER und SCHREIBER (1978): Rettet die Vögel, F.A. Herbig München-Berlin

TSCHÖPEL, P., KOTZ, L., SCHULZ, W., VEBER, M. und TÖLG, G. (1980): Zur Ursache und Vermeidung systematischer Fehler bei Elementbestimmungen in wässrigen Lösungen im ng/ml - und pg/ml- Bereich, Fresenius 302: S. 1-14

WELZ, B. (1975): Atom-Absorptions-Spektroskopie Verlag Chemie Weinheim

ZIELKOWSKI, R. und BÄCHMANN, K. (1978): Instrumentelle Multielementanalyse in biologischen Matrices: Ein Vergleich von NAA, RFA und AAS, Fresenius 290: S. 143-144

ZUNK, B. (1980): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Seevögeln aus dem Bereich der Deutschen Bucht, Diplomarbeit am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg

Thomas Köth Römerstraße 27 6451 Hammersbach 1

ANHANG

In den nachstehenden Tabellen sind die festgestellten Schwermetallgehalte der Vogelei dargestellt und nach Kontrollgebieten sowie Vogelarten für die Elemente aufgeschlüsselt. Mittelwert und Standardabweichung sind jeweils angegeben. Alle Werte sind in der Einheit ppm angegeben.

"0" bedeutet: unterhalb der Nachweisgrenze, dieser Wert wurde nicht zur Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung herangezogen.

1. Paradiesweiher

Kohlmeise (n = 18)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
63	0	16
108	0,5	24
264	0	28
203	0	41
185	4,7	38
184	0	35
64	3,5	10
50	4,8	16
176	13,8	51
52	0,5	12
136	2,1	31
136	0	40
116	2,1	23
114	0	22
167	0	43
202	11,9	57
54	0,4	18
75	0	17
$\bar{x} = 130$	$\bar{x} = 4,43$	$\bar{x} = 27,3$
$s = 63,7$	$s = 4,75$	$s = 15,2$

Blaumeise

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
73	0,9	20
105	4,4	31
186	3,2	30
164	0,9	46
212	0	86
76	2,5	13
185	2,0	115
84	0	20

Blaumeise (Fortsetzung)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
61	1,4	15
35	0	27
$\bar{x} = 118,1$	$\bar{x} = 2,19$	$\bar{x} = 40,3$
$s = 62,6$	$s = 1,29$	$s = 33,8$

Feldsperling (n = 4)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
41	0	11
49	0	13
35	0	11
131	0	36
$\bar{x} = 64$	0	$\bar{x} = 17,8$
$s = 45$	0	$s = 12,2$

2. Schlüchtern Drasenberg

Kohlmeise (n = 14)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
35	0	7
33	0	12
31	0	5
37	0	8
33	0	6
37	0	7
104	0	14
37	0	7
48	0	10
158	0	42
50	0	9
125	0	23
116	0,6	28
35	0	11
$\bar{x} = 62,8$	0	$\bar{x} = 13,5$
$s = 43,1$	0	$s = 10,5$

Blaumeise (n = 2)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
152	0,3	30
23	0	9

3. Sterbefritz Steinbruch

Kohlmeise (n = 5)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
128	0	19
132	0	19
67	0	10
61	0	9
117	0	9
$\bar{x} = 101$	0	$\bar{x} = 13,2$
$s = 34,3$	0	$s = 3,3$

Tannenmeise (n = 3)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
225	0	30
231	0	34
192	0	23
$\bar{x} = 216$	0	$\bar{x} = 29$
$s = 21$	0	$s = 5,6$

Trauerschnäpper (n = 2)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
180	0	28
58	0	11

4. Steinau Hermes

Kohlmeise (n = 12)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
148	0	51
37	0	13
88	2,2	29

Kohlmeise (Fortsetzung)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
146	1,2	41
37	0	13
104	0	25
132	0	37
90	0	27
32	2,8	11
122	0	36
92	0	26
206	0	29
$\bar{x} = 100,3$	$\bar{x} = 2,07$	$\bar{x} = 28,2$
$s = 56,4$	$s = 0,81$	$s = 12,0$

Blaumeise (n = 8)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
119	0	26
119	0	25
128	0	24
58	0	13
62	0	15
125	0	31
131	0	36
40	0	14
$\bar{x} = 97,8$	0	$\bar{x} = 23,0$
$s = 37,5$	0	$s = 8,4$

5. Salmünster Happel

Kohlmeise (n = 23)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
277	1,0	51
174	0	39
93	0	25
83	1,2	16
50	0,9	14
55	0,8	13
183	3,5	42
28	0,3	7
29	0,2	7
25	0	7

Kohlmeise (Fortsetzung)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
53	0,4	11
33	0,3	7
44	0	7
98	0	16
147	0	26
39	0	9
77	0	13
91	1,8	20
47	0	8
92	0	22
36	0,3	9
146	1,1	39
112	1,2	32
$\bar{x} = 87,5$	$\bar{x} = 1,00$	$\bar{x} = 19,1$
$s = 62,7$	$s = 0,89$	$s = 13,2$

6. Ginnheimer Wäldchen

Kohlmeise (n = 13)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
92	1,4	24
153	1,8	27
177	3,3	41
133	1,2	28
92	0,9	19
37	0,4	18
144	2,1	52
115	0	18
330	0	41
102	0	18
64	0	9
106	0,9	23
66	0,4	14
$\bar{x} = 123,9$	$\bar{x} = 1,38$	$\bar{x} = 25,5$
$s = 73,0$	$s = 0,92$	$s = 12,3$

Blaumeise (n = 5)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
176	5,4	48
239	3,0	42
152	0	33

Blaumeise (Fortsetzung)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
67	0	20
58	0	33
$\bar{x} = 138,4$	$\bar{x} = 4,2$	$\bar{x} = 35,2$
$s = 76,3$	$s = 1,7$	$s = 10,6$

Feldsperling (n = 1)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
115	0	22

7. Frankfurt Palmengarten

Kohlmeise (n = 8)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
172	0	38
160	0	40
174	0	69
115	6,8	30
24	0,4	7
78	0	17
96	2,0	85
25	0,5	8
$\bar{x} = 105,5$	$\bar{x} = 2,43$	$\bar{x} = 36,8$
$s = 61,1$	$s = 3,01$	$s = 28,1$

Blaumeise (n = 11)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
49	0,1	12
34	0	11
41	0	12
39	0	13
48	0	13
41	0	13
39	0	15
139	1,5	33
124	1,5	39
45	0,7	9
25	0,8	10
$\bar{x} = 56,7$	$\bar{x} = 0,92$	$\bar{x} = 16,4$
$s = 37,7$	$s = 0,59$	$s = 9,9$

Feldsperling (n = 7)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
37	2,5	13
106	3,9	29
54	1,2	15
52	1,5	13
46	1,5	13
86	1,7	38
31	0,3	8
$\bar{x} = 54,6$	$\bar{x} = 1,80$	$\bar{x} = 18,4$
$s = 33,9$	$s = 1,13$	$s = 10,8$

8. Frankfurt Botanischer Garten

Kohlmeise (n = 10)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
63	0,8	10
96	0	36
243	1,7	57
51	1,3	12
46	1,1	13
50	0,9	10
89	1,6	20
99	0,8	16
61	0,8	10
46	0,4	12
$\bar{x} = 84,4$	$\bar{x} = 1,04$	$\bar{x} = 16,6$
$s = 59,4$	$s = 0,42$	$s = 14,7$

9. Frankfurt Hauptfriedhof

Kohlmeise (n = 8)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
67	0,9	15
52	0,9	11
287	5,6	108
59	1,5	27
104	1,9	45
73	0	20
53	1,0	16
51	1,2	15
$\bar{x} = 93,3$	$\bar{x} = 1,86$	$\bar{x} = 32,1$
$s = 80,2$	$s = 1,69$	$s = 32,5$

Blaumeise (n = 4)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
48	0,5	18
131	0	37
78	2,1	33
106	1,3	35
$\bar{x} = 90,8$	$\bar{x} = 1,30$	$\bar{x} = 30,8$
$s = 35,8$	$s = 0,80$	$s = 8,7$

Feldsperling (n = 10)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
87	2,7	12
63	0,8	21
115	0	18
34	0,4	14
31	0,3	8
93	0	34
28	0,3	11
40	0,3	16
20	0,3	13
20	0,1	10
$\bar{x} = 53,1$	$\bar{x} = 0,99$	$\bar{x} = 15,7$
$s = 34,1$	$s = 1,17$	$s = 7,5$

10. Frankfurt Zoo

Blaumeise (n = 1)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
23	0,7	24

11. Frankfurt Berger Hang

Kohlmeise (n = 9)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
127	2,2	52
51	0,2	12
35	0,5	7
49	0,7	8
62	0,9	13
70	0,8	12
88	1,2	15

Kohlmeise (Fortsetzung)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
75	0,5	14
114	2,6	18
$\bar{x} = 74,6$	$\bar{x} = 1,07$	$\bar{x} = 16,8$
$s = 30,5$	$s = 0,81$	$s = 13,6$

Feldsperling (n = 19)

Fe (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
29	0,1	7
39	0,5	9
38	0,4	9
28	0,4	9
30	0,2	10
108	0,6	11
41	1,4	8
25	0,4	7
40	0,4	9
23	0,2	10
32	1,0	11
62	0,2	7
35	0	10
59	0,4	11
65	0,5	10
37	0,5	14
30	0,1	7
33	0,1	10
25	0,2	9
$\bar{x} = 39,4$	$\bar{x} = 0,42$	$\bar{x} = 9,4$
$s = 22,3$	$s = 0,33$	$s = 1,7$

Beispiele zur Schwermetalluntersuchungen an wildlebenden Vögeln

Über das Vorkommen von Blei in Geweben von wildlebenden Vögeln verschiedener Arten in den USA berichten BAGLEY & LOCKE (1967). Untersucht wurden Leberproben von 28 Arten und von 13 Arten Schienbeinproben (tibia). Leider geben die Autoren keine Zusammenstellung über die Ergebnisse bei einzelnen Individuen, was unter heutigen Aspekten wünschenswert gewesen wäre.

In allen Proben konnte Blei nachgewiesen werden, wobei die Bleiwerte der Schienbeinproben der jeweiligen Arten deutlich höher als die Leberwerte sind. Für die Autoren stellen die höheren Schienbeinwerte den Effekt einer ständigen Bleiaufnahme dar, wobei insbesondere auf das Verhalten von Blei im Kalziumstoffwechsel verwiesen wird.

In dieser Veröffentlichung wird auch auf die Arbeit von BELLROSE (1959) hin-

gewiesen, der den Einfluß einer ständigen Bleiaufnahme von Bleischrot auf Wasservögel beschreibt. Bleischrot findet sich demnach in Sedimenten von Gewässern und wird bei Nahrungsaufnahme neben Steinen zur Verdauung von Wasservögeln aufgenommen. Nahrung, Steine und Bleischrot gelangen in den Muskelmagen. Dort wird auch das Blei über das Blut aufgenommen und gelangt so in den Organismus und die einzelnen Gewebe.

HÖLZINGER (1977), der das Ökosystem eines Donauaustausees bearbeitet, schreibt in diesem Zusammenhang:

"Eine nicht zu unterschätzende Bleiquelle ist die Jagd. In Dänemark werden jährlich etwa 250 t Blei verschossen, das sind pro km² und Jahr etwa 5,5 kg Blei (Feldornithologen 15, 1973; zit. nach EHRlich, EHRlich & HOLDREN 1975). In Deutschland dürfte es nicht viel anders sein."

Sonstige erhöhte Bleigehalte in Organismen sind nach Ansicht der Autoren auf anthropogene Maßnahmen zurückzuführen. Neben der Freisetzung von Blei oder Bleiverbindungen bei Abbau oder Verhüttung stehen für die Autoren bleihaltige Autoabgase als Hauptemissionsquelle fest.

Eine Angabe über die jährliche, globale, anthropogene Mobilisierung von Schwermetallen findet sich bei KORTE (1980). So ist für Blei die Mobilisierung durch Bergbau und damit die Einbringung in die Biosphäre 13mal höher als bei der natürlichen geologischen Mobilisierung. Für Blei wird für 1967 ein Wert von 2,33 mio t pro Jahr mitgeteilt.

In Hinblick auf die Hauptemissionsquelle Autoabgas müßten Organismen, die in der Nähe von stark frequentierten Straßen leben, höhere Bleiwerte aufweisen. Die vorliegende Untersuchung mit dem Stadt-Land-Vergleich (Frankfurt-Schlüchtern) bestätigt diese Hypothese (siehe auch MARTIN 1972).

Auch für die Bleibelastung bei Pflanzen in Abhängigkeit zur Entfernung vom Standort zu Straßen gibt es Untersuchungen, die FIODORA (1972) in seiner Veröffentlichung erwähnt und auch mit eigenen Meßwerten nachweisen kann. MARTIN (1972) untersuchte Stare (*Sturnus vulgaris*) auf Quecksilber und Blei, die aus verschiedenen Orten der USA stammen. Unter anderem diente diese Untersuchung dazu, herauszufinden, ob sich Stare als MONITOR-Art eignen, d.h., daß sich vermutete Umweltbedingungen in einem subletalen Bereich in den gefundenen Werten widerspiegeln.

Für das Element Blei findet MARTIN diesen MONITOR-Effekt, für Quecksilber nicht. In 23 von 25 Proben konnten Bleiwerte zwischen 0,4 und 13,3 ppm (bezogen auf das Frischgewicht und den ganzen Körper) festgestellt werden.

MARTIN et al. (1973) erweiterten diese Versuche und Monitortests auf eine größere Probenanzahl und auch auf weitere Elemente (Kadmium und Arsen). Bei dieser Untersuchung ergaben sich in 50 Proben für Blei niedrigere Werte als die in oben erwähnter Veröffentlichung. Die Autoren führen dies auf unterschiedliche Analyseverfahren der beauftragten Laboratorien zurück. In allen Proben konnte Blei nachgewiesen werden, auch war der MONITOR-Effekt zu beobachten. "As expected, birds from urban sites had the highest residue levels, reflecting greater exposure to both automotive and industrial contamination." (MARTIN et al. 1973, S. 71)

Für die anderen untersuchten Elemente ergab sich wiederum kein MONITOR-Effekt.

GREICHUS et al. (1978) berichten u.a. über Metallrückstände in Vögeln aus dem Bundesstaat South-Dakota (USA). Sieben Krähen (*Corvus brachyrhynchos*), sechs

amerikanische Wasserhühner (*Fulica americana*), sechs Stare (*Sturnus vulgaris*) und sechs Franklin-Möwen (*Larus pipixcan*) wurden analysiert.

Für Stare, Wasserhühner und Krähen finden GREICHUS et al. ähnliche Bleiwerte wie MARTIN (1972). Die Möwen wiesen demgegenüber etwa 4fach erhöhte Werte auf. Dies wird mit der von BAGLEY & LOCKE (1967) beschriebenen Bleischrotaufnahme in Zusammenhang mit der Nahrung erklärt. Außerdem könnten die untersuchten Individuen außerhalb Dakotas kontaminiert worden sein, da diese Möwen Zugvögel sind. (GREICHUS et al. S. 7)

Über saisonale Abhängigkeiten von Metallgehalten in Geweben von Vögeln berichten HAARAKANGAS et al. (1974) und OSBORN (1979).

Zink wurde als einerseits essentielles, andererseits mögliches toxisches Element in der Veröffentlichung von HAARAKANGAS et al. erwähnt. Es wurde der Zinkgehalt in der Leber von Haussperlingen (*Passer domesticus*) in Abhängigkeit von der Jahreszeit ermittelt.

Eine signifikante Erhöhung der Zinkwerte bei Weibchen ergab sich während der Eiablagephase. Für die Autoren scheint dies im Zusammenhang mit der Eidottersynthese zu stehen.

Eine weitere Auffälligkeit im Zinkgehalt ergibt sich bei Betrachtung zur Zeit der Mauser: Zu Beginn der Mauser sind die Zinkwerte deutlich erhöht.

OSBORN untersuchte die Leber von Staren auf Zink, Kupfer, Eisen, Kadmium und Quecksilber in Abhängigkeit von der Jahreszeit.

Für Zink und Kupfer findet er ähnliche Ergebnisse wie HAARAKANGAS et al., Zink und Kupfer sind zu Beginn der Mauser stark erhöht, während sie am Ende der Mauserperiode ihre Minimalwerte haben.

Auch für Kadmium werden die höchsten Werte während der Mauser gemessen. Von den Eisenwerten berichtet OSBORN, daß sie nach einem Minimum nach der Brutsaison zu einem Maximalwert am Ende der Mauserperiode ansteigen. Für Quecksilber hingegen gilt, daß die Werte während der Mauser ihr geringstes Niveau besitzen.

OSBORN diskutiert diese Ergebnisse im Zusammenhang mit Fett- bzw. Eiweißstoffwechsel. Eindringlich weist OSBORN darauf hin, daß Ergebnisse von Schwermetalluntersuchungen bei Vögeln wegen der saisonalen Variabilität nur vorsichtig zu bewerten sind, da viele Fragen zum Stoffwechsel der Metalle noch ungeklärt sind.

Zur Biochemie von Eisen, Zink und Blei

In diesem Abschnitt soll exemplarisch die Bedeutung und Wirkungsweise von Eisen, Zink und Blei im Stoffwechsel von homoiothermen Lebewesen dargestellt werden.

Eisenstoffwechsel

Eisen gehört zu den essentiellen Spurenelementen. "Als Enzymbestandteil ist Eisen bei der Elektronenübertragung in der biologischen Oxidation (Cytochrome; Atmungskette) bei allen Lebewesen unentbehrlich. es ist bei höheren Tieren verantwortlich für die reversible Bindung molekularer Sauerstoffs (Hämoglobin, Myoglobin) oder für andere Stoffwechselforgänge, bei denen Sauerstoff beteiligt ist (z.B. Oxidasen, Hydrolasen), ferner für die Beseitigung von Wasserstoffperoxid (H₂O₂, Katalasen, Peroxidasen)" (HÖLZINGER 1977, S. 220).

Eine ausführliche Zusammenstellung des Eisenstoffwechsels findet sich bei PHIPPS (1976). HÖLZINGER berichtet ferner, daß Eisen in den in der Umwelt vorkommenden Konzentrationen für Vögel, Säugetiere und Menschen nicht gesundheitsschädlich ist.

Beim Menschen können hohe Eisenkonzentrationen zu peripheren und zentralen Lähmungen führen, auch ist es möglich, daß die Gerinnungsfähigkeit des Blutes herabgesetzt wird. (FORTH & RUMMEL 1977).

LUCKEY et al. (1977) berichten, daß Eisenoxide die karzinogenen Wirkungen von organisch-karzinogenen Stoffen (z.B. Benzpyren) verstärken, da sie als "Carrier" karzinogene Stoffe in gesunde Zellen transportieren.

Zinkstoffwechsel

Für Zink wird ein großer Sicherheitsbereich zwischen essentiell notwendigen und toxischen Konzentrationen angegeben (LUCKEY et al. 1977). Zink ist u.a. in folgenden Enzymen vertreten:

- Carboanhydrase
- Carboxypeptidase
- Alkohol-Dehydrogenase
- Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase
- Glutamat-Dehydrogenase
- Lactat-Dehydrogenase
- DNS-Polymerase
- RNS-Polymerase (?)

(nach FORTH & RUMMEL 1977)

Daneben ist Zink am Aufbau der Quartärstruktur des Insulins beteiligt (LUCKEY et al. 1975, S. 7).

Toxizitätsgrenzen von Zink sind nur wenig beschrieben, jedoch sind einige typische Vergiftungserscheinungen bekannt, z.B. Paralyse der Extremitäten, Fortpflanzungsstörungen (LUCKEY et al. 1977, S. 169).

Eine Übersicht über letale Dosen von Zinkverbindungen bei Säugetieren geben LUCKEY et al. (1975, S. 19).

Bleistoffwechsel

"Blei hat in biologischen Systemen keine physiologische Funktion. Es gehört zu den giftigsten Schwermetallen. Seine schädliche Wirkung ist schon seit dem Altertum bekannt.

....

Typische Symptome einer überhöhten chronischen Bleibelastung sind u.a. Anämie, Schlaflosigkeit trotz Müdigkeit und Schwäche sowie Krämpfe als Folge von Schädigung des Nervensystems.

....

Besonders schwerwiegend sind Veränderungen im Blutbild und Knochenmark" (HÖLZINGER 1977, S. 199).

Besondere Beachtung in Hinsicht auf die Eieruntersuchung und der Beurteilung der Toxizität verdient das Phänomen, daß sich Blei vorwiegend in Knochenenge-

weben ablagert und dort Jahre verbleibt. Als Ursache kann die Affinität von Blei auf Thiol-Gruppen angeführt werden.

Der Metabolismus von Blei und Kalzium ist durchaus vergleichbar, daher ist es erklärlich, daß Blei und Bleiverbindungen in den Kalziumstoffwechsel eingreifen. Besonders gefährlich wird es für den jeweiligen Organismus, wenn das Blei wieder aus den Knochengeweben mobilisiert wird und in den Blutkreislauf gelangt. (vgl. LUCKEY et al. 1975).

Eine umfangreiche Dokumentation über die Wirkungen von Blei als Umweltgift geben GRIFFIN & KNELSON (1975).

Die bekannteste und bestuntersuchte Wirkung von Blei ist die Blockierung der Häm-Synthese.