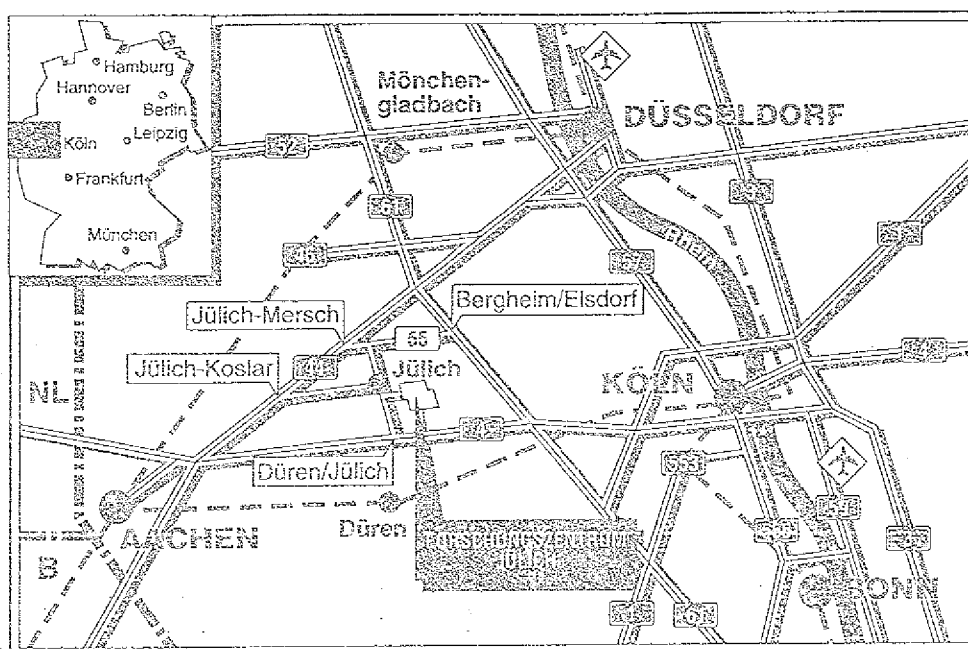


*Institut für Chemie 4:  
Angewandte Physikalische Chemie*

**Schwermetallgehalte in Vogelfedern –  
ihre Ursache und der Einsatz von Federn  
standorttreuer Vogelarten im Rahmen  
von Bioindikationsverfahren**

Edmund Hahn





Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2496

ISSN 0366-0885

Institut für Chemie 5: Erdöl und Organische Geochemie Jül-2496

D 38 (Diss. Universität Köln)

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek

Postfach 1913 · D-5170 Jülich · Bundesrepublik Deutschland

Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d



# **Schwermetallgehalte in Vogelfedern – ihre Ursache und der Einsatz von Federn standorttreuer Vogelarten im Rahmen von Bioindikationsverfahren**

Edmund Hahn

At the time of the testimony given by  
the witness, the same was not  
in the possession of the

|                                                                                                     | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung                                                                                       | 11    |
| 1.1. Bioindikation - ein Instrument der Umweltüberwachung                                           | 11    |
| 1.2. Zielsetzung                                                                                    | 12    |
| 2. Auswahl von für Biomonitoring geeigneten Arten                                                   | 14    |
| 2.1. Elster und Habicht als geeignete Biomonitoren                                                  | 14    |
| 2.2. Probennahme von Federn                                                                         | 17    |
| 2.2.1. Fang von Individuen zur Probennahme von Elsterfedern                                         | 18    |
| 2.2.2. Sammeln von Habicht-Mauserfedern                                                             | 19    |
| 2.2.3. Weitere Methoden zur Federbeschaffung                                                        | 20    |
| 2.3. Ergebnisse                                                                                     | 20    |
| 2.3.1. Elsterfedern                                                                                 | 20    |
| 2.3.2. Habicht-Mauserfedern                                                                         | 21    |
| 3. Bestimmung der Schwermetallgehalte in Vogelfedern                                                | 23    |
| 3.1. Probenvorbereitung                                                                             | 23    |
| 3.1.1. Erfassung und Dokumentation                                                                  | 23    |
| 3.1.1.1. Elsterfedern                                                                               | 23    |
| 3.1.1.2. Mauserfedern von Habichten                                                                 | 24    |
| 3.1.2. Methoden der Probenvorbereitung                                                              | 24    |
| 3.1.2.1. Reinigung der Federn                                                                       | 24    |
| 3.1.2.2. Trocknung der Federn                                                                       | 24    |
| 3.1.2.3. Trennung von Federfahne und Kiel                                                           | 25    |
| 3.2. Aufschluß der Federproben                                                                      | 25    |
| 3.2.1. Offener Naßaufschluß                                                                         | 25    |
| 3.2.2. Naßaufschluß im geschlossenen System                                                         | 26    |
| 3.3. Schwermetallbestimmung mit der Voltammetrie                                                    | 27    |
| 3.3.1. Prinzip der Voltammetrie                                                                     | 27    |
| 3.3.2. Inverse Voltammetrie                                                                         | 28    |
| 3.3.3. Voltammetrische Bestimmung von Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt in Federproben | 30    |
| 3.4. Schwermetalluntersuchungen mit der Feststoff-AAS                                               | 32    |
| 3.4.1. Probenvorbereitung                                                                           | 32    |
| 3.4.2. Referenzmaterial                                                                             | 32    |
| 3.4.3. Bestimmung von Blei und Cadmium in Federn                                                    | 33    |
| 4. Funktion und Struktur der Feder                                                                  | 34    |
| 4.1. Die verschiedenen Funktionen der Federn                                                        | 34    |
| 4.1.1. Wärmeregulation und Schutz                                                                   | 34    |

|          |                                                                                                                         |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2.   | Federn im Funktionskreis des Fliegens                                                                                   | 35 |
| 4.2.     | Morphologie und Feinstruktur der Feder                                                                                  | 36 |
| 4.3.     | Keratin: Grundsubstanz für den Federaufbau - chemische Eigenschaften                                                    | 39 |
| 4.4.     | Aus der "Lebensgeschichte" der Feder                                                                                    | 39 |
| 4.4.1.   | Bildung der Feder                                                                                                       | 40 |
| 4.4.2.   | Pflege der Feder                                                                                                        | 40 |
| 4.4.3.   | Verschleißerscheinungen an Federn                                                                                       | 42 |
| 4.4.4.   | Die Mauser                                                                                                              | 42 |
| 4.5.     | Folgerungen für den Einsatz von Federn als Biomonitoren                                                                 | 44 |
| 5.       | Schwermetalle in Vogelfedern - ein Literaturüberblick                                                                   | 45 |
| 5.1.     | Schwermetalle in Federn als Folge endogener Einlagerungen während des Federwachstums                                    | 46 |
| 5.2.     | Exogener Schwermetalleintrag in Federn nach der Keratinisierung                                                         | 48 |
| 5.3.     | Zusammenfassende Bewertung                                                                                              | 49 |
| 6.       | Experimentelle Untersuchungen zur Eignung von Vogelfedern als Biomonitoren für die atmosphärische Schwermetallbelastung | 51 |
| 6.1.     | Waschversuche                                                                                                           | 51 |
| 6.1.1.   | Material und Methoden                                                                                                   | 51 |
| 6.1.2.   | Ergebnisse der Waschversuche                                                                                            | 52 |
| 6.1.2.1. | Vergleich der Schwermetallgehalte in mit Aceton gewaschenen und unbehandelten Elsterfedern                              | 52 |
| 6.1.2.2. | Vergleich der Bleiverteilung in mit Aceton gewaschenen und unbehandelten Federn                                         | 53 |
| 6.1.2.3. | Schwermetallbestimmungen in den Waschlösungen                                                                           | 54 |
| 6.1.3.   | Diskussion der Waschversuche und Folgerungen                                                                            | 55 |
| 6.2.     | Schwermetallgehalte in Fahne und Kiel                                                                                   | 56 |
| 6.2.1.   | Material und Methoden                                                                                                   | 57 |
| 6.2.2.   | Ergebnisse der Schwermetallbestimmungen in Fahne und Kiel                                                               | 57 |
| 6.2.3.   | Diskussion der Ergebnisse                                                                                               | 58 |
| 6.3.     | Verteilung der Schwermetalle in den Federfahnen                                                                         | 58 |
| 6.3.1.   | Schwermetallgehalte in Innen- und Außenfahnen                                                                           | 58 |
| 6.3.1.1. | Material und Methoden                                                                                                   | 59 |
| 6.3.1.2. | Ergebnisse                                                                                                              | 59 |
| 6.3.1.3. | Diskussion                                                                                                              | 60 |
| 6.3.2.   | Blei- und Cadmiumprofile in den Federfahnen                                                                             | 60 |
| 6.3.2.1. | Material und Methoden                                                                                                   | 61 |
| 6.3.2.2. | Ergebnisse                                                                                                              | 62 |
| 6.3.2.3. | Diskussion                                                                                                              | 70 |

|          |                                                                                                                                           |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.     | Schwermetallgehalte in Hand-, Armschwingen und Steuerfedern                                                                               | 70  |
| 6.4.1.   | Material und Methoden                                                                                                                     | 71  |
| 6.4.2.   | Ergebnisse                                                                                                                                | 72  |
| 6.4.2.1. | Steuerfedern                                                                                                                              | 72  |
| 6.4.2.2. | Handschwingen                                                                                                                             | 74  |
| 6.4.3.   | Diskussion                                                                                                                                | 77  |
| 6.5.     | Schwermetallgehalte in Abhängigkeit vom Alter der Federn                                                                                  | 77  |
| 6.5.1.   | Material und Methoden                                                                                                                     | 78  |
| 6.5.2.   | Ergebnisse                                                                                                                                | 78  |
| 6.5.3.   | Diskussion                                                                                                                                | 83  |
| 6.6.     | Exposition standardisierter Elsterfedern                                                                                                  | 84  |
| 6.6.1.   | Material und Methoden                                                                                                                     | 85  |
| 6.6.1.1. | Ausgewähltes Federmaterial                                                                                                                | 85  |
| 6.6.1.2. | Versuchsanordnung                                                                                                                         | 85  |
| 6.6.1.3. | Standorte                                                                                                                                 | 86  |
| 6.6.1.4. | Expositionsdauer                                                                                                                          | 87  |
| 6.6.1.5. | Probenvorbereitung und Analyse                                                                                                            | 88  |
| 6.6.2.   | Ergebnisse                                                                                                                                | 88  |
| 6.6.3.   | Diskussion                                                                                                                                | 93  |
| 6.7.     | Zusammenfassende Diskussion und Bewertung der Ergebnisse                                                                                  | 94  |
| 6.7.1.   | Exogene Schwermetallauflagerungen als Hauptursache für die Schwermetallgehalte in Vogelfedern                                             | 94  |
| 6.7.2.   | Herkunft der exogenen Schwermetalle in Vogelfedern                                                                                        | 95  |
| 6.7.2.1. | Schwermetallkontamination in Federn durch Kontakt mit Boden und Vegetation                                                                | 95  |
| 6.7.2.2. | Schwermetallkontamination aus Naßdeposition und Kontakt mit Oberflächengewässern                                                          | 96  |
| 6.7.2.3. | Schwermetallkontamination in Federn aus schwermetallhaltigen Aerosolen                                                                    | 96  |
| 6.7.3.   | Mögliche Mechanismen der Schwermetalleinlagerung in die Vogelfedern aus der Atmosphäre                                                    | 98  |
| 7.       | Einsatz von Vogelfedern als Akkumulationsindikatoren zur Abschätzung der atmosphärischen Schwermetallbelastung                            | 101 |
| 7.1.     | Standardisierung der Federproben                                                                                                          | 101 |
| 7.1.1.   | Standardisierung nach dem Alter der Feder bzw. der Expositionsdauer                                                                       | 102 |
| 7.1.2.   | Standardisierung nach der Position im Gefieder bzw. dem Grad der Expositionsintensität                                                    | 102 |
| 7.1.3.   | Ergebnis der Standardisierung                                                                                                             | 103 |
| 7.2.     | Physikalisch-technische Methoden zur Bestimmung der luftgetragenen Schwermetallbelastung als Bezugssystem für den Bioindikator Vogelfeder | 103 |
| 7.2.1.   | Naßdepositionsraten als Bezugsgrößen zum Vergleich mit den Schwermetallgehalten standardisierter Vogelfedern                              | 104 |
| 7.3.     | Charakterisierung der atmosphärischen Schwermetallbelastung mit standardisierten Federn                                                   | 107 |

|      |                                                                                                                                        |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4. | Korrelation der Schwermetallgehalte standardisierter Vogelfedern mit auf physikalisch-technischem Wege ermittelten Naßdepositionsraten | 116 |
| 7.5. | Zusammenfassende Diskussion und Bewertung                                                                                              | 121 |
| 8.   | Zusammenfassung                                                                                                                        | 123 |
| 9.   | Literatur                                                                                                                              | 126 |
| 10.  | Anhang                                                                                                                                 | 134 |

## Verzeichnis der Abbildungen:

- Abb. 2.1.: Relative Auffundhäufigkeiten von Habicht-Handschwingen
- Abb. 3.1.: Verhalten des Faraday-Stromes und des Kapazitätsstromes während der Dauer eines Rechteckimpulses
- Abb. 4.1.: Aufbau einer Schwungfeder am Beispiel der 7.Handschwinge einer Elster (*Pica pica*)
- Abb. 4.2.: Feinstruktur der Feder
- Abb. 4.3.: Die zentifugale Mauser der Steuerfedern bei Elstern
- Abb. 4.4.: Die deszendente Handschwingenmauser der Habichte
- Abb. 6.1.: Verteilung von Blei in ungereinigten und gewaschenen Habicht-Armschwingen
- Abb. 6.2.: Prozentuale Verteilung der Schwermetalle in Fahne und Kiel von 16 Elstersteuerfedern
- Abb. 6.3.: Prozentuale Anteile von Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co in Innen- und Außenfahnen von 5 Elster-Steuerfedern.
- Abb. 6.4.: Entnahme von Mikroproben für die Schwermetallbestimmung mit der Feststoff-AAS am Beispiel einer Habichtarmschwinge
- Abb. 6.5.: Bleigehalte in den hell und dunkel pigmentierten Querbändern der Steuerfeder eines Großen Brachvogels (*Numenius arquata*)
- Abb. 6.6.: Cadmiumgehalte in unterschiedlich pigmentierten Teilen der ersten Handschwinge eines Habichtes (*Accipiter gentilis*)
- Abb. 6.7.: Blei- und Cadmiumverteilung in Handschwingen einer Elster (*Pica pica*)
- Abb. 6.8.: Bleigehalte in der neunten Handschwinge eines Wanderfalken (*Falco peregrinus*)
- Abb. 6.9.: Bleigehalte in der ersten Armschwinge eines Habichtes (*Accipiter gentilis*)
- Abb. 6.10.: Bleigehalte in der dritten Handschwinge eines Uhus (*Bubo bubo*)
- Abb. 6.11.: Bleigehalte in der gerade ausgewachsenen, dritten Handschwinge eines Uhus
- Abb. 6.12.: Blei- und Cadmiumgehalte in einer mindestens ein Jahr alten sechsten Handschwinge eines Uhus
- Abb. 6.13.: Bleiprofile in sechs aufeinanderfolgenden Steuerfedern einer mehrjährigen Elster aus dem Raum Stolberg
- Abb. 6.14.: Bleigehalte in unvermauserten Elster-Steuerfedern
- Abb. 6.15.: Verteilung der Bleigehalte in Elster-Steuerfedern von Jungvögeln aus unterschiedlich belasteten Gebieten
- Abb. 6.16.: Verteilung der Bleigehalte in den einzelnen Steuerfedern einer Rabenkrähe aus Berchtesgaden
- Abb. 6.17.: Cd-, Pb- und Cu-Gehalte in den Handschwingen des linken Flügels eines mehrjährigen Habichtweibchens aus Schleswig-Holstein.

- Abb. 6.18.: Vergleich der Zu- und Abnahmen in den Bleigehalten der rechten Handschwingen eines Habichts o im Jugendkleid aus Berchtesgaden und der linken Handschwingen eines mehrjährigen Weibchens aus Schleswig-Holstein
- Abb. 6.19.: Schwermetallgehalte in den beiden äußeren Steuerfedern einer Elster aus dem Raum Saarbrücken
- Abb. 6.20.: Vergleich der Bleigehalte unvermauserter, äußerer Steuerfedern (S-6) und frisch vermauserter, mittlerer Steuerfedern (S-1)
- Abb. 6.21.: Cadmium-, Kobalt- und Nickelgehalte in wachsenden, mittleren Steuerfedern juveniler Elstern in Abhängigkeit von der Federlänge bzw. dem Alter der Federn
- Abb. 6.22.: Expositionsring
- Abb. 6.23.: Anordnung der Expositionsringe an den Meßstandorten
- Abb. 6.24.: Zinkgehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.25.: Cadmiumgehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.26.: Bleigehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.27.: Kupfergehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.28.: Nickelgehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.29.: Kobaltgehalte in den exponierten Federn
- Abb. 6.30.: Flügelbewegung in der Frontalsicht
- Abb. 7.1.: Lage der Probennahmestandorte von Elster- und Habichtmauserfedern im Raum Stolberg/Rhld.
- Abb. 7.2.: Cadmiumgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.3.: Bleigehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.4.: Kupfergehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.5.: Zinkgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.6.: Nickelgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.7.: Kobaltgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern
- Abb. 7.8.: Regressionsgeraden aus den Cadmiumgehalten standardisierter Elstersteuerfedern bzw. Habichthandschwingen und Raten der Cd- Naßdeposition
- Abb. 7.9.: Regressionsgeraden aus den Bleigehalten standardisierter Elstersteuerfedern bzw. Habichthandschwingen und Raten der Pb- Naßdeposition
- Abb. 7.10.: Regressionsgeraden aus den Kupfergehalten standardisierter Elstersteuerfedern bzw. Habichthandschwingen und Raten der Cu-Naßdeposition

#### Verzeichnis der Tabellen:

- Tab. 3.1.: Ergebnisse der Blei- und Cadmiumbestimmungen in einem Federhomogenat mit verschiedenen analytischen Methoden
- Tab. 6.1.: Vergleich der Schwermetallgehalte in mit Aceton gewaschenen Federn und unbehandelten Federn
- Tab. 6.2.: Anteil der mit Aceton von Federn abgewaschbaren Schwermetalle
- Tab. 6.3.: Schwermetallgehalte in ein Jahr alten und frisch vermauserten Elstersteuerfedern vergleichbarer Position im Gefieder
- Tab. 6.4.: Schwermetallgehalte in Elstersteuerfedern nach irregulärer Mauser
- Tab. 6.5.: Expositionsdauer und Entnahmetermine
- Tab. 6.6.: Korrelationskoeffizienten und Gleichungen der Regressionsgeraden für die Beziehung Schwermetallgehalte in exponierten Elsterfedern und Expositionszeit
- Tab. 6.7.: Schwermetallgehalte in der 7. Armschwinge eines ein Jahr alten, brütenden Elsterweibchens aus Stolberg-Werth (E-5) und in 258 Tagen exponierten Federn vom selben Standort
- Tab. 7.1.: Zuordnung der Probennahmestandorte von Elster- und Habichtfedern
- Tab. 7.2.: Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten ( $r_s$ ) und Korrelationskoeffizienten ( $r_{log}$ ) für den Zusammenhang zwischen Naßdepositionsraten (X) und Schwermetallgehalten standardisierter Federn (Y)
- Tab. 10.1.: Angaben zu Herkunft, Alter, Gewicht, Geschlecht, Mauser und Gefiederzustand der zur Probennahme herangezogenen Elstern
- Tab. 10.2.: Schwermetallgehalte in den Waschlösungen der mit Aceton abgespülten Habicht- und Elsterfedern
- Tab. 10.3.: Schwermetallgehalte und ihre prozentuale Verteilung in Fahne und Kiel von Elster-Steuerfedern
- Tab. 10.4.: Schwermetallgehalte in Innen- und Außenfahne einer mehrjährigen Elster
- Tab. 10.5.: Schwermetallgehalte in den Steuerfedern einer Rabenkrähe aus Berchtesgaden im Vergleich zu den Federlängen
- Tab. 10.6.1.: Zinkgehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.6.2.: Cadmiumgehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.6.3.: Bleigehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.6.4.: Kupfergehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.6.5.: Nickelgehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.6.6.: Kobaltgehalte in Steuerfedern von Elstern
- Tab. 10.7.: Schwermetallgehalte in Handschwingen von Habicht, Elster und Rabenkrähe
- Tab. 10.8.: Schwermetallgehalte in wachsenden Steuerfedern juveniler Elstern

- Tab. 10.9.: Informationen zu den exponierten Elster-Armschwingen und Zuordnung im Versuch
- Tab. 10.10.: Schwermetallgehalte in Elster-Armschwingen nach unterschiedlich langen Expositionszeiten an drei Standorten mit unterschiedlicher Belastungssituation
- Tab. 10.11.: Schwermetallgehalte in Habicht-Handschwingen
- Tab. 10.12.1.: Zinkgehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.12.2.: Cadmiumgehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.12.3.: Bleigehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.12.4.: Kupfergehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.13.1.: Zinkgehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.13.2.: Cadmiumgehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.13.3.: Bleigehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten
- Tab. 10.13.4.: Kupfergehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten

## 1. Einleitung

### 1.1. Bioindikation - ein Instrument zur Umweltüberwachung

Vom Menschen verursachte Stoffeinträge in die Biosphäre führen dazu, daß Substanzen in Abhängigkeit von ihren chemischen Eigenschaften (Persistenz, Akkumulationsfähigkeit) bzw. Konzentrationen in Umweltkompartimenten auftreten, die Lebewesen, insbesondere den Menschen gefährden. Um diese Risiken frühzeitig abschätzen zu können und daraus entsprechende Richtlinien und Programme für die Umweltgesetzgebung abzuleiten, sind Untersuchungen zu Verbleib und Wirkung dieser Stoffe unumgänglich. Die Problematik ökotoxikologischer Untersuchungen liegt im Grad der Repräsentativität ihrer Ergebnisse für komplexe Ökosysteme.

So lassen sich auf der Ebene von Labortests direkte Wirkungen einzelner Substanzen auf ausgewählte Organismen untersuchen. Diese Tests sind standardisierbar und liefern präzise und reproduzierbare Ergebnisse. Aufgrund komplexer Wirkungsgefüge des Untersuchungsgegenstandes Umwelt lassen sich die Ergebnisse solcher Tests nicht ohne weiteres auf Ökosysteme übertragen. Somit ist ihre Aussagekraft bezüglich der realen Umweltsituation gering. Für Umweltplanung und -politik müssen ökotoxikologische Untersuchungen eine größtmögliche Umweltrelevanz bzw. Repräsentativität besitzen.

Einen Lösungsansatz in diesem Spannungsfeld bieten Bioindikationsverfahren. Unter dem Begriff Bioindikation werden eine Vielzahl von Methoden zusammengefaßt, bei denen mit Hilfe von Organismen bestimmte Verhältnisse in der Umwelt der jeweiligen Individuen angezeigt werden (BICK 1982, ELLENBERG 1980, SCHUBERT 1985).

Hinsichtlich abnehmender Reproduzierbarkeit bzw. steigender Relevanz für Umweltplanung und -politik lassen sich die unterschiedlichen Bioindikationsverfahren ordnen (vgl. auch HOFFMAN et al. 1990):

1. Testorganismen in toxikologischen Labortests (chemical screening). Synergismen bzw. Wechselwirkungen werden durch diese in hohem Maße standardisierbaren und reproduzierbaren Tests nicht erfasst. Die Ergebnisse lassen nur begrenzt Aussagen über Gefährdungen von Ökosystemen zu.
2. Biomonitoren sind im Gegensatz dazu Lebewesen, die zur qualitativen und quantitativen Überwachung von Schadstoffen in der Umwelt und damit auch zum Nachweis von Immissionswirkungen verwendet werden (controlled field and mesocosm studies).
3. Bioindikatoren im engeren Sinn gestatten an Hand ihres Vorkommens, Rückganges oder ihrer Zunahme an Freilandstandorten Aussagen über das Wirken von bestimmten Umweltfaktoren in Ökosystemen (field ecology). Eine Quantifizierung der Aussage oder ein einwandfreier Rückschluß auf

die Dosis ist meist aufgrund des Zusammenwirkens verschiedener Ursachen nach unserem heutigen Wissen nicht möglich.

Verbleib und Wirkung von Schadstoffen in der Umwelt lassen sich kaum mit nur einer der o.g. Methoden erfassen. Die einzelnen Verfahren liefern vielmehr Mosaiksteine, die zur abschließenden Risikoabschätzung zusammengefügt werden müssen. Eine gezielte Zusammenführung der auf den verschiedenen Verfahrensebenen gewonnen Ergebnisse, kann dann präzisere und repräsentativere Aussagen für die Umweltgesetzgebung liefern. Die vorliegende Arbeit ist in diesem Zusammenhang auf der Ebene des Biomonitorings einzuordnen, wobei mit Hilfe definierter Umweltproben die Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten erfaßt werden soll.

Pflanzen werden häufig und erfolgreich als Biomonitoren zur Erfassung von Luftschadstoffen eingesetzt (ARNDT, NOBEL & SCHWEIZER 1987). Aufgrund ihrer sessilen Lebensweise erlauben einzelne Pflanzen aber nur die punktuelle Integration von Schadstoffbelastungen über die Zeit. Dagegen können Tiere als Biomonitoren in ihrem Aktionsraum Schadstoffbelastungen über Zeit und Raum integrieren.

## 1.2. Zielsetzung

Durch den Vergleich der in definierten biologischen Proben gemessenen Schadstoffgehalte mit auf physikalisch-technischem Weg ermittelten Immissionsraten lassen sich die mit Biomonitoren indizierten Belastungen bestätigen und quantifizieren. ELLENBERG & DIETRICH (1984) konnten zeigen, daß die Blei- und Cadmiumgehalte standardisierter Habichtfedern mit den Naßdepositionsraten dieser Elemente, d.h. dem Eintrag über Niederschläge, aus gleichen Zeit- und Bezugsräumen korrelieren und sich somit Habichtfedern als Biomonitoren zur Erfassung der Blei- und Cadmiumbelastung von Landschaftsausschnitten eignen. Ausgehend von diesen Ergebnissen soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden:

- Wie ist der Zusammenhang zwischen den Schwermetallgehalten in Vogelfedern und den Naßdepositionsraten zu erklären, d.h. was repräsentieren die Schwermetallgehalte in Vogelfedern: sind sie durch Nahrung und Physiologie endogen bedingt oder spiegeln sie exogene Schwermetallkontaminationen wider?
- Korrelieren neben den toxischen Metallen Blei und Cadmium auch die Gehalte der essentiellen Elemente Zink, Kupfer, Nickel und Kobalt in standardisierten Habichtfedern mit Naßdepositionsraten und läßt sich diese Beziehung für standardisierte Federn einer weiteren Vogelart, der Elster, aufzeigen?

- Was muß beim praktischen Einsatz von Vogelfedern als Biomonitoren zur Erfassung der Schwermetallbelastung beachtet werden?

Zur Klärung dieser Fragen wurden die Elemente Zink, Kupfer, Kobalt, Nickel, Blei und Cadmium, die sich hinsichtlich ihrer physiologischen Bedeutung und Toxizität unterscheiden, in ausgewählten Federproben bestimmt. Diese Untersuchungen wurden vergleichend für die beiden Vogelarten Elster (*Pica pica*) und Habicht (*Accipiter gentilis*) durchgeführt, um Einflüsse durch verschiedene Aktionsraumgrößen, unterschiedliche Raum-Zeit-Nutzung und divergierende trophische Stellung im Nahrungsnetz zu erfassen.

Abschließend soll die Anwendung von standardisierten Elster- und Habichtfedern als Biomonitoren zur Erfassung von Schwermetallbelastungen an einigen ausgewählten Standorten der Bundesrepublik Deutschland beschrieben werden.

## 2. Auswahl von für Biomonitoring geeigneten Arten

Biomonitoring bedeutet das Überwachen von zeitlichen und räumlichen Trends in der Verteilung und ökologischen Wirkung von Umweltchemikalien mit Hilfe von Organismen. Begrenzte finanzielle, apparative wie personelle Mittel und die Komplexität des Themas zwingen zur Beschäftigung mit nur wenigen, gut ausgewählten und aussagekräftigen Arten. Es ist deshalb wesentlich, mit Hilfe von nachvollziehbaren Kriterien geeignete Arten auszuwählen und sich in den Arbeiten auf diese zu konzentrieren.

Zur Auswahl von für Biomonitoring geeigneten Arten existieren eine Reihe von Kriterienlisten (DRESCHER-KADEN et al. 1979, ELLENBERG 1981, LEWIS & LEWIS 1979, MOORE 1966 und SCHULZ-BALDES 1982). In der Praxis zeigt sich jedoch, daß es den idealen Biomonitor, der alle aufgestellten Kriterien gleich gut erfüllt, nicht gibt. Mit einer Einordnung der einzelnen Kriterien nach ihrer Wichtigkeit im Bezug auf die Fragestellung (vgl. HAHN 1984) läßt es sich leichter entscheiden, ob eine zu untersuchende Art die wesentlichen Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz als Biomonitor besitzt. Darüber hinaus können Arten Eigenschaften besitzen, die die praktische Arbeit, wie Probennahme und Standardisierung, wesentlich erleichtern.

### 2.1. Elster und Habicht als geeignete Biomonitoren

An Hand eines gewichteten Kriterienkataloges, in dem zusätzlich der Erfüllungsgrad der einzelnen Anforderungen durch die jeweils betrachtete Art bewertet wird, lassen sich für Biomonitoring geeignete Arten herausfiltern (vgl. HAHN 1984). Aus der Gruppe der mitteleuropäischen Wirbeltierarten haben sich Habicht und Elster als besonders geeignete Biomonitoren herausgestellt (ELLENBERG et al. 1985). Im folgenden wird die Auswahl von Elster und Habicht anhand dieser Kriterien kurz begründet:

**Raumbezug:** Elster und Habicht lassen durch ihr weitgehend standorttreues Raum-Zeit-Verhalten (GAST 1984, DIETRICH 1982, DREIFKE 1990, ZIESEMER 1983) klare raumbezogene Aussagen zu.

**Belegbare Nahrungszusammensetzung:** Für eine Vielzahl von Umweltchemikalien stellt die Nahrung den Haupteintragspfad für die Belastung im Organismus dar. So spiegeln z. B. hohe Quecksilbergehalte in Federn die Belastungen über die Nahrungsnetze wider (LINDBERG 1984). Für die untersuchten Elemente Cd, Pb, Cu, Ni und Co besitzt dieses Kriterium eine untergeordnete Bedeutung, da diese Schwermetallgehalte in Federn, wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, zum weitaus größten Teil exogenen Ursprungs sind.

**Ausreichende Schadstofftoleranz:** Biomonitoren sollen im Gegensatz zu Wirkungsindikatoren die Umweltbelastung eines Raumes sammeln, ohne darauf als qualitative Indikatoren z.B. durch ihr

Verschwinden zu reagieren. Biomonitoring setzt Arten voraus, die trotz zunehmender Umweltbelastung für Untersuchungen zur Verfügung stehen. So reagiert z.B. der Habicht, im Gegensatz zum nah verwandten Sperber, nicht mit Populationsrückgängen auf Belastung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (vgl. NEWTON 1986). Im Bezug auf Schwermetalle zeigen Habicht und Elster keine auffällige Sensibilität.

Die drei o.g. Kriterien stellen die theoretischen Voraussetzungen dar, um mit Tierarten ein erfolgreiches Biomonitoring betreiben zu können. Darüber hinaus existieren eine ganze Reihe von Anforderungen, die für die Umsetzung von Biomonitoring in die Praxis von wesentlicher Bedeutung sind.

Häufiges Vorkommen in Verbindung mit einem gleichmäßigen Verteilungsmuster von Individuen über den Raum ermöglicht eine weitgehend flächendeckende Probenziehung. Beide Arten, Habicht und Elster, kommen in der Bundesrepublik Deutschland praktisch flächendeckend vor (vgl. RHEINWALD 1982).

Ebenso verhält es sich mit der Verteilung der beiden Arten in Bezug auf die Zeit. Das Fehlen ausgeprägter Populationsschwankungen bei Habicht und Elster läßt zeitlich kontinuierliche Untersuchungen und Probennahmen zu, wie auch die hier beschriebenen Untersuchungen (Kap. 7) zeigen.

Biomonitoren sollen Schadstoffe in sicher und leicht bestimmbar Konzentrationen akkumulieren. Die gemessenen Schwermetallgehalte in Habicht- und Elsterfedern liegen weit oberhalb der Nachweisgrenze der verwendeten Methoden (AAS, Voltammetrie).

Im Rahmen von Bioindikationsverfahren ist es zur Probengewinnung in der Regel unvermeidlich, Tiere zu beeinträchtigen oder gegebenenfalls zu töten. Zum Schutz und zur Pflege wildlebender Tierarten bestehen eine Vielzahl von Gesetzen, Bestimmungen und Empfehlungen (Washingtoner Artenschutzabkommen, Bundesartenschutzverordnung, Jagd- und Fischereigesetze, "Rote Listen", u.a.). Solche Normen sind selbstverständlich zu beachten. Gesetzliche Bestimmungen können durch Ausnahmegenehmigungen überwunden werden. Beim Biomonitoring mit Vogelfedern erweist es sich als besonderer Vorteil, daß zur Probennahme von Federn keine Tiere getötet werden müssen. Beim Aufsammeln von Mauserfedern ist die Beeinträchtigung von Individuen minimal.

Habichte unterstehen dem Jagdrecht und besitzen ganzjährige Schonzeit (vgl. Bundesjagdgesetz). Damit steht dem Jagdausübungsberechtigten das Aneignungsrecht von Habicht-Mauserfedern zu. Diese Aneignungsrechte sind zu beachten. Nach eigenen Erfahrungen ist es nach Absprache mit den entsprechenden Jagdpächtern ohne weiteres möglich, Habichtmauserfedern zu sammeln, da es sich um Objekte mit geringem Wert handelt, an denen meistens wenig Interesse besteht.

Elstern sind seit dem 1.1.87 nach der Bundesartenschutzverordnung als besonders geschützte Tierart eingestuft. Ausnahmegenehmigungen zum Fang von Elstern und der Entnahme von Federn sind nach § 20 g

BNatSchG in Verbindung mit § 13 BArtSchV möglich und werden zum Zweck der Forschung nach eigenen Erfahrungen immer erteilt.

Die konkrete Schadstoffbelastung eines Individuums unterliegt jahreszyklischen und/oder physiologischen Schwankungen. Alter, Geschlecht, Ernährungszustand etc. sind daher bei der Probenziehung zu dokumentieren. Um eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten zu garantieren, muß eine Standardisierung der Proben stattfinden.

Bei den Habichtproben erfolgt die Standardisierung durch das Aufsammeln gemauselter Handschwingen von brütenden Habichtweibchen. Da Habichtweibchen ihre Handschwingen jährlich zur Brutzeit konsekutiv mausern (vgl. Kap. 4.4.4.), sind die gewonnenen Federproben nach Alter und Geschlecht standardisiert.

Die Probennahme standardisierter Elsterfedern erfolgt durch den Fang revierbesitzender Elstern während der Brutzeit. Zu diesem Zeitpunkt beginnt die Erneuerung des Großgefieders. Die Federproben sind dann in der Regel 10-12 Monate alt.

Durch die Integration von Schadstoffen über repräsentative Zeit- und Bezugsräume ergänzt und verbessert Biomonitoring technische Überwachungssysteme. Viele kostspielige Einzelanalysen lassen sich so einsparen. Der Bezugsraum, über den ein Biomonitor Schadstoffe integriert, deckt sich mit dem Aktionsraum des betrachteten Individuums. Die Größenordnung für den "normalen" Aktionsraum eines Individuums der betrachteten Art sollte bekannt sein. Großflächige integrierende Biomonitoren haben den Vorteil, daß nur wenige Analysen einen Überblick über Verteilungsmuster und Trends von Schadstoffen zulassen.

Aus Untersuchungen über Jagdgebiete (ZIESEMER 1983), Aktionsräume (DIETRICH 1982) und Aktivitätsmuster (WIDEN 1984) des Habichts geht hervor, daß Habicht-Mauserfedern die Belastungen über Bezugsräume bis zu 100 km<sup>2</sup> und über die Zeitdauer von einem Jahr repräsentieren.

GAST (1984) ermittelte für Elstern Aufenthaltsgebiete von durchschnittlich 7 ha während der Brutzeit. Diese Gebiete sind im Winter ca. 30% größer (VINES 1981). Elsterfedern integrieren also die Belastungen in einem Jahr über Bezugsräume kleiner 1 km<sup>2</sup>. Elstern eignen sich aufgrund ihres Raum-Zeit-Verhaltens im Gegensatz zum Habicht zur Erfassung kleinräumiger Belastungsunterschiede.

Beobachtungsergebnisse aus dem Freiland sollten gegebenenfalls durch Experimente unter Laborbedingungen verifiziert werden können. Dazu ist es notwendig, daß sich die entsprechende Tierart ohne große Probleme in Gefangenschaft halten läßt. Habicht und Elster sind bezüglich der Experimentierbarkeit geeignete Biomonitoren. Besonders beim Habicht sind durch die Falknerei umfangreiche Kenntnisse über Haltung und Zucht vorhanden (HENTSCHEL 1985).

Durch die Vergleichbarkeit mit anderen Arten wird eine wesentliche Zielsetzung des Biomonitorings angesprochen, die Stellvertreterfunktion, d.h. der Bezug zum Menschen. Arten, die in Nachbarschaft zum Menschen leben, können rechtzeitig auf Gefährdungen für den Menschen aufmerksam machen. Habichte und vor allem Elstern zeichnen sich durch eine "menschennahe" Lebensweise aus. Damit können sie zur Indikation von Schadstoffeinträgen in vom Menschen genutzte Ökosysteme herangezogen werden.

Gerade auch aus praktischen Überlegungen empfehlen sich Habicht und Elster als Biomonitoren. Beide Arten sind leicht nachweisbar. Elstervorkommen lassen sich anhand ihrer charakteristischen Nester leicht kartieren. Habichtvorkommen sind gezielt in Althölzern vor Eintritt der Belaubung anhand ihrer Horste nachweisbar. Einmal besetzte Horste werden über Jahre benutzt (LINK 1986).

Damit die Probenziehung unter vertretbarem Zeit- und Personalaufwand durchführbar ist, sollten die untersuchten Arten leicht "greifbar" sein. Die Probennahme von Habicht-Mauserfedern erfolgt problemlos durch Aufsammeln der Federn in Horstnähe. Für die Probennahme von Elsterfedern ist das Fangen territorialer Individuen nach einer ausgearbeiteten Fangmethode effizient möglich (vgl. Kap. 2.2.).

Biomonitoring ist ein internationaler Forschungsansatz, der sich um Vergleichbarkeit nationaler Projekte bemühen muß. Eine weite Verbreitung der als Biomonitoren genutzten Arten ermöglicht vergleichende Untersuchungen auf internationaler Ebene. Der Habicht ist fast über die ganze Holarktis verbreitet (VOOUS 1962). Das Areal der Elster erstreckt sich in Eurasien von der Iberischen Halbinsel über Mitteleuropa, die Sowjetunion bis Kamtschatka und China. Sie kommt auch in Nordafrika und Nordamerika vor (BÄHRMANN 1968).

Arten mit weitgefaßten Standortansprüchen finden in der Regel eine größere Verbreitung als stenöke Arten. Für Biomonitoring sind die euryöken Arten von Vorteil. Sie ermöglichen, Proben auf möglichst vielen Untersuchungsflächen zu sammeln und unterschiedliche Biotope mit denselben Arten zu beurteilen. Habicht und Elster sind hinsichtlich ihrer Lebensraumansprüche ausgesprochene Generalisten und kommen in unterschiedlichsten Biotoptypen vor.

## 2.2. Probennahme von Federn

Im folgenden sollen die verschiedenen Methoden dargestellt werden, mit denen unter vertretbarem Zeit- und Personalaufwand aktuelle Federproben von Habicht und Elster gesammelt werden können.

Der Fang von Individuen stellt für die Datengewinnung die optimale Ausgangssituation dar, da gleichzeitig mit der Probennahme Informationen über Alter, Geschlecht, Ernährungszustand, Mauser etc. gesammelt werden können. Andererseits ist das Fangen von Individuen in der Regel mit erheblichem Zeitaufwand

verbunden. Es müssen hierzu eine praktikable und effektive Fangmethode vorhanden sein, gesetzliche Vorschriften beachtet und gegebenenfalls Ausnahmegenehmigungen eingeholt werden.

Zur Probennahme von Elsterfedern ist das Fangen revierbesitzender Individuen die effektivste Methode. Die Mauserfedern der Elstern lassen sich nicht wie beim Habichtweibchen gezielt in Nestnähe aufsammeln, sondern sind weiträumig verstreut und damit schwieriger und zeitaufwendiger zu finden.

### 2.2.1. Fang von Individuen zur Probennahme von Elsterfedern

Elstervorkommen sind im Frühjahr vor Einsatz der Balaubung durch Kartierung der gut erkennbaren Nester großräumig erfassbar (vgl. auch GAST 1984, HAAFKKE 1987). Von Ende April bis Mai, während der Brutperiode, wird durch Beobachtung brütender bzw. fütternder Altvögel kontrolliert, ob die Nester besetzt sind.

Elstern sind monogam. Einmal verpaarte Individuen bleiben zeitlebens zusammen und besetzen ca. 10 ha große Territorien. Vor und während der Brutzeit werden in das Territorium eindringende Artgenossen heftig attackiert. Der Grund für dieses aggressive Territorialverhalten revierbesitzender Elstern liegt in der potentiellen Gefährdung bzw. Minderung des eigenen Reproduktionserfolges durch Abwerben eines Partners, Fremdinsemination des verpaarten Weibchens, Raub von Nest, Eiern, Jungen und/oder eines Teils des Territoriums. Die Heftigkeit der Angriffe ist abhängig von der Entfernung des Eindringlings vom Nest sowie vom Stadium des Brutgeschäftes, wie in den Untersuchungen von BAEYENS (1981a,b) und BIRKHEAD (1979) ausführlich dokumentiert. Eine solch intensive Verteidigung der Territorien findet sich im Vergleich mit anderen Corviden nur bei der Elster (RÖELL & BOSSEMA 1982).

Auf dieser ausgeprägt aggressiven Territorialität beruht die verwendete Fangmethode, die gezielt auf ausgesuchte Individuen angewendet werden kann. Bei der sogenannten Bal-Chatrri-Methode (BUB 1984, BAEYENS 1981b) wird eine Elster als Lockvogel in einem Käfig, der im oberen Teil und an den Seiten mit Nylonschlingen versehen ist, untergebracht. Auf der Oberseite und seitlich am Käfig werden Fleischstückchen befestigt, die einen zusätzlichen Anreiz für die angreifenden Elstern bieten (vgl. GAST 1984).

Der Fangkäfig mit der Lockelster wird weithin sichtbar in Nestnähe aufgestellt. Bei dieser Methode kann die Gefahr von Verletzungen der Wildvögel nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher muß die Fanganlage aus sicherer Entfernung ständig überwacht werden. Als Beobachtungsunterstand erwies sich ein Auto als zweckmäßig, da es ab einer Entfernung von etwa 50 m von den Elstern nicht als störend empfunden wird.

Das Abspielen von Elsterrufen von einem in Käfignähe aufgestellten Cassettenrecorder macht die Wildelstern schneller auf den Eindringling aufmerksam und beschleunigt somit die Fangaktion. Die heftigsten Angriffsreaktionen der Revierbesitzer und die größten Fangerfolge lassen sich zu Beginn bzw. am Ende der Brutperiode erzielen, wenn die Gefahr der Fremdinsemination des Weibchens bzw. der Raub von fast flüggen Jungen am größten ist. Nach der Brutzeit konnten auch ausgeflogene Jungvögel gefangen werden, die noch unerfahren und relativ neugierig vor allem auf die am Käfig angebrachten Fleischstückchen reagierten.

Der Fangerfolg ist in den frühen Morgenstunden am größten, da die Elstern dann ihr Revier kontrollieren und Nahrung suchen. Hinzu kommt, daß Störungen durch Passanten zu dieser Tageszeit in der Regel sehr gering sind.

Für den Fang und die Probennahme von Elstern lagen Ausnahmegenehmigungen nach § 20g BNatSchG in Verbindung mit § 13 BArtSchV vor.

Die gefangenen Elstern wurden vor Ort gewogen. Die Altersbestimmung der Vögel erfolgte anhand der Ausfärbung der 10. Handschwinge (ERPINO 1968). Ernährungszustand, Mauser, Gewicht, Geschlecht und Alter wurden in speziellen Erfassungsbögen protokolliert.

Die zur Analyse vorgesehenen Steuerfedern wurden ausgezogen und in Polyethylenbeutel verpackt. Einzelne Elstern wurden für weitergehende Untersuchungen direkt nach dem Fang mit Chloroform eingeschläfert. Alle Proben wurden bis zur Analyse bei -16°C gelagert.

### 2.2.2. Sammeln von Habicht-Mauserfedern

Voraussetzung für das Sammeln von Habicht-Mauserfedern ist die Kartierung von Habichthorsten in den Untersuchungsgebieten. Bevorzugte Nisthabitate des Habichtes sind strukturreiche Nadel- und Mischwaldhölzer. Diese werden im zeitigen Frühjahr vor der Belaubung auf vorhandene Horste hin abgesucht. Die gefundenen Horste müssen zu Beginn der Brutzeit nochmals kontrolliert werden, um zu prüfen, ob sie tatsächlich besetzt sind. Hinweise auf beflogene Horste sind aufgeschichtete Reiser an den Horsträndern, Horstbegrünung mit frischen Zweigen, helle Pelzdunen am Horstrand, Kotspritzer und Rupfungsreste.

In Nadelwäldern, in denen Horste oft schwer zu erkennen sind, (z.B. Nordeifel) können Habichtbruten auch durch Verhören bettelnder Jungvögel erfasst werden. In den frühen Morgenstunden werden Nadelaltholzkomplexe systematisch abgelaufen, um Horste anhand der Bettelrufe hungriger Jungvögel auszumachen.

Mit der Ablage des ersten Eies beginnt die Handschwingenmauser beim Habichtweibchen. Die Bebrütung des Geleges und die entstehenden Mauserlücken beschränken den Aktionsraum des Weibchens in dieser Zeit auf die nähere Horstumgebung. Daher findet man die abgeworfenen Handschwinge in einem relativ kleinen Areal, bevorzugt in Einflugschneisen zum Horst und unter Sitzbäumen.

Zum Aufsammeln der Mauserfedern wurden die Habichthorste von Ende April bis Mitte Juli in Abständen von ca. zwei Wochen systematisch abgesucht. Faktoren, die den Sammelerfolg beeinflussen, sind die Orographie im Horstgebiet und die Ausbildung der Strauchschicht. In stark reliefierten Gebieten oder bei dichter Bodenbedeckung sind Mauserfedern nur schwer auszumachen.

Die aufgesammelten Mauserfedern wurden in Polyethylenbeuteln verpackt bei -16° C gelagert.

### 2.2.3. Weitere Methoden zur Federbeschaffung

Neben den oben beschriebenen Methoden besteht die Möglichkeit durch Auswertung von Totfunden und Rupfungen an Federmaterial zu kommen.

Vor Inkrafttreten der Bundesartenschutzverordnung am 01.01.1987 war die Elster nach dem Naturschutzrecht nicht besonders geschützt, jagdrechtlich durfte sie im Rahmen des Jagdschutzes als "Raubzeug" bekämpft werden. Daher bestand die Möglichkeit von den jeweiligen Revierbesitzern geschossene Elstern zu bekommen. Heute sind zum Abschluß von Elstern Ausnahmegenehmigungen nach § 20g Abs. 2 BNatSchG erforderlich, die auf Antrag erteilt werden.

Die gleiche Rechtslage besteht für die Beizjagd auf Elstern. Auch diese Methode, bei der mit speziell abgetragenen Falkenterzeln auf Elstern gejagt wird (WALLER 1982), ist prinzipiell zur Probennahme geeignet. Allerdings ist diese Methode zeit- und personalaufwendig.

## 2.3. Ergebnisse

### 2.3.1. Elsterfedern

In den Jahren 1984, 1985 und 1987 wurden von insgesamt 65 Elstern Federproben gezogen. In Tab. 10.1. im Anhang sind Angaben zu Herkunft, Alter, Gewicht, Geschlecht, Mauserzustand und Fangdaten zusammengestellt. Von den 65 Elstern waren 45 mindestens ein Jahr alt, 20 juvenil. Insgesamt wurden 51

Elstern mit der Bal-Chatri Methode gefangen, zwei waren Aushorstungen von Lockvögeln und 12 Individuen wurden von Jagdausübenden geschossen und zur Verfügung gestellt.

Die Fangaktionen erstreckten sich auf die Monate Mai, Juni und Juli. Der Zeitaufwand zum Fang von Elstern variierte zwischen 30 Minuten und maximal 3 Stunden. Längere Fangzeiten sind mit Rücksicht auf den Lockvogel nicht empfehlenswert. Die effektivste Tageszeit zum Fangen ist der frühe Morgen zwischen 5.30<sup>h</sup> und 7<sup>h</sup>. Insgesamt kann zur Probennahme von Elstern ein Zeitaufwand von ca. vier Stunden pro Individuum veranschlagt werden.

### 2.3.2. Habicht-Mauserfedern

Sammelaktionen von Habicht-Mauserfedern fanden in den Jahren 1987, 1988 und 1989 statt. Neben Handschwingen wurden einzelne Steuerfedern, Armschwingen und Körpergefieder aufgesammelt. In Abb. 2.1. ist graphisch dargestellt, wie häufig bestimmte Habicht-Handschwingen an den kontrollierten Horsten bzw. aus dem insgesamt aufgesammelten Material gefunden wurden. Die Auswertung beschränkt sich auf die für die späteren Schwermetallanalysen relevanten ersten sechs Handschwingen.

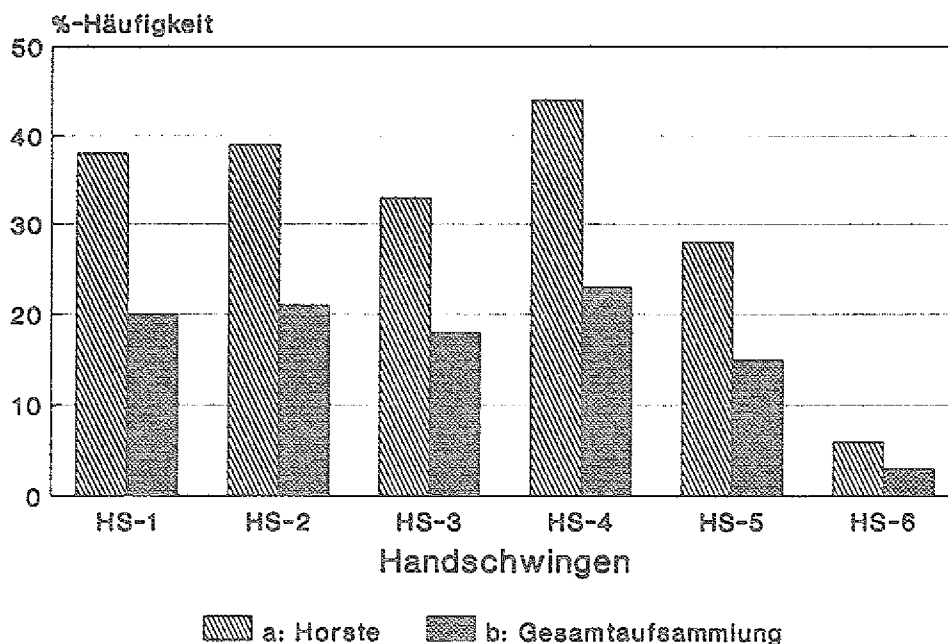


Abb. 2.1.: Relative Auffundhäufigkeiten von Habicht-Handschwingen bezogen auf alle Horste (a) bzw. auf die gesamte Federsammlung (b).

In den drei Sammelperioden wurden an 32 Habichthorsten insgesamt 120 Handschwingen der Positionen 1.-6. gefunden. Die äußersten Handschwingen 7.-10. konnten nur vereinzelt gesammelt werden und sind daher bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Im Vergleich zu ELLENBERG & DIETRICH (1984), in deren Aufsammlung aus dem Jahr 1983 die 3. Handschwinge am häufigsten vertreten war, konnte hier keine ausgeprägte Präferenz für die Auffindhäufigkeit einer der fünf ersten Handschwingen festgestellt werden.

Betrachtet man den Zeitaufwand, der zum Sammeln der Mauserfedern benötigt wird, so läßt sich pro Feder eine reine Sammelzeit von ca. zwei Stunden veranschlagen. Hinzu kommen Kartier- und Anfahrtzeiten.

### 3. Bestimmung der Schwermetallgehalte in Vogelfedern

#### 3.1. Probenvorbereitung

Eine wesentliche Voraussetzung für die Interpretierbarkeit rückstandsanalytischer Untersuchungen ist eine korrekte Probenvorbereitung. Ziel der Probenvorbereitung ist, die richtige Konzentrationsbestimmung im zu untersuchenden Probenmaterial zu ermöglichen (SANSONI & IYENGAR 1978). Dies heißt zum einen:

- Entfernung bzw. Verhinderung von Sekundärkontaminationen,
- Verhinderung von Elementverlusten bei der Probenvorbereitung,
- Abtrennung von störenden Begleitsubstanzen bzw. angrenzenden Matrices,

zum anderen bedeutet dies:

- Erfassung und Dokumentation der Besonderheiten der einzelnen Probe als Informationsbasis für die spätere Interpretation der Analyseergebnisse.

Bei den Untersuchungen zum Schwermetallgehalt in Vogelfedern, müssen Erfassung und Dokumentation der individuellen Eigenheiten der zur Analyse vorgesehenen Federprobe zu Beginn der Arbeiten stehen, da für die Analysen eine vollständige Auflösung der Probe erforderlich ist.

Die Arbeitsschritte Probenvorbereitung und Analyse wurden bei Reinraumbedingungen unter einer Clean bench durchgeführt.

##### 3.1.1. Erfassung und Dokumentation

###### 3.1.1.1. Elsterfedern

Im Rahmen der Probenvorbereitung wurde bei den Elsterproben für jedes Individuum ein Erfassungsbogen angelegt. Er enthält Angaben über: interne Probennummer, Fangdatum, Fangort, Geschlecht (soweit ermittelbar), Alter (juvenil, einjährig und mehrjährig), Gewicht, Ernährungsstand (nach Schwellung des Brustmuskels), allgemeine Beschreibung des Gefiederzustandes. Zur Dokumentation des Mauserzustandes wurden standardisierte Mauserkarten des DDA (Dachverband Deutscher Avifaunisten) verwandt. Darüberhinaus wurden die zu analysierenden Einzelfedern vermessen (vgl. BROWN et al. 1987) sowie Besonderheiten und der Grad der Abnutzung, erkennbar am Zustand der Federsäume (vgl. BUB 1985) festgehalten.

### 3.1.1.2. Mauserfedern von Habichten

Aus den aufgesammelten Mauserfedern wurden die Hand- und Armschwingen aussortiert. Mit einer Vergleichssammlung konnte die Position der einzelnen Schwingen sicher bestimmt werden.

Federlänge, Dicke des Kiels, Art und Form der Pigmentierung sind Merkmale von Habichtmauserfedern, die die Unterscheidung einzelner Habichtindividuen ermöglichen (OPDAM & MÜSKENS 1976, BRÜLL 1984). Bei den zur Analyse vorgesehenen Habichtmauserfedern wurden die o.g. Merkmale vermessen und die Federn für spätere Vergleiche mit Makroobjektiv auf Diafarbfilm abgelichtet.

### 3.1.2. Methoden der Probenvorbereitung

#### 3.1.2.1. Reinigung der Federn

Um grob anhaftende Verunreinigungen von den Oberflächen zu entfernen, wurden die Federn nach dem Auftauen durch Abspülen mit Aceton gereinigt (vgl. die in Kap. 6.1. beschriebenen Waschversuche).

Um die Wirksamkeit des Abspülens mit Aceton zu testen, wurden in einem alternativen Waschverfahren einzelne Proben mit einem Detergens im Ultraschallbad gereinigt: In einer 1%-igen Lösung aus Triton X-100 und Aqua tridest. (Milli-Q; Millipore, Bedford, USA) erfolgte die Behandlung der Federn bei Raumtemperatur 15 Min. im Ultraschallbad. Um Rückstände des Detergens zu entfernen, wurden die Federn anschließend unter fließendem Aqua tridest. ca. 2 Min. abgespült (vgl. Kapitel 6.1.).

#### 3.1.2.2. Trocknung der Federproben

Bei Federn handelt es sich, analog zu Haaren der Säugetiere, um abgestorbene Teile des Integuments. Gewichtsänderungen bedingt durch unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte sind feststellbar. Die Gewichtsverluste beim Trocknen lagen bei maximal 5 %.

Mit Aceton gespülte Federn verblieben für eine Zeitspanne von 20 Min. bei 60°C im Trockenschrank. Bei Proben, die mit Detergenzien gereinigt worden waren, betrug der Aufenthalt im Trockenschrank 60 Min. Nach dem Trocknen wurden die Proben ca. 10 Min. bis zur Gewichtskonstanz bei Raumtemperatur aufbewahrt.

### 3.1.2.3. Trennung von Federfahne und Kiel

Die Analysen von Federfahne (Vexillum) und Kiel (Scapus) erfolgten getrennt. Dazu wurde mit einer Titanschere (Fa. Stürmer, Würzburg) die Federfahne vom Kiel abgetrennt und in die Aufschlußgefäße eingewogen.

Für den Einsatz von Federn als Biomonitoren wurden aufgrund der Untersuchungsergebnisse an Fahne und Kiel (vgl. Kap. 6.2) nur die Fahnen der Federn analysiert. Bei Habichtmauserfedern aus dem Jahr 1986 kamen in Anlehnung an die Untersuchungen von ELLENBERG & DIETRICH (1984) ausschließlich die apikalen 8 cm der Federn (Fahne plus Kiel) zur Analyse.

## 3.2. Aufschluß der Federproben

Durch den Aufschluß wird die Probe in Lösung gebracht. Im Gegensatz zur AAS (Atomabsorptionsspektrometrie) treten bei der Voltammetrie (vgl. Kap. 3.3.) bei hohem Matrixüberschuß Schwierigkeiten bei der Spurenelementbestimmung auf. Neben den zu bestimmenden Elementspuren werden auch organische Matrixbestandteile an der Arbeitselektrode umgesetzt. Der dadurch verursachte Strom kann das Signal des zu bestimmenden Elementes überlagern. Der Aufschluß der organischen Substanzen muß daher vollständig sein.

Auch bei der Kalibrierung treten Probleme durch Matrixbestandteile auf, da die zu bestimmenden Elemente in Proben- und Eichmaterialien nicht in adäquaten Bindungsformen vorliegen. Durch die der Analyse vorangestellte Mineralisierung der Probeneinwaagen sollen die zu bestimmenden Elementspuren von der organischen Matrix abgetrennt und in eine lösliche Form überführt werden sowie eine Isoformierung von Proben und Eichmaterialien zu adäquaten Spurenkonzentraten erfolgen (vgl. BOCK 1972).

Für die Mineralisierung der Federproben wurden folgende Aufschlußverfahren benutzt.

### 3.2.1. Offener Naßaufschluß

Am einfachsten können Federproben durch Erhitzen in schwermetalldfreien, oxidierenden Reagenzien aufgeschlossen werden. Durch Arbeiten unter Rückfluß wird das Abdampfen der Oxidationsmittel weitgehend reduziert.

Nach der Einwaage von 40 bis 100 mg wird die Federprobe mit 0,2 bis 0,5 ml 70 %-iger Perchlorsäure ( $\text{HClO}_4$ ) und 0,4 bis 1 ml 65%-iger Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ), Merck Suprapur, in einem Quarztiegel vermischt. Nach Abdecken des Tiegels mit einem Uhrglas (Arbeiten unter Rückfluß) wird die Lösung auf einer Heizplatte langsam auf 80 bis 100° C erwärmt. Nach dem Abklingen der Schaumbildung und Verfärbung der Lösung nach Dunkelbraun erfolgt eine langsame Erwärmung der Proben auf ca. 130°C. Diese Temperatur wird beibehalten bis die Stickoxidbildung abnimmt. Bei einer weiteren Temperaturerhöhung entweicht die restliche Salpetersäure bei ihrem Siedepunkt; die Lösung verfärbt sich nach Hellgelb. Nach Eindampfen bis zur Trockne und Abkühlung wird der Rückstand in Aqua tridest. gelöst. Abschließend wird die Probe quantitativ in einen Meßkolben überführt und auf 10 ml aufgefüllt (OSTAPCZUK et al. 1984)

### 3.2.2. Naßaufschluß im geschlossenen System

Seit Mitte 1987 stand für den Aufschluß der Federproben ein "Hochdruckveraschungsgerät" (HPA), der Fa. Paar, Graz (Lieferant: Fa. Kürner, Rosenheim) zur Verfügung. Vorteile des Naßaufschlusses im geschlossenen System sind:

- durch den Druck von 100 bar im Autoklaven ist es möglich mit Aufschlußtemperaturen von bis zu ca. 300°C zu arbeiten. Dies garantiert eine quantitative Oxidation der organischen Matrix und damit eine störungsfreie voltammetrische Analyse;
- keine Elementverluste durch Verflüchtigung;
- kurze Aufschlußzeiten;
- geringer Reagenzienbedarf und somit geringe Blindwertbelastungen;
- weitgehender Ausschluß einer Kontamination von außen;
- auf die Verwendung von Perchlorsäure ( $\text{HClO}_4$ ) und die damit verbundene Gefahr der Bildung explosiver Perchlorate kann verzichtet werden (WÜRFELS 1988).

Der Restkohlenstoffgehalt in der Probelösung nach dem HPA-Aufschluß beträgt < 0,01 %, d.h. 99,99 % des Kohlenstoffes wurden oxidiert. Daher treten im Gegensatz zum Naßaufschluß im offenen System bei den Aufschlüssen mit dem HPA keine Störungen der Voltammogramme auf.

Beim Naßaufschluß in geschlossenen Systemen hat sich Salpetersäure als Oxidationsmittel für biologische Materialien bewährt (WÜRFELS 1988). Beim Aufschluß in Quarzampullen mit einem Volumen von je 20 ml bewegen sich die Einwaagen der Federproben zwischen 40 und 300 mg. Pro Gefäß wurden 2 ml Salpetersäure als Oxidationsmittel zugesetzt. Bei Vorversuchen mit dem praktisch schwermetallfreien Referenzmaterial "Non fat milkpowder" (NIST SRM 1549) zeigte sich, daß die Blindwertbelastung durch Gefäße und Säuren vernachlässigbar ist.

Der Aufschluß der Federproben erfolgte über zwei Stunden mit einer Endtemperatur von 300°C. Durch eine relativ lange Aufheizzeit mit mäßigem Temperaturanstieg sollte eine Benetzung der Federproben mit Salpetersäure gewährleistet sein, um eine Verkohlung der Probe zu verhindern. Pro Aufschluß können sieben Federproben gleichzeitig mineralisiert werden.

Die Nachbehandlung der Aufschlußlösung zur Entfernung der die voltammetrische Bestimmung störenden  $\text{NO}_x$  erfolgte durch Abdampfen in Quarzriegeln. Der Rückstand wurde mit 0,25 ml  $\text{HNO}_3$  und ca. 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  aufgenommen, in Meßkolben überführt und auf 10 ml aufgefüllt.

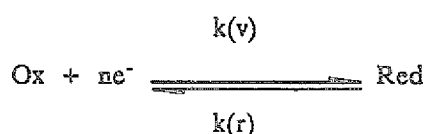
### 3.3. Schwermetallbestimmung mit der Voltammetrie

Da im Rahmen der Untersuchungen neben den als ökotoxisch eingestuften Schwermetallen Blei und Cadmium auch das Vorkommen einzelner essentieller Spurenelemente betrachtet werden sollte, bot sich die Voltammetrie als Methode der Wahl an. Sie verfügt über ein sehr gutes Nachweisvermögen und ermöglicht die Simultanbestimmung mehrerer Elemente (Zn, Cd, Pb und Cu) in derselben Lösung (NÜRNBERG 1982).

#### 3.3.1. Zum Prinzip der Voltammetrie

Bei der Voltammetrie handelt es sich um eine Elektrolyse der zu untersuchenden Lösung an einer stationären, polarisierbaren Mikroelektrode, im allgemeinen einer Hg-Tropfenelektrode (HMDE). Durch Messung des elektrischen Stromes, der durch den Redoxvorgang an der Mikroelektrode verursacht wird und durch die Zelle fließt, lassen sich sowohl qualitative (Potentiale) als auch quantitative (Stromstärke) Aussagen über die zu analysierenden Elemente in der Lösung treffen (BOND 1980).

Der Redoxvorgang an der Elektrode wird durch folgende Gleichung beschrieben:



"Ox" und "Red" sind die an der Elektrode reagierenden Stoffe. Meist verläuft die Reaktion in beiden Richtungen. Die Konstanten für die Reaktionsgeschwindigkeit  $k(v)$  und  $k(r)$  sind exponentiell mit dem Elektrodenpotential verknüpft.

Nach dem Faraday'schen Gesetz ist die bei der Elektrodenreaktion umgesetzte Stoffmenge der elektrischen Ladung  $Q$  proportional. Die voltammetrischen Bestimmungsverfahren messen nicht die Ladung sondern den elektrischen Strom. Der gemessene Stromfluß setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

$$I = I(F) + I(C)$$

Der konzentrationsproportionale Strom  $I(F)$ , Faraday'scher Strom genannt, entsteht durch den Stoffumsatz an der Elektrode. Der kapazitive Ladestrom  $I(C)$  entsteht dagegen durch die Phasengrenze Metall-Elektrolyt, die sich wie ein Kondensator verhält. Seine Doppelschichtkapazität hängt u.a. von der Grundlösung und dem Potential ab. Bei Potentialänderungen der Elektrodenoberfläche gegenüber der Lösung muß sich die Ladung im Doppelschichtkondensator neu einstellen und es fließt der kapazitive Ladestrom. Dieser kapazitive Ladestrom begrenzt als "Störstrom" das Nachweisvermögen des voltammetrischen Bestimmungsvorgangs.

Auf die oben angeführte enge Beziehung zwischen abgeschiedener Stoffmenge und dem dabei fließenden Strom gründen sich die Vorteile der Voltammetrie:

- der elektrische Strom ist eine ideale Meßgröße, da selbst noch nA problemlos gemessen werden können. Linearität, Stabilität und eine hohe Meßempfindlichkeit sind gegeben.
- Die direkte Beziehung zwischen der Anzahl umgesetzter Mole zu der elektrischen Ladung macht eine Kalibration überflüssig. Über den gemessenen Strom kann unter konstanten Bedingungen direkt auf die Konzentration in der Lösung geschlossen werden. Bei der praktischen Durchführung wird das Standardadditionsverfahren eingesetzt.
- Der Bestimmungsvorgang in derselben Lösung ist beliebig oft wiederholbar, ohne daß sich ihre Konzentration ändert. Die Voltammetrie ist eine der wenigen Methoden, bei welcher das Standard-Additionsverfahren in der gleichen Probelösung möglich ist.

Um die oben angeführten Störungen durch kapazitive Ladeströme weitmöglichst zu eliminieren und eine weitere Steigerung der Empfindlichkeit zu erreichen, wurde die voltammetrische Methode weiter entwickelt (NEEB 1969).

### 3.3.2. Inverse Voltammetrie

Bei der inversen Voltammetrie führt ein Anreicherungsprozess zur Konzentrierung der zu bestimmenden Elemente in der Arbeitselektrode (Amalgambildung), vergleichbar einer "elektrolytischen Extraktion".

Charakteristisch für die Inverse Voltammetrie ist die bei einem konstanten Potential durchgeführte Anreicherungs elektrolyse an einer stationären Elektrode mit anschließendem Wiederauflösungsvorgang, bei dem das Potential in umgekehrter Richtung zur Vorelektrolyse verläuft. Die erste Ableitung der dabei registrierten Stromspannungskurve liefert charakteristische Peaks, die zur Konzentrationsbestimmung dienen. Die Anreicherung wird durch Konvektionen in der Lösung infolge Rührens gefördert.

Durch die Inverse Voltammetrie wird beim elektrochemischen Bestimmungsvorgang eine Erhöhung des Faraday'schen Stromes im Vergleich zu einem Bestimmungsvorgang ohne Anreicherungszeit bis zu einem Faktor  $10^3$  erreicht.

- Eine weitere Verbesserung der voltammetrischen Bestimmung liefert die Anwendung der Pulsmethoden zur Diskriminierung des kapazitiven Ladestromes  $I(C)$ . Die Überlagerung der linear ansteigenden Spannung mit einem rechteckförmigen Spannungsimpuls  $E$  führt zu einer sprunghaften Erhöhung des Elektrodenpotentials und damit auch zu größeren Strömen. Durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen Faraday'scher  $I(F)$  und kapazitiver Strom  $I(C)$  in der Zeit abklingen, läßt sich der störende Anteil des kapazitiven Ladestromes weitgehend vom Faraday'schen Strom abtrennen. Nach einem Potentialsprung klingen  $I(C)$  und  $I(F)$  nach folgenden Zeitgesetzen ab:

$$I(F) = I(0) \cdot t^{-1/2}$$

$$I(C) = I(0) \cdot (-T/R C)$$

$I(0)$  ist der Anfangstrom ( $t = 0$ );  $T$  die Zeitkonstante des Stromkreises, die durch Elektrolytwiderstand  $R$  und Doppelschichtkapazität  $C$  an der Elektrode bedingt ist. Abb. 3.1. zeigt den Spannungs- und Stromverlauf bei der Pulsmethode.

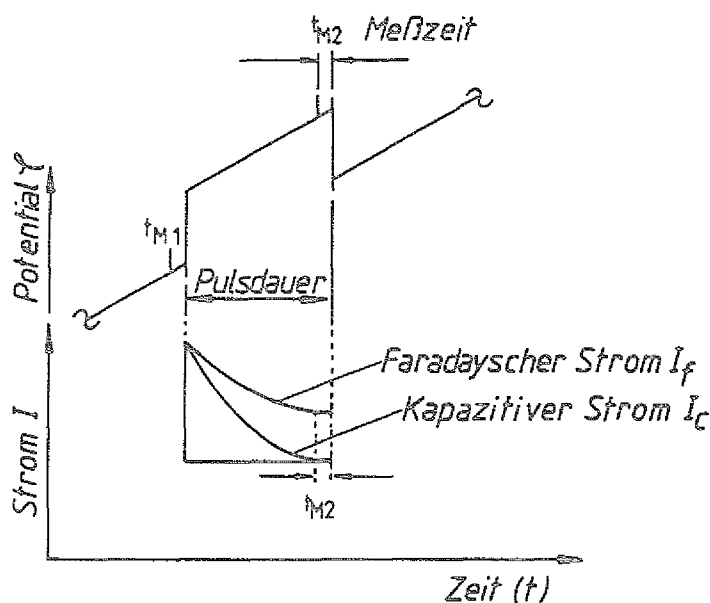


Abb. 3.1.: Verhalten des Faraday-Stromes und des Kapazitätsstromes während der Dauer eines Rechteckimpulses.

Nach ca. fünf Zeitkonstanten ist der Ladestrom weitgehend abgeklungen und der Gesamtstrom besteht fast nur noch aus dem konzentrationsproportionalen Faraday'schen Anteil.

Neben der Quecksilbertropfenelektrode (Arbeitslektrode) befinden sich im Meßkreis die Gegenelektrode z.B. aus Platindraht sowie die Referenzelektrode. Die Referenzelektrode ist eine nicht polarisierbare Elektrode mit bekanntem stabilen Potential, z.B. eine mit gesättigtem Kaliumchlorid gefüllte Silber/Silberchloridelektrode. Gleichzeitig befindet sich in der Lösung ein Leitelektrolyt z.B. Perchlorsäure. Bei einer Quecksilber-Arbeitslektrode liegt der in sauren, wässrigen Lösungen für die Analytik nutzbare Spannungsbereich zwischen  $-1,2$  V bis  $+0,3$  V, bezogen auf die Ag/AgCl-Referenzelektrode. Bei Potentialen positiver als  $0,3$  V findet die Auflösung von Quecksilber statt ( $\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+}$ ), unterhalb von  $-1,2$  V werden in Abhängigkeit vom pH-Wert  $\text{H}^+$ -Ionen zu Wasserstoff reduziert.

### 3.3.3. Voltammetrische Bestimmung von Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt in Federproben

Die Bestimmung der Schwermetalle in Federproben erfolgt mit dem Polarographen Modell 384 B in Verbindung mit der stationären Quecksilberelektrode Modell 303 A der Fa. EG&G, Princeton Applied Research, Princeton, USA.

Die Analyse von Zn, Cd, Pb und Cu wird wie folgt ausgeführt. In der voltammetrischen Zelle werden ca. 5 ml Wasser und 20 µl 70%ige Perchlorsäure, die als Grundelektrolyt dient, 4 Minuten mit Argon entlüftet, um elektrochemisch aktiven Sauerstoff aus der Lösung zu entfernen. Zunächst wird die Blindwertkurve aufgezeichnet. Bei ausreichender Reinheit der Zelle werden 0,1 bis 1 ml Probenlösung in die Zelle gegeben und nochmals entlüftet. Die Zinkgehalte der Federproben liegen deutlich über denen der restlichen Elemente. Aufgrund der großen Konzentrationsunterschiede zu Cd, Pb und Cu und um dadurch bedingte Signalinterferenzen zu verhindern wird die Zinkbestimmung separat durchgeführt. Die Konzentrationsbestimmung erfolgte nach der Eichzusatzmethode.

Zur Bestimmung von Nickel und Kobalt dient ein adsorptives Verfahren. Während der Anreicherung werden Nickel- und Kobaltionen in Adsorptionskomplexen an der Elektrodenoberfläche gebunden. Als Komplexbildner werden 5 µl Dimethylglyoximlösung (DMGH<sub>2</sub>) in die Zelle gegeben. Da die Chelatkomplexe nur im alkalischen Bereich stabil sind, werden 100 µl NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl-Puffer zur Einstellung und Konstanthaltung eines pH-Wertes von ca. 9,0 zugegeben.

Zur Kontrolle der Linearität der Standardzugaben wird bei jeder Messung die Beziehung der addierten Stoffmenge zur Stromerhöhung mit Hilfe der Regressionskoeffizienten überprüft. Eine ausreichende Analysegenauigkeit wird bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,999 angenommen.

Abschließend findet eine Umrechnung von den in der Zelle gemessenen Metallmengen in ng auf die Gehalte in den Federproben statt. Dazu wird der Verdünnungsfaktor F(P) aus der Einwaage, zu dem im Rahmen des Aufschlusses aufgefüllten Volumen V(a) und dem in die Zelle gegebenen Probevolumen V(p) nach folgender Formel berechnet:

$$F(P) = \frac{V(a) / V(p)}{\text{Einwaage}}$$

Die Konzentration in der Federprobe errechnet sich aus der Multiplikation des Verdünnungsfaktors mit dem in der Zelle ermittelten Metallgehalt.

Die Gehalte der Federproben werden durch Mittelung aus mindestens zwei Bestimmungen errechnet. Bei Varianzen über 10 % vom arithmetischen Mittelwert werden zusätzliche Messungen in der Probelösung durchgeführt bis Varianzen < 10 % erzielt werden.

### 3.4. Schwermetalluntersuchungen mit der Feststoff-AAS

Im Rahmen der Untersuchungen stellte sich die Frage nach der Feinverteilung von Schwermetallen in den Federfahnen. Analysemethoden wie Voltammetrie und herkömmliche Graphitrohr-AAS (Atomabsorptionsspektrometrie) setzen einen im Rahmen der Probenvorbereitung durchgeführten Aufschluß mit einer in Abhängigkeit vom Schwermetallgehalt der Probe bedingten Mindesteinwaage voraus. Bei Federfahnen müssen aufgrund ihres sehr geringen Gewichtes deshalb relativ große Fahnenabschnitte eingewogen werden. Die Feststoff-AAS mit ihrer Möglichkeit, Mikroproben ohne vorherigen Aufschluß direkt auf Schwermetallgehalte zu untersuchen (LANGMYHR 1985), stellt für die Frage nach der Feinverteilung von Schwermetallen in Federfahnen die Methode der Wahl dar.

#### 3.4.1. Probenvorbereitung

Die Federn wurden mit ca. 3 ml Aceton abgespült. Bei einzelnen vergleichbaren Federn unterblieb das Abspülen, um Hinweise auf den Einfluß der Waschprozedur auf die Blei- und Cadmiumgehalte abzuschätzen. Danach wurden die Federn 10 Minuten bei 60°C getrocknet.

Durch die Feinstruktur der Federfahnen, einer Textur aus Haken- und Bogenstrahlen, lassen sich Proben aus unterschiedlichen Federabschnitten exakt heraustrennen ohne ihre Struktur zu zerstören. Mit einer Titanschere wurden so Mikroproben in der Größe von maximal 5 mm<sup>2</sup> aus den Fahnen herausgeschnitten.

Die Einwaagen der Mikroproben variierten, in Abhängigkeit von Blei- und Cadmiumkonzentrationen in den unterschiedlichen Federpartien, zwischen 0,05 mg in den Federspitzen bzw. 2 mg in basalen, frischvermauserten Fahnenabschnitten. Für die Einwaage der Federproben stand eine Mikrowaage 4503 der Fa. Sartorius zur Verfügung.

#### 3.4.2. Referenzmaterial

Zur Kalibrierung der Gehalte in den Mikroproben diente ein selbsthergestelltes und charakterisiertes Federfahnenhomogenat. Vom linken Flügel eines einjährigen Uhuweibchens (Totfund 1985, Nideggen, Nordeifel, Ringnr. 15438 Vogelwarte Helgoland) wurden die Hand- und Armschwingen sowie die Deckfedern gezogen. Mit einer Rasierklinge erfolgte die Trennung der Federfahnen vom Kiel. Die Federfahnen wurden auf -170°C tiefgekühlt und anschließend in einer Kugelschwingmühle aus Zirkondioxid vermahlen. Dieser Vorgang wurde mehrmals nach erneutem Tieffrieren wiederholt. Abschließend wurde das Material sechs Stunden bei 60°C getrocknet.

Die Bestimmung der Blei- und Cadmiumgehalte im Federhomogenat erfolgte nach verschiedenen analytischen Methoden. In Tabelle 3.1. sind die Ergebnisse der Bestimmungen mit vier verschiedenen analytischen Verfahren dargestellt.

Tab. 3.1.: Ergebnisse der Blei- und Cadmiumbestimmung in einem Federhomogenat mit verschiedenen analytischen Methoden.

| Methode                 | Pb  |                | Cd |                 |
|-------------------------|-----|----------------|----|-----------------|
|                         | n   | [mg/kg]        | n  | [mg/kg]         |
| SS-GFAAS                | 128 | 11,18 +/- 1,04 | 45 | 0,104 +/- 0,007 |
| Voltammetrie            | 4   | 13,07 +/- 0,58 | 4  | 0,094 +/- 0,018 |
| ICP-OES <sup>*</sup> )  | 2   | 12,0           | -  | -               |
| ICP-MS <sup>*</sup> )   | 2   | 11,0           | -  | -               |
| n = Anzahl der Analysen |     |                |    |                 |

#### 3.4.3. Bestimmung von Blei und Cadmium in Federn

Die Atomabsorptionsspektrometrie beruht auf der Erzeugung freier Atome des zu bestimmenden Elementes durch Zufuhr thermischer Energie und der daran anschließenden Absorption von Strahlung infolge definierter Übergänge der Valenzelektronen der äußeren Atomschale des Elementes.

Die einzelnen Verfahrensschritte der AAS sind: Trocknung, thermische Vorbehandlung zur Abtrennung flüchtiger Matrix (Veraschung), Atomisierung des zu bestimmenden Elementes, Ausheizen zur Reinigung und abschließendes Abkühlen. Für die Bleibestimmung betrug die Veraschungstemperatur 700°C, die Atomisierungstemperatur 2400°C, für Cadmium entsprechend 550°C und 1900°C. Die Wellenlängen von 283,3 nm bzw. 368,4 nm (unempfindlicher Bereich) für Blei und für 228,8 nm für Cadmium sind für die AAS-Messung geeignet. Für die Bestimmung wurde ein SM-20 der Fa. Grün, Wetzlar verwandt.

<sup>\*</sup> Analysen des Mikroanalytischen Labors Pascher, Remagen

#### 4. Funktion und Struktur der Feder

Bioindikationsverfahren sind nur dann erfolgversprechend, wenn umfangreiche Kenntnisse zur Biologie der ausgewählten Art vorliegen. Vor allem müssen Funktion und Struktur der als Proben vorgesehenen Teile bekannt sein. Vergleichbar mit dem Einsatz einer Methode oder der Benutzung eines Meßgerätes muß man beim Einsatz von Federn als Biomonitoren fragen: was sind die Voraussetzungen für einen korrekten Einsatz und welche Art von Daten kann diese Methode liefern? Deshalb sollen an dieser Stelle die biologischen Funktionen der Feder und ihre Struktur beschrieben werden.

##### 4.1. Die verschiedenen Funktionen der Feder

Trotz gleicher Struktur erfüllen Federn in Abhängigkeit von ihrer Position im Gefieder verschiedene Aufgaben. Kenntnisse über ihre Struktur und ihre unterschiedlichen Funktionen sind Voraussetzung für die Auswahl von Federn als Biomonitoren und die abschließende Interpretation der gewonnenen Daten.

##### 4.1.1. Wärmeregulation und Schutz

Benutzt man das Vorkommen von Vertretern eines Taxon in unterschiedlichen Lebensräumen sowie ihre Artenzahl weltweit zum Abschätzen des Erfolgs einer Tiergruppe, so zählt die Klasse der Vögel mit ca. 8600 rezenten Arten (BURTON 1985) und ihrem Vorkommen in sämtlichen Biomen der Erde zu einem der erfolgreichen Konzepte der Evolution. Dieser Erfolg beruht u.a. auf der Fähigkeit, Federn als Teile des Integumentes zum optimalen Schutz des Organismus vor direkten Umwelteinflüssen wie Temperatur, Feuchte, Verletzungen etc. einzusetzen.

Als homoiotherme Tiere mit Körpertemperaturen von ca. 41°C sind Vögel durch Energieverluste infolge Auskühlung besonders gefährdet. Das den Körper umhüllende Federkleid spielt eine wichtige Rolle bei der Regulation von Temperatur und Feuchte des den Organismus umgebenden Mikroklimas. Zwischen Hautoberfläche und äußerer Gefiederoberfläche befindet sich eine Luftschicht, deren Dicke und damit Isoliereigenschaften vom Anstellwinkel der Konturfedern abhängt (SPEARMAN 1980).

Diese Funktionen, Wärmeregulation und Schutz, erfüllen die besonders gestalteten Körperfedern mit breiten Federfahnen und die Dunenfedern.

Die Aufgabe, Einflüsse der Umwelt von der Körperoberfläche fernzuhalten, setzt Federn im besonderen Maße Umwelteinflüssen aus. Aus dieser Tatsache resultiert das Konzept, Vogelfedern zur Umweltbeobachtung einzusetzen.

#### 4.1.2. Federn im Funktionskreis des Fliegens

Die Fähigkeit, sich durch aktiven Flug (im Gegensatz zu reinen Gleitfliegern bzw. Verdriftung) fortzubewegen, hat sich in verschiedenen Taxa parallel entwickelt. Im Vergleich zu anderen flugfähigen Tiergruppen (z.B. Fledermäuse, Insekten) sind die "Flugorgane" der Vögel für Leistungen im "Außendienst" aus toter, verhornter Substanz aufgebaut und werden bei der Erfüllung ihrer Aufgabe besonders beansprucht.

Federn, die wichtige Funktionen beim Flug erfüllen, sind die großen Konturfedern an Flügeln und Schwanz. Die Flugfedern setzen sich zusammen aus:

- Schwungfedern (Remiges), zu denen die an den Fingern und der Mittelhand sitzenden Federn des Handfittichs (Handschwingen) und die zum Unterarm gehörenden Federn des Armfittichs (Armschwingen) zu zählen sind,
- Steuerfedern (Rectrices) des Schwanzes,
- Deckfedern (Tectrices), die die Basis von Schwung- und Steuerfedern dorsal und ventral bedecken.

Eine der wichtigsten Eigenschaften des Vogelflügels ist die Wölbung seiner Oberseite. Durch ein solches Profil wird im Luftstrom, abhängig von der Anströmgeschwindigkeit und dem Anstellwinkel, auf zweierlei Weise Auftrieb erzeugt. Über die gewölbte Flügeloberseite müssen Luftteilchen einen längeren Weg zurücklegen und deshalb schneller strömen als an der Unterseite. Nach dem Bernoulli Theorem führt die schnellere Strömungsgeschwindigkeit auf der Flügeloberseite zu einem Unterdruck, während die langsamere Bewegung auf der Unterseite zu einem Überdruck führt (RÜPPELL 1980). Beide Kräfte, der Sog an der Oberseite und der Druck von unten wirken in gleicher Richtung und erzeugen den Auftrieb.

Der Vogelflügel erzeugt die beiden für den Flug notwendigen Kraftkomponenten Auftrieb und Vortrieb und ist damit biotechnisch gesehen eine Kompromißkonstruktion (NACHTIGALL 1975). Im Vergleich mit Flugzeugen ist der Vogelflügel Huborgan und Propeller zugleich.

Die Armregion mit den Armschwingen leistet vor allem Hubarbeit. Der Handfittich erzeugt in erster Linie Vortriebskraft. Der Flügelschlag gibt den äußeren Flügelteilen die ausreichende Geschwindigkeit um den Impuls in einen Vorwärtstrieb zu verwandeln, der den Vogel nachzieht. Die Vortriebswirkung der Handschwingen beruht auf der besonderen Gestalt ihrer Federfahnen. Darüber hinaus können die Handschwingen, die beim Abschlag durch die auftretenden Luftkräfte stark verformt werden, möglicherweise durch Muskeln in einen günstigen Anstellwinkel gekippt werden (SPEARMANN & HARDY 1985). Die einzelnen Phasen des Auf- und Abschlags stellt RÜPPELL (1981) am Beispiel des Startes eines Fischadlers von der Wasseroberfläche anschaulich dar.

Ausführliche Darstellungen zur Physik des Vogelfluges finden sich bei BROWN (1963), RÜPPEL (1980) und NACHTIGALL (1987). Sie zeigen deutlich, daß Federn beim Fliegen intensivem Kontakt mit der Atmosphäre ausgesetzt sind. Durch diese Wechselwirkungen zwischen Feder und Atmosphäre sollten Vogelfedern grundsätzlich geeignet sein, den Zustand der umgebenden Luft bezüglich ihrer Beimengungen (Aerosole, Spurengase) widerzuspiegeln.

#### 4.2. Morphologie und Feinstruktur der Feder

PORTMANN (1984) bemerkt, daß es wenig Vergleichbares in der Natur gibt, das an Vielfalt der Leistung, Struktur und technischer Vollendung der Feder gleichkäme. Diese Leistungsfähigkeit der Feder beruht auf ihrer Feinstruktur. Untersuchungen zur Feinstruktur der Feder und dem Verständnis ihrer Funktionen finden sich bei SICK (1937) und RUTSCHKE (1965). Aufgrund ihrer Größe (ausreichendes Probenvolumen) und in der Regel eindeutigen Zuordnung im Gefieder kommen in erster Linie Schwungfedern als Biomonitoren in Betracht.

Die Festigkeit von Schwungfedern beruht auf einem zentralen Gerüst, dem Kiel (Scapus). Der basale Teil des Kiels, die Spule (Calamus) sitzt auf der Federpapille und stellt in Verbindung mit dem Follikel die Verankerung in der Haut her. Der Teil des Kiels, der sich an die Spule anschließt, die Federfahne trägt und sie in Innen- und Außenfahne teilt, heißt Schaft (Rhachis) (vgl. Abb. 4.1.).

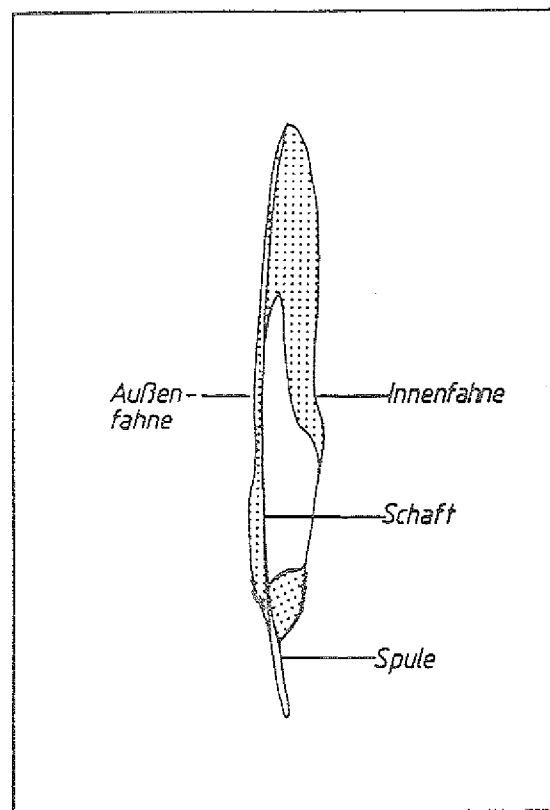


Abb. 4.1.: Aufbau einer Schwungfeder am Beispiel der 7.Handschwinge einer Elster (*Pica pica*).

Am Federschaft sitzen zwei Reihen von schlanken und steifen Federästen (Rami), die im Winkel von ca.  $45^\circ$  zum Schaft stehen. Jeder Federast trägt zwei Reihen noch feinerer Federstrahlen (Radii). Bei diesen Radii unterscheidet man nach ihrer Feinstruktur zwei Typen, Bogen- und Hakenstrahlen. Die Bogenstrahlen sind parallel zu ihrer Längsachse basalwärts krepfenartig aufgebogen, die Hakenstrahlen sind mit einer Reihe winziger Häkchen (Radioli) besetzt. Haken- und Bogenstrahlen benachbarter Ramii verhaken miteinander (Abb. 4.2.). Dieser Kopplungsmechanismus verleiht der Federfahne einen elastischen Zusammenhalt. Beim Auseinanderreißen der Fahne werden keine Strukturen zerstört. Streicht man die Feder glatt, so ist der alte Zusammenhalt wieder hergestellt.

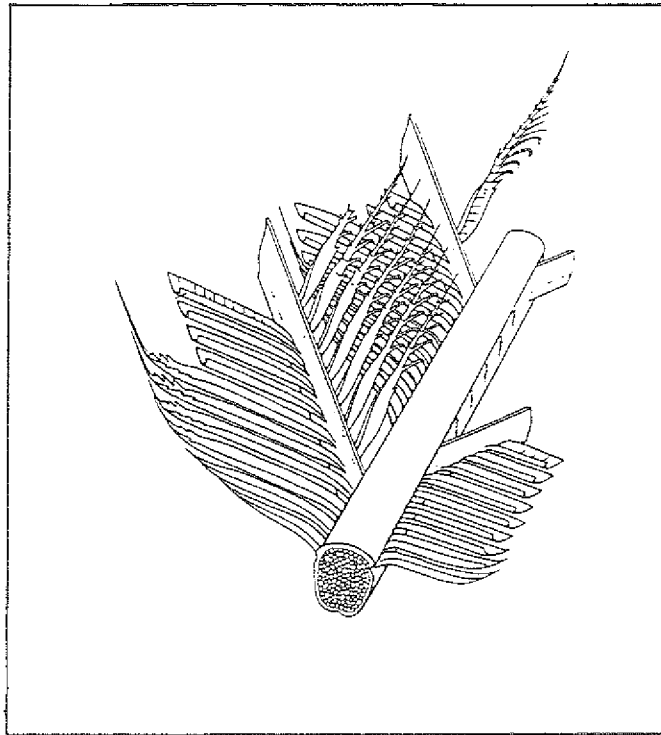


Abb. 4.2: Feinstruktur der Feder (nach PORTMANN 1984).

Diese Feinstruktur ermöglicht die Ausbildung großer Oberflächen bei minimalem Gewicht (Leichtbauweise). Federn sind flexible Strukturen, die extremen Belastungen durch Zug und Druck ausgesetzt werden können. Die Federfahnen besitzen eine einfache und schnelle Reparaturmöglichkeit.

Die beschriebenen Strukturen der Feder:

- große Oberflächen bei geringem Gewicht
- differenzierte Vertikalstrukturen
- Zwischenräume in der Größenordnung von 10  $\mu\text{m}$  in den die Federfahne aufbauenden Feinstrukturen

im Zusammenwirken mit der erwähnten intensiven Umströmung sollten die Feder daher zu einem wirkungsvollen Fangsubstrat (Akzeptor) besonders für luftgetragene, schwermetallhaltige Partikel machen.

#### 4.3. Keratin: Grundsubstanz für den Federaufbau - chemische Eigenschaften

Biochemisch sind Federn, wie die Haare der Säuger und die Schuppen der Reptilien, aus Keratin, einem hochmolekularen Gerüstprotein aufgebaut. Keratin ist ein wasserstoff- und schwefelbrückenreiches, schwerlösliches Protein, das gegen enzymatischen und mikrobakteriellen Abbau weitgehend resistent ist (SPEARMAN 1980). UV-Licht führt, wenn auch langsam, zur Zerstörung der Struktur.

Im Gegensatz zum Keratin des menschlichen Haares weist das Vogelfederkeratin überwiegend  $\beta$ -Faltblattstruktur auf, wodurch Zugfestigkeit und Flexibilität ermöglicht werden. Dadurch besitzen Federn eine bedeutend größere Formfestigkeit als Säugerhaare.

Federkeratine sind relativ reich an den Aminosäuren Glycin, Serin, Prolin, Leucin und Glutaminsäure. Im Vergleich zum menschlichen Haar besitzen sie weniger Methionin und Lysin, aber mehr Prolin. Die Aminosäurezusammensetzung verschiedener Federteile wie Fahne, Kiel und Kalamus ist unterschiedlich (SCHROEDER & KAY 1955). Dagegen sind die Differenzen in der Aminosäurezusammensetzung einzelner Teile derselben Feder größer als zwischen homologen Federteilen unterschiedlicher Vogelarten. Diese Unterschiede zwischen verschiedenen Vogelarten sind meist auf Alanin, Cystin, Glycin, Isoleucin, Prolin und Tyrosin beschränkt (BRUSH 1978).

In der Literatur finden sich keine Beweise für chemische Bindungen zwischen den von außen aufgetragenen Metallionen und Federkeratinen infolge der chemischen Eigenschaften bzw. Strukturen der Keratine.

#### 4.4. Aus der "Lebensgeschichte" der Feder

Im Blick auf den Einsatz als Bioindikatoren lassen sich bei Federn zwei Lebensabschnitte unterscheiden:

- während des Wachstums besteht zwischen Feder und Organismus ein intensiver Stoffwechsel. Bis zur Entfaltung der Federfahne schützt eine Hornscheide den Federkeim und schirmt ihn gegenüber äußeren Einflüssen ab. Schwermetalle können in dieser Phase nur über den Stoffwechsel in die Feder eingelagert werden (endogen);
- nach der Entfaltung der Federfahne sind die Stoffwechselprozesse mit dem Organismus beendet. Die Feder ist nun ein totes, verhorntes Gebilde, es bestehen keine physiologischen Transportwege mehr in die Feder. Schwermetalle können daher nur noch von außen (exogen) aufgetragen werden.

Während sich die Phase endogener Schwermetalleinlagerungen auf eine relativ kurze Zeitspanne von ca. einem Monat beschränkt, können exogene Prozesse bis zur nächsten Erneuerung der Federn andauern.

Dies ist abhängig vom Mauseerrhythmus der einzelnen Federn. Bei den Schwungfedern der untersuchten Arten Elster und Habicht beträgt dieser Zeitraum ca. ein Jahr.

#### 4.4.1. Bildung der Feder

Die Bildung der Feder findet im Blutkiel statt, der tief in die Haut eingesenkt ist. Erstes Zeichen einer sich neu entwickelnden Feder ist eine scheibenartige Verdickung der Epidermis. Im weiteren Verlauf der Federbildung wächst der Federkeim in Form eines Hohlzylinders heraus. Im Innern des Zylinders bildet sich ein Pfropf aus Unterhautgewebe mit Blutgefäßen zur Ernährung des Federkeimes. Die verhornten Schichten des proliferierenden, epidermalen Gewebes bilden die Federscheide, die sich anfänglich dicht um die wachsende Feder schließt.

Die Epidermiszellen gruppieren sich in zwei Reihen von spiralförmigen Leisten, die später durch Verhornung die Federäste bilden. Die Spitzen der epidermalen Leisten enden entlang der Längsachse auf deren ventraler Seite. Auf der dorsalen Fläche der Feder deutet ein längsverlaufender Kamm epidermaler Zellen den Schaft an. Durch kontinuierlichen Zuwachs an der Basis wird der Hohlzylinder nach oben geschoben.

Im oberen Abschnitt des Blutkiesels, in der Verhornungszone vertrocknet der Pfropf aus Unterhautgewebe. In diesem Stadium bricht die Federscheide fortschreitend auf, und zwar zuerst an der freien Spitze der Feder: die fertig ausgebildete und verhornte Federfahne entfaltet sich (LUCAS & STETTENHEIM 1972) und tritt in Kontakt mit der Außenwelt.

Die Zeit vom Keimen einer Feder bis zu ihrer Verhornung läßt sich nicht anhand der Federlänge berechnen. Die Wachstumsgeschwindigkeit wechselt von Art zu Art, kann sogar bei benachbarten Federn verschieden sein und variiert in Abhängigkeit von der Entwicklungsphase. In der Literatur werden Wachstumsgeschwindigkeiten zwischen 1 und 13 mm pro Tag beschrieben (STRESEMANN & STRESEMANN 1966).

Durch die Keratinisierung tritt eine Konservierung der Struktur ein. Die entwickelte Feder ist analog zu den Haaren der Säugetiere abgestorbene Substanz.

#### 4.4.2. Pflege der Feder

Aufgrund ihrer diffizilen Feinstruktur und mannigfaltigen Beanspruchungen in den unterschiedlichen Funktionskreisen bedürfen Federn ständiger Pflege.

Die häufigste Form der Gefiederpflege ist das "Sich-Putzen". Dabei werden die einzelnen Federn von der Basis zur Spitze durch den Schnabel gezogen. So sollen gelöste Verbindungen zwischen Haken- und Bogenstrahlen wieder geschlossen und Fremdkörper und Ektoparasiten wie z.B. Federlinge (Mallophagen) aus dem Gefieder herausgekämmt werden. Beim "Sich-Putzen", das ausgiebig und zeitintensiv durchgeführt wird, werden die einzelnen Federpartien systematisch bearbeitet.

Ein weiteres wichtiges Komfortverhalten, das die Federn betrifft, ist das Baden. Es wird bei allen Vogelarten beobachtet und mehr oder minder regelmäßig durchgeführt. Das Baden kann auf ganz unterschiedliche Arten stattfinden: Baden am Rand von Oberflächengewässern, Tauchbäder z.B. bei Seglern und Schwalben im Flug, Baden im Regen oder Taubäder in regen- oder taunasser Bodenvegetation (CREUTZ 1967, NICOLAI 1962).

Vögel baden aber nicht nur im Wasser. Verschiedene Corvidenarten wurden beim Bad im Schnee beobachtet und gerade bei bodenlebenden Arten ist das Staubbaden ausgeprägt. In diesem Zusammenhang sind Beobachtungen von BERTHOLD (1965) zur Rostfärbung von Vögeln von besonderem Interesse. Als Ursache für die Rostfärbung beim Bartgeier (*Gypaetus barbatus*) ließ sich die Aufnahme von  $\text{Fe}^{\text{III}}$  aus eisenoxidhaltigem Sand in die Federn experimentell nachweisen.

Auch beim Baden werden grobe Verunreinigungen, die den Kopplungsmechanismus zwischen Haken- und Bogenstrahlen stören sowie Ektoparasiten aus dem Gefieder entfernt. Dabei kommen die Federn mit den unterschiedlichsten Umweltmedien, z.B. Oberflächengewässer, in einen intensiven Kontakt. Veränderungen in der stofflichen Zusammensetzung der Feder sind dadurch nicht auszuschließen.

Aus den in Kap. 6.1 beschriebenen Waschversuchen geht hervor, daß selbst intensives Abspülen der Federn mit Wasser keine signifikanten Schwermetallverluste verursacht. Daher sind auch keine Auswaschungseffekte durch Baden zu erwarten. Andererseits ist auch eine Kontamination der Federn durch schwermetallbelastetes Wasser unwahrscheinlich. GOEDE & DE BRUIN (1986) stellten keine Zunahme der Quecksilber-, Zink-, Blei- und Selengehalte in Federn fest, die sie bis zu 60 Stunden Meerwasser und Schlick im Bereich des niederländischen Wattenmeeres ausgesetzt hatten.

Mit Ausnahme der Bürzeldrüse verfügen Vögel über keine Hautdrüsen. Bei einzelnen Vogelgruppen (Tauben, Kormorane etc.) fehlt diese Drüse. Sie sitzt als paariges, sich aus einzelnen Talgdrüsen zusammensetzendes Gebilde, auf den letzten Schwanzwirbeln. Die Bürzeldrüsensekrete, Esterwachs aus verschiedenen Fettsäuren und Alkoholen (JACOB 1977) schützen das Gefieder vor Sprödigkeit und Abnutzung und tragen so zu seiner wasserabstoßenden Wirkung bei (RUTSCHKE 1960). Im einzelnen sind die Funktionen der Bürzeldrüsensekrete wie z.B. ihre antimikrobielle Wirkung noch nicht geklärt.

In dem auf die Federn aufgetragenen Lipidfilm aus Bürzeldrüsensekreten können sich luftgetragene Partikel und eventuell auch Gasphasenbestandteile verteilen und werden so gespeichert. Eine anschließende Migration zur Feder und eine Absorption durch das Keratin sind möglich (JACOB persönl. Mitteilung). Es ist daher auch vorstellbar, daß das Bürzeldrüsenlipid als Substrat für organische Luftverunreinigungen wie PAH's und PCB's dienen kann.

#### 4.4.3. Verschleißerscheinungen an Federn

Die starken Beanspruchungen der Federn führen zu Abnutzungserscheinungen an ihren Strukturen (Rutschke 1970). Dabei ist der Grad der Abnutzung bei den einzelnen Federgruppen unterschiedlich. An den Spitzen von Schwungfedern zeigen sich diese Spuren in der Regel am deutlichsten und können so zur Altersbestimmung der einzelnen Federn herangezogen werden (BUSSE 1984, BECKER, BUB & HANSEN 1985). Für den Einsatz von Vogelfedern als Biomonitoren ist eine Einordnung in getragene und frisch vermauserte Federn von großer Bedeutung.

#### 4.4.4. Die Mauser

Da Federn tote Gebilde darstellen, können sie nur als ganze Einheit erneuert werden. Das periodische Auswechseln der Federn nennt man Mauser. Die Steuerung der Mauser erfolgt hormonell (siehe VOITKEVICH 1966, PAYNE 1972). Um durch das Fehlen von Federn bedingte Beeinträchtigungen beim Fliegen und bei der Wärmeregulation zu minimieren, ist ein wohlkoordinierter Auswechselmodus notwendig (STRESEMANN & STRESEMANN 1966, PALMER 1972).

Im folgenden wird die Mauser von Elster und Habicht beschrieben. Im Besonderen soll der Mauserrhythmus der Federgruppen dargestellt werden, die als Biomonitoren ausgewählt wurden.

Die Mauser der Elster setzt zu Ende der Brutzeit ein. Da große Variationen zwischen frühzeitigen und spätbegonnenen Bruten bestehen, verschiebt sich der Mauserbeginn entsprechend. Die Mauser des Großgefieders beginnt mit der innersten Handschwinge. Nachdem das erste Drittel der Handschwingen erneuert wurde, erfolgt die Mauser der Steuerfedern. Vom Mauserzentrum, den beiden mittleren Steuerfedern, verläuft sie beiderseits zentrifugal nach außen (BÄHRMANN 1968) (Abb. 4.3.).

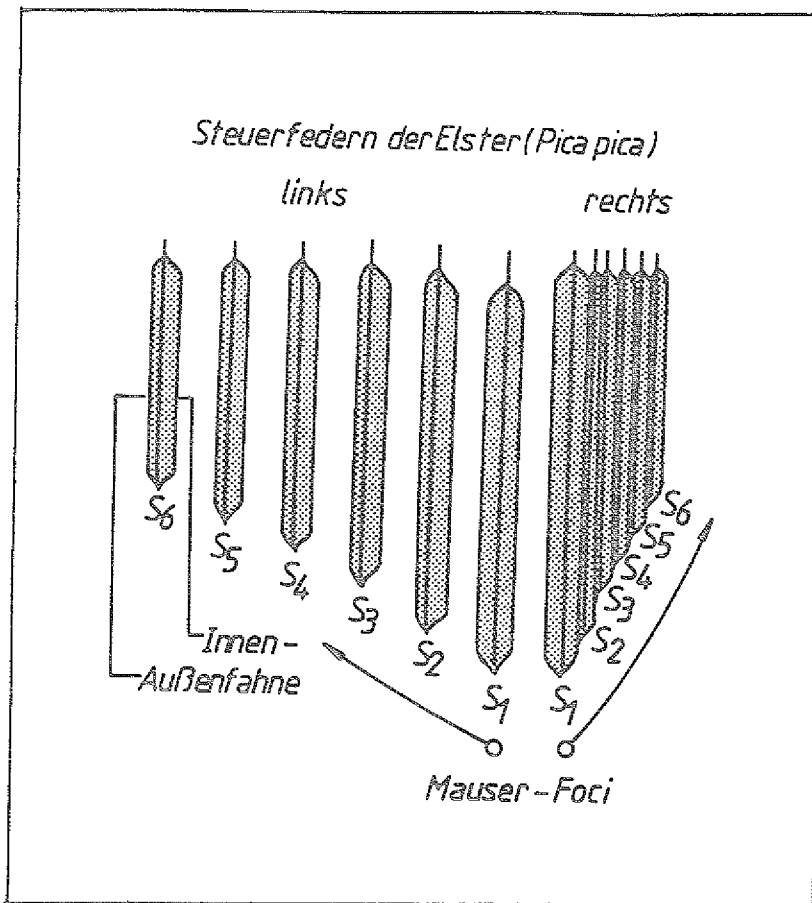


Abb. 4.3.: Die zentrifugale Mauser der Steuerfedern bei Elstern.

Bei Habichten beginnt die Großgefiedermauser mit dem Ausfall der 1. Handschwinge. Unverpaarte Vögel beginnen damit meist im April (FISCHER 1983). Im Gegensatz dazu ist die Mauser der Handschwingen bei brütenden Habichtweibchen eng mit der Brutzeit verbunden. Gleichzeitig mit der Ablage des 2. Eies wird regelmäßig die 1. Handschwinge abgeworfen (BRÜLL 1984). Die Handschwingenmauser verläuft deszendend, d.h. die Handschwingen Nr. 1. bis 10. werden nacheinander erneuert (Abb. 4.4.). Bis Mitte September ist die Mauser der Handschwingen in der Regel abgeschlossen (FISCHER 1983).

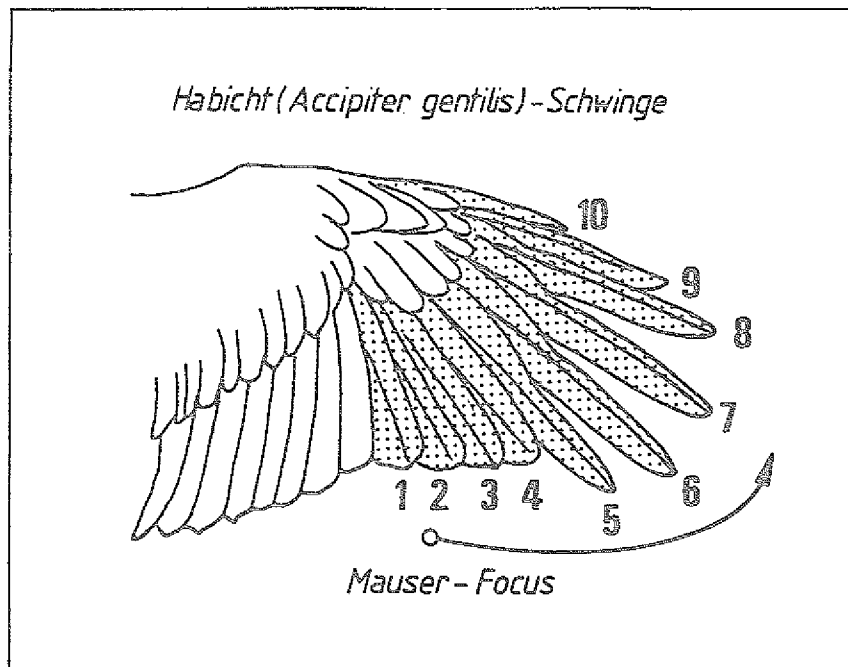


Abb. 4.4.: Die deszendente Handschwingenmauser der Habichte.

Eine wichtige Bedingung für den Einsatz von Federn als Biomonitoren ist eine eindeutige Altersbestimmung. Der Abnutzungsgrad der Federn und Kenntnisse über die Mauserhythmen sind Grundlage für eine sichere Altersbestimmung.

Bei den untersuchten Arten Elster und Habicht sind die Mauserhythmen gut untersucht. Die Steuerfedern von Elstern und die Handschwingen von Habichten werden regelmäßig jedes Jahr zu einem bestimmten Zeitpunkt erneuert. Daher läßt sich bei beiden Arten eine Altersbestimmung dieser Federn durchführen (vgl. Kap. 7.1.1.).

#### 4.5. Folgerungen für den Einsatz von Federn als Biomonitoren

Aufgrund ihrer Struktur und Funktion stellen Federn ein geeignetes Fangsubstrat für Luftverunreinigungen u.a. schwermetallhaltige Aerosole dar. Diese Aufgabe erfüllen sie, indem sie nach ihrer Bildung als tote, verhornte Substanz atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind und über ihre "Funktionszeit" Partikel aus der Atmosphäre aufnehmen und speichern. Die Zeit, über die Federn als Akzeptor funktionieren, wird vom Mauserhythmus bestimmt.

### 5. Schwermetalle in Vogelfedern - ein Literaturüberblick

Grundvoraussetzungen für Bioindikationsverfahren sind Kenntnisse über qualitative und quantitative Beziehungen zwischen Indikator und Indikandum, die Erklärungen für Wirkungsmechanismus liefern. Besondere Schwierigkeiten für das Verständnis von Wirkungszusammenhängen zwischen den Schwermetallgehalten in der Umwelt der Vögel und in ihren Federn ergeben sich aufgrund folgender Tatsachen:

- unterschiedliche Bedeutungen der einzelnen Metalle für den Organismus. Man unterscheidet zwischen essentiellen und nicht essentiellen Metallen. So sind z.B. Zink, Kupfer, Nickel und Kobalt als Bausteine von Enzymen an Ablauf und Steuerung zahlreicher Stoffwechselreaktionen beteiligt und wirken erst in hohen Konzentrationen toxisch. Dagegen sind Blei und Cadmium nach dem heutigen Kenntnisstand nicht lebensnotwendige Elemente (UNDERWOOD 1977, ADRIANO 1986).
- die Feder ist im Gegensatz zu inneren Organen während ihrer "Lebensdauer" zwei grundverschiedenen Milieubedingungen ausgesetzt. In der Wachstumsphase steht sie über stoffwechselphysiologische Prozesse mit dem Organismus in Verbindung. In ihrer eigentlichen Funktionsphase als Flug- und Schutzorgan besitzt sie keinen Kontakt mehr mit dem Organismus, ist aber dann umso stärker äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt (vgl. Kap. 4). Diese grundverschiedenen Milieus unterscheiden sich auch hinsichtlich der Konzentration der untersuchten Schwermetalle.

Diese Problematik führt dazu, daß in Untersuchungen über Schwermetalle in Federn zwei grundverschiedene Auffassungen bei der Interpretation und Bewertung der gemessenen Metallgehalte vertreten werden. Die beiden gegensätzlichen Auffassungen über die Herkunft und den Mechanismus der Schwermetalleinlagerung in Federn sind:

1. die in Federn festgestellten Schwermetallgehalte repräsentieren das Ergebnis endogener Stoffeinlagerungen während des Federwachstums und stehen nicht in Zusammenhang mit äußeren Stoffeinträgen,
2. die gemessenen Schwermetallgehalte im besonderen der nicht essentiellen Spurenelemente resultieren zum überwiegenden Teil aus exogenen Auf- bzw. Einlagerungen nach Abschluß des Federwachstums.

Die Gehalte essentieller und nicht essentieller Metalle in frisch gewachsenen Federn, die noch nicht äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt waren, können nur durch physiologische Einlagerung während der Federbildung hervorgerufen worden sein. Wie sind im Gegensatz dazu die Metallgehalte ein Jahr alter Federn zu interpretieren, die in Erfüllung ihrer Funktion einem intensiven Kontakt mit äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt waren? Weitere Fragen in diesem Zusammenhang sind:

- Ändern sich die Schwermetallgehalte der Federn über die Zeit oder bleiben sie während der gesamten "Lebensdauer" der Feder konstant?
- Unterscheiden sich dabei essentielle und nicht essentielle Elemente?

Inwieweit diese Problematik von den verschiedenen Autoren bei der Interpretation ihrer Ergebnisse zum Metallgehalt von Federn berücksichtigt wurde, soll im folgenden anhand der Literatur dargestellt und bewertet werden. Dabei werden sowohl die essentiellen Schwermetalle Zink, Kupfer, Nickel und Kobalt als auch die toxischen Elemente Cadmium und Blei, die in der vorliegenden Untersuchung analysiert wurden, betrachtet.

#### 5.1. Schwermetalle in Federn als Folge endogener Einlagerungen während des Federwachstums

Die endogene Einlagerung und die physiologische Bedeutung von Zink bei der Federbildung konnte SUNDE (1972) durch Fütterungsexperimente nachweisen: Zinkmangel führt zu Federabnormalitäten. Das Zufüttern von Zinkcarbonat schützt vor solchen Mißbildungen. Die Einlagerung von Kupfer bei der Keratinsynthese ist für Säugerhaare nachgewiesen (UNDERWOOD 1977). Möglicherweise ist dies auch auf die Federbildung übertragbar. Hinweise auf die Beteiligung bzw. Funktion von Nickel und Kobalt bei der Federbildung sind aus der vorliegenden Literatur nicht erhältlich. Auch nicht essentielle Elemente unterliegen physiologischen Steuerungsprozessen im Organismus. Es bestehen Antagonismen und Synergismen mit essentiellen Elementen (MUIRHEAD & FURNESS 1988).

Umfangreiche Untersuchungen zum Elementgehalt von Federn werden seit Beginn der sechziger Jahre in Nordamerika durchgeführt. Dabei sollen über die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Federn Aussagen über die geographische Herkunft wandernder Enten- und Gänsepopulationen ermöglicht werden. Man geht davon aus, daß sich geochemische Eigenheiten (Elementprofile) bestimmter geographischer Regionen über die Elementverteilung in Nahrungspflanzen in den Federn dort mausernder Populationen widerspiegeln. Anhand der Elementprofile von Ca, Mg, Na, K, P, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Si, Al in Schwungfedern können so Populationen wandernder Enten- und Gänsearten für gezielte Managementmaßnahmen unterschieden werden (HANSON & JONES 1976, KELSALL & BURTON 1977, 1979, KELSALL 1984). Voraussetzung für diesen Ansatz ist, daß sich die Konzentrationen der betrachteten Elemente über die Lebensdauer der Federn nicht mehr verändern. Signifikante Unterschiede in der Elementzusammensetzung von Federn in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium stellten KELSALL & PANNEKOEK (1976) fest und weisen auf die daraus resultierenden Probleme bei Anwendung der Methode hin. Die geographischen Herkunftsorte wandernder Vogelarten lassen sich trotz dieser Problematik durch Simultanbestimmungen mehrerer Spurenelemente in Federn in Verbindung mit

multivariaten Diskriminanzanalysen identifizieren. PARRISH et al. (1983) stellten bei Untersuchungen an Wanderfalken (*Falco peregrinus*) fest, daß die Aussagesicherheit auch in Abhängigkeit von der Auswahl der Elemente variiert. Die besten Ergebnisse zur Unterscheidung verschiedener Populationen nach ihrer geographischen Herkunft erhielten sie anhand der Elementgruppe Quecksilber, Aluminium und Vanadium.

Von diesen Untersuchungen ausgehend, benutzt eine Vielzahl von Autoren Federn der verschiedensten Vogelarten, um mit ihnen schnell und analytisch zuverlässig Belastungen mit ökotoxischen Schwermetallen (Pb, Cd, Hg, As) darzustellen (BAUMGARDT 1982, BREITSCHWERTD 1984, DMOWSKI & KAROLEWSKI 1979, DOI & FUKUYAMA 1983, DIETRICH & ELLENBERG 1986, ELLENBERG et al. 1986, GAST 1984, HONDA et al. 1986 a,b, 1987, HÜBER 1987, MÜLLER et al. 1984, OSBORN et al. 1979, ROLEV 1983, SCANLON et al. 1979 a,b, TATARUCH & LIDAUER 1984). Diese Autoren gehen davon aus, daß auch ökotoxische Metalle bei der Federbildung eingelagert werden und die in Federn gemessenen Gehalte somit die über die Nahrung aus der Umgebung aufgenommene Belastung des Organismus repräsentieren. Dagegen wird eine exogene Schwermetalleinlagerung in Federn von vielen Autoren kaum in Betracht gezogen bzw. glaubt man durch einfache Waschverfahren den exogenen Anteil entfernen zu können. Es fehlen jedoch gezielte Untersuchungen, die den exogenen Anteil der Schwermetallbelastung sicher bestimmen und darüberhinaus Waschverfahren zur Entfernung dieses Anteils ohne Kontamination bzw. Auswaschung des endogenen Anteils vorschlagen. Die z.T. sehr hohen Gehalte an Blei, Cadmium und Quecksilber in Federn werden dahin gehend interpretiert, daß der Organismus Federn als "Exkretionsorgan" für toxische Schwermetalle benutzt (HONDA et al. 1985, KOOIKER 1986, EVANS et al. 1987).

EVANS et al. (1987) führten an Limikolen Untersuchungen zur Aufnahme von Zink, Cadmium, Blei, Kupfer und Quecksilber aus der Nahrung durch. Sie stellten fest, daß die über die Nahrung aufgenommenen Schwermetalle zum allergrößten Teil (>99%) wieder ausgeschieden werden, wobei die renale Exkretion den Hauptausscheideweg darstellt. Darüber hinaus findet nach Meinung der Autoren saisonal eine "Entsorgung" von Schwermetallen in die wachsenden Federn bei der Mauser und in Eier statt. Die zur Zeit der Mauser erhöhten Schwermetallkonzentrationen in Organen werden mit der Remobilisierung von deponierten Metallen zur anschließenden Exkretion in die wachsenden Federn interpretiert.

Die Konzentrationen von Metallen in Organen zeigen aber saisonale Schwankungen, die mehr vom physiologischen Zustand des Organs beeinflußt werden, als von der aktuellen Belastungssituation des Organismus z.B. durch die Nahrung (HAARAKANGAS et al. 1974, OSBORN 1979). Dies läßt sich am Beispiel der Metallothioneine für Zink- bzw. Cadmiumgehalte der Leber verdeutlichen (OSBORN et al. 1979). Metallothioneine sind nichtenzymatische Proteine, die bei Transport, Ablagerung und Entgiftung von zweiwertigen Metallen eine Rolle spielen (KÄGI & NORDBERG 1979). Infolge des erhöhten Zinkbedarfs

bei der Mauser steigt auch die Konzentration der Metallothioneine an. Dadurch erhöht sich die Anzahl intrazellulären Bindungsstellen auch für toxische Metalle und es kommt zu erhöhten Cadmiumgehalten in Leber und Niere zur Zeit der Mauser infolge erhöhter Stoffwechselaktivität und nicht aufgrund einer gezielten Remobilisierung deponierter Metallfrachten.

## 5.2. Exogener Schwermetalleintrag in Federn nach der Keratinisierung

RANTA et al. (1978) bestimmten Nickel-, Kupfer- und Zinkgehalte in Handschwingen der Entenarten *Anas platyrhynchos* und *Anas rubripes* von Probennahmestandorten in Nähe eines Schwerindustriekomplexes in Süd-Kanada. Unterschiedliche Depositionsraten dieser Metalle in Abhängigkeit von der Entfernung bzw. Windrichtung vom Emittenten spiegeln sich in den Nickel- und Kupfergehalten der Federn wider. Die Autoren erwähnen die Möglichkeit, daß durch anthropogen emittierte Metallpartikel eine exogene Anlagerung von nicht essentiellen Metallen in die Federn erfolgt, mit anschließender Bindung durch physikochemische Prozesse.

Erstmals zeigten ROSE & PARKER (1982) mit ihren Untersuchungen an Schwungfedern des nordamerikanischen Kragenhuhns (*Bonasa umbellus*) daß:

- innerhalb eines "Federjahres" die Gehalte an Kupfer, Nickel und Eisen in Abhängigkeit von der atmosphärischen Metallbelastung um das 7-20 fache ansteigen,
- weder Geschlecht noch Alter der Individuen einen signifikanten Einfluß auf die Metallbelastung des Gefieders haben,
- im Experiment atmosphärischen Einflüssen ausgesetzte Federn eine lineare, zeitabhängige Zunahme an Kupfer, Nickel und Eisen zeigen,

und belegen damit, daß luftgetragene Schwermetalle exogen in Federn eingelagert werden und den weitaus überwiegenden Anteil der Gehalte dieser Metalle in Federn ausmachen.

Einen Anstieg von Blei- und Cadmiumgehalten über die Zeit stellten auch GOEDE & DE BRUIN (1984, 1986) in Federn von Limikolen fest, die im niederländischen Wattenmeer überwintern. Als Ursachen für den zeitlichen Anstieg werden exogene Kontaminationen durch Blei und Cadmium in Bürzeldrüsenlipiden und Salzdrüsen vermutet, können aber nicht nachgewiesen werden.

Untersuchungen von EDWARDS & SMITH (1984) zur Stabilität der Elementgehalte in Federn unterstützen die These einer exogenen Einlagerung von Metallen. Sie stellen Veränderungen in den Elementprofilen von Federn in Abhängigkeit von der Zeit und der chemischen Zusammensetzung ihrer

Umwelt fest. Dabei weisen sie auf die Bedeutung standardisierter Waschverfahren für eine Vergleichbarkeit der Schwermetallgehalte in Federn hin.

### 5.3. Zusammenfassende Bewertung

Zu den verschiedenen Untersuchungen über Metalle in Federn ist festzuhalten, daß alle Autoren Federn als geeignete Indikatoren für die Elementzusammensetzung in der Umwelt des Vogels ansehen. Gegensätzliche Auffassungen bestehen aber in Bezug auf die Eintragsmechanismen und damit die Bewertung der festgestellten Gehalte hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Organismus bzw. ihrer Repräsentativität für die Umweltbelastung.

Aussagen zur Belastungssituation des Organismus bzw. das Verständnis der toxikologischen Bedeutung von gemessenen Schwermetallgehalten in Geweben sind nur möglich, wenn Informationen über saisonale Schwankungen der Metallgehalte in Abhängigkeit von physiologischen Konditionen wie z.B. erhöhte Stoffwechselaktivität bei der Mauser, Hungerzustände usw. vorliegen (OSBORN 1979). Die Metallgehalte frisch gewachsener Federn sind durch die physiologische Kondition des Organismus bei der Mauser standardisiert und ausschließlich auf endogenen Eintrag zurückzuführen. Für eine Interpretation der Gehalte ist aber noch zu klären, was sie repräsentieren:

- spiegeln die Schwermetallgehalte frisch gewachsener Federn die aktuelle Belastungssituation des Organismus zum Zeitpunkt der Mauser wider, oder
- werden bei der Mauser im Organismus deponierte Metallfrachten remobilisiert und in die wachsenden Federn eingebaut und der Organismus damit entgiftet, oder
- werden toxische Metalle in geringem Umfang und nicht repräsentativ anstelle essentieller Elemente verwendet, quasi verwechselt?

Welche dieser drei Möglichkeiten zutrifft, läßt sich anhand der vorliegenden Literatur nicht abklären. Mit Sicherheit verhalten sich auch die einzelnen Metalle in dieser Hinsicht unterschiedlich. Der Schluß vom Schwermetallgehalt der Feder auf die Belastung der Nahrung und darüber hinaus auf Ökosysteme ist daher nach heutigem Kenntnisstand nicht möglich.

Bei der Interpretation der Schwermetallgehalte in Federn als Folge allein endogener Einlagerung wird oft die Tatsache außer Acht gelassen, daß Schwermetalle, die als Aerosole in der Atmosphäre verweilen durch rein physikalische Prozesse an Federn angelagert und anschließend gebunden werden. Dabei ist der Anteil exogen in die Feder eingelagerter Metalle abhängig von ihrer Konzentration in der Atmosphäre, die u.a.

wiederum durch anthropogene Emissionen stark beeinflusst wird. So wird die anthropogene Bleiemiission in die Atmosphäre für die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1978 in der Größenordnung von 6500 t geschätzt, wobei eine erhebliche Schwankungsbreite besteht (SCHLADOT & NÜRNBERG 1982). Die aus der Atmosphäre stammenden Schwermetallfrachten werden dann die endogenen, während des Federwachstums aus dem Organismus in die Federn deponierten Schwermetallgehalte überlagern.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob sich Federn als repräsentative Proben zur Erfassung luftgetragener Schwermetallbelastungen eignen und es soll eine Methode für den praktischen Einsatz von Vogelfedern als Biomonitoring ausgearbeitet werden.

## 6. Experimentelle Untersuchungen zur Eignung von Vogelfedern als Biomonitoren für die atmosphärische Schwermetallbelastung

Das folgende Kapitel faßt die Ergebnisse von grundlegenden Untersuchungen für den Einsatz von Federn als Biomonitoren zusammen. Die Resultate liefern Kenntnisse über die Verteilung von Schwermetallen in Federn sowie Anleitungen zur Standardisierung der Arbeitsschritte bei der Probenauswahl und Probenvorbereitung und belegen gleichzeitig die prinzipielle Eignung von Vogelfedern für atmosphärisches Schadstoff-Monitoring. Dazu wurden folgende Experimente durchgeführt:

- Waschversuche,
- Verteilung der Schwermetalle in Fahne und Kiel,
- Verteilung der Schwermetalle in Federfahnen,
- Schwermetalle in Hand-, Armschwingen und Steuerfedern,
- Schwermetallgehalte in Abhängigkeit vom Alter der Federn,
- Exposition standardisierter Elsterfedern.

### 6.1. Waschversuche

Ziel der Waschversuche ist die Ermittlung von Art und Festigkeit der Bindung von Schwermetallen auf bzw. in den Federn. Daraus sollen Hinweise auf die Herkunft der Schwermetalle (exogen, endogen) erhalten und Handlungsrichtlinien für die Probenvorbereitung aufgestellt werden, die für einen Einsatz von Federn als Biomonitoren vorauszusetzen sind.

#### 6.1.1. Material und Methoden

Für die Waschversuche wurden Schwungfedern (Hand- und Armschwingen, Steuerfedern) von Elstern und Habichten ausgewählt. Die Zusammenstellung von Federpaaren gleichen Alters und gleicher Position im Gefieder, z.B. HS-3<sub>l</sub> und HS-3<sub>r</sub> eines Individuums, sollte altersabhängige und positionsbedingte Unterschiede (vgl. Kap. 6.4. und 6.5.) in den Schwermetallgehalten der Federn weitgehend ausschliessen.

Bei den Waschversuchen wurden zwei Ansätze verfolgt :

1. die Wirkung des Waschverfahrens bzw. der Waschlösung auf die Schwermetallbelastung von Federn soll durch den Vergleich der Schwermetallgehalte behandelter und unbehandelter Federn identischer Position ermittelt werden.
2. durch die Bestimmung der Schwermetallmengen in den Waschlösungen läßt sich der von der Feder abgewaschene Schwermetallanteil bilanzieren.

Die ausgewählten Federn wurden jeweils mit ca. 30 ml Aceton (p.A. Merck, Darmstadt) abgespült. Zur Bestimmung der Schwermetallgehalte in den Waschlösungen wurde das abfließende Aceton aufgefangen und bei 60°C bis zur Trockne eingedampft. Nach Zugabe von 2 ml HNO<sub>3</sub> suprapur und 0,2 ml HClO<sub>4</sub> suprapur erfolgte der Aufschluß der Proben 3 Stunden mit "PRAWOL"-Druckaufschlußsystemen bei 180° C. Durch anschließendes Abdampfen bis zur Trockne verflüchtigen sich störende Stickoxide. Danach wurden die Proben mit 0,2 ml HNO<sub>3</sub> und 10 ml Aqua tridest in Glaskölbchen aufgenommen.

#### 6.1.2. Ergebnisse der Waschversuche

Im folgenden sind die Ergebnisse der Waschversuche an ausgewählten Elster- und Habichtfedern dargestellt.

##### 6.1.2.1. Vergleich der Schwermetallgehalte in mit Aceton gewaschenen und unbehandelten Elsterfedern

Für diese Untersuchungen wurden zwei Elstern, E-71 und E-55, aus dem Jahr 1985 ausgewählt. Beide Individuen stammen aus dem Raum Jülich. In Tabelle 6.1. sind die Ergebnisse dieser Schwermetallbestimmungen in vergleichbaren Federn zusammengestellt.

Tab. 6.1.: Vergleich der Schwermetallgehalte in mit Aceton gewaschenen Federn (gew.) und unbehandelten Federn (ungew.). Angaben in mg/kg.

|        | Vogel | Feder | Zn     | Cd   | Pb     | Cu    | Ni    | Co   |
|--------|-------|-------|--------|------|--------|-------|-------|------|
| gew.   | E-55  | S-6l  | 239,7  | 1,63 | 50,82  | 8,10  | 3,02  | 1,02 |
| ungew. |       | S-6r  | 207,4  | 1,10 | 44,77  | 7,40  | 2,45  | 0,82 |
| gew.   | E-71  | S-6l  | 235,6  | 1,08 | 51,23  | 8,33  | 2,09  | 0,92 |
| ungew. |       | S-6r  | 212,0  | 1,27 | 58,12  | 11,51 | 3,56  | 1,05 |
| gew.   | E-71  | S-1l  | 304,03 | 2,87 | 273,98 | 34,66 | 11,61 | 1,57 |
| ungew. |       | S-1r  | 383,47 | 2,78 | 226,76 | 32,39 | 10,74 | 1,55 |

Beim Vergleich der Gehalte an Zink, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Kobalt in den mit Aceton gewaschenen und den unbehandelten Federn sind keine signifikanten Konzentrationsunterschiede in Abhängigkeit vom Waschverfahren feststellbar. Gewaschene Federn weisen z.T. sogar höhere Schwermetallgehalte auf als unbehandelte.

Bei einem Waschversuch mit gleichem Versuchsaufbau ließ sich für ein größeres Probenkollektiv statistisch kein Unterschied zwischen gewaschenen und ungewaschenen Federn feststellen (t-Test für paarweise angeordnete Meßwerte nach SACHS 1988) (HAHN et al. in Vorbereitung). Unterschiede zwischen den Schwermetallgehalten der Federpaare sind daher auf biologisch bedingte Schwankungen in Verbindung mit analytischen Fehlern zurückzuführen.

#### 6.1.2.2. Vergleich der Bleiverteilung in mit Aceton gewaschenen und unbehandelten Federn

Inwiefern das Abspülen mit Aceton die Verteilung der Bleigehalte über die Federfahne beeinflusst, läßt sich durch Untersuchungen mit der Feststoff-AAS prüfen. Wie in Kapitel 6.3.2 dargestellt, lassen sich für Blei und Cadmium zwei Gradienten in der Verteilung über die Federfahne beobachten. In Abb. 6.1. ist die Bleiverteilung in zwei Armschwingen (AS-1<sub>l</sub> und AS-1<sub>r</sub>) eines Habichtweibchens aus dem Raum Jülich aufgetragen. Die linke Handschwinge wurde unbehandelt analysiert, die rechte Handschwinge zuvor mit Aceton abgespült.

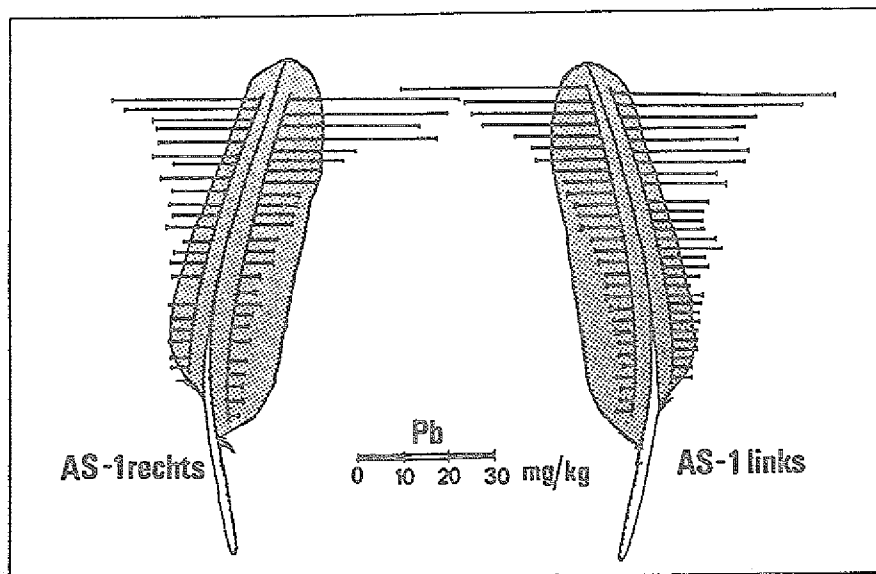


**Abb. 6.1.:** Verteilung von Blei in ungereinigten (links) und gewaschenen (rechts) Habicht-Armschwingen

Ein Einfluß des Reinigungsschrittes auf die Bleiverteilung in den Federfahnen und die Bleikonzentration ist nicht erkennbar. Dies läßt sich wohl auch auf weitere Elemente und Federn anderer Vogelarten übertragen.

hoher Wahrscheinlichkeit um eine Sekundärkontamination der Waschlösung. Nickel weist die höchsten Gehalte in den Waschlösungen auf. Auch die Acetonlösung zur Blindwertbestimmung enthält die höchsten Grundbelastungen an Nickel (Anhang Tab. 10.2.).

Die Arbeitsschritte bei der Probenvorbereitung (Auffangen der Aceton-Lösung mit einem Trichter) und das relativ große Probenvolumen mit Metallgehalten im Spurenbereich beinhalten trotz Arbeiten unter Reinraumbedingungen ein hohes Kontaminationsrisiko. Aceton (p.a.) besitzt für Nickel und Kobalt deutlich messbare Blindwerte.

Das Abspülen der Federn mit Aceton führt bei den Elementen Zink, Cadmium und Blei zu einem kalkulierbaren Elementverlust in der Größenordnung von ungefähr 10 %.

#### 6.1.3. Diskussion der Waschversuche und Folgerungen

Aus den beschriebenen Waschversuchen ergibt sich folgendes Fazit:

- die Schwermetalle sind relativ fest in den Federstrukturen gebunden. Sie lassen sich nicht ohne weiteres abwaschen. Zur Art der Bindung lassen sich keine Aussagen machen. Es können elektrostatische Effekte wirksam sein, die Partikel können in den Federzwischenräumen oder in den aufgetragenen Wachsen der Bürzeldrüse gebunden werden.
- eine Unterscheidung nach exogenen (abwaschbaren) und endogenen (nicht abwaschbaren) Anteilen der Schwermetallbelastung in Federn ist nicht möglich.
- die Waschversuche lassen den Schluß zu, daß das Baden der Vögel im Wasser nicht zu merklichen Schwermetallverlusten in Federn führt.
- Reinigungsverfahren von Vogelfedern im Rahmen der Probenvorbereitung sind problematisch, da sie einerseits Kontaminationen andererseits aber auch Elementverluste verursachen können. In der Literatur werden folgende Waschverfahren für Vogelfedern beschrieben:

1. Reinigung im Ultraschallbad mit einem anionischen Detergenz, z.B. 0,1 %iger Triton-X-100 Lösung (KOOIKER 1984, MÜLLER et al. 1984),
2. Schütteln in deionisiertem Wasser mit unterschiedlicher Zeitdauer (HANSON & JONES 1976, GOEDE & DE BRUIN 1984),
3. Behandlung im Ultraschallbad mit organischen Lösungsmitteln (Aceton, Aceton/ $\text{CCl}_4$ -Gemisch) (BAUMGART 1982),
4. Abspülen mit Aceton (HONDA et al. 1985).

HANSON & JONES (1976) untersuchten ebenfalls die Effizienz ihrer Reinigungsverfahren. Sie stellten keine Unterschiede in den Gehalten an Calcium, Magnesium, Natrium, Eisen, Zink und Kupfer zwischen unterschiedlich lange in deionisiertem Wasser gewaschenen Federn fest.

Ziel von Reinigungsschritten bei der Probenvorbereitung ist, sekundäre Verunreinigungen von der Federoberfläche zu entfernen. Die nach der Federbildung in/auf die Feder aufgetragenen Blei- und Cadmiummengen (Kap. 6.7.1.) lassen sich selbst mit intensivsten Reinigungsverfahren nicht vollständig entfernen (WEYERS et al. 1988). Bei intensiven Reinigungsschritten können aber auch Schwermetalle aus dem Federkeratin herausgelöst werden. Waschverfahren sind jedoch nur sinnvoll, wenn sie quantifizierbar und reproduzierbar sind (vgl. EDWARDS & SMITH 1984).

Aufgrund dieser Überlegungen sollte beim Einsatz von Federn als Biomonitoren kein intensives Waschverfahren durchgeführt werden. Zum Entfernen von groben Partikeln reicht Abspülen mit deionisiertem Wasser, vergleichbar mit der natürlichen Gefiederpflege durch Baden (Kap. 4.4.2.).

## 6.2. Schwermetalle in Fahne und Kiel

Bei den in der Literatur beschriebenen Untersuchungen zur Schwermetallbelastung in Vogelfedern werden unterschiedliche Federteile benutzt. Einige Autoren verwenden nur die Federspule bzw. Teile der Spule (SPRONK & HARTOG 1970, LINDBERG 1984) oder den ganzen Kiel, Spule plus Schaft, (GOEDE 1985), andere nur Federfahnen (GOEDE & de VOOGT 1985) bzw. Federfahne plus Schaft, ohne Spule (ROSE & PARKER 1982; RANTA, TOMASSINI & NIEBOER 1978). Die ganze Feder (Kiel plus Fahne) wird von SCANLON et al. (1979 a,b) und PARKER (1985) benutzt. ELLENBERG et al. (1985) analysierten Blei und Cadmium in den apikalen (an der Spitze gelegenen) 8 cm der Feder.

Aus den zitierten Untersuchungen geht nicht klar hervor, welcher Federteil für Bioindikationsverfahren am geeignetsten ist. Die Untersuchungsergebnisse sind untereinander nicht vergleichbar, da sich die einzelnen Federteile in ihren Schwermetallgehalten unterscheiden (DOI & FUKUYAMA 1983, BORTOLOTTI & BARLOW 1985). Die Auswahl repräsentativer Federteile für Bioindikationsverfahren muß in Abhängigkeit vom untersuchten Element getroffen werden (GOEDE & de BRUIN 1984).

Mit dem Ziel für die Bestimmung von Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt geeignete Federteile für ein Bioindikationsverfahren auszuwählen, wurden die beiden Strukturteile Fahne und Kiel getrennt analysiert.

### 6.2.1. Material und Methoden

Für diesen Ansatz wurden mittlere ( $S_1 l$  und  $S_1 r$ ) und äußere ( $S_6 l$  und  $S_6 r$ ) Elstersteuerfedern unterschiedlich belasteter Standorte im Gradienten Stolberg-Jülich ausgewählt. Es handelt sich dabei um unvermauserte, d.h. ca. ein Jahr alte Federn. Insgesamt wurden 16 Federn mit einer Titanschere in Fahne und Kiel zerschnitten und jedes Teil getrennt analysiert (Kap. 3.3.).

### 6.2.2. Ergebnisse der Schwermetallbestimmungen in Fahne und Kiel

Der überwiegende Anteil (im Mittel 85%) der untersuchten Elemente Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt findet sich in den Federfahnen, unabhängig von der Belastungssituation des Standortes. In Tabelle 10.3. im Anhang sind die Gehalte sowie die prozentuale Verteilung der sechs Schwermetalle in Fahne und Kiel dargestellt. Abb. 6.2. gibt diese prozentuale Verteilung graphisch wieder.

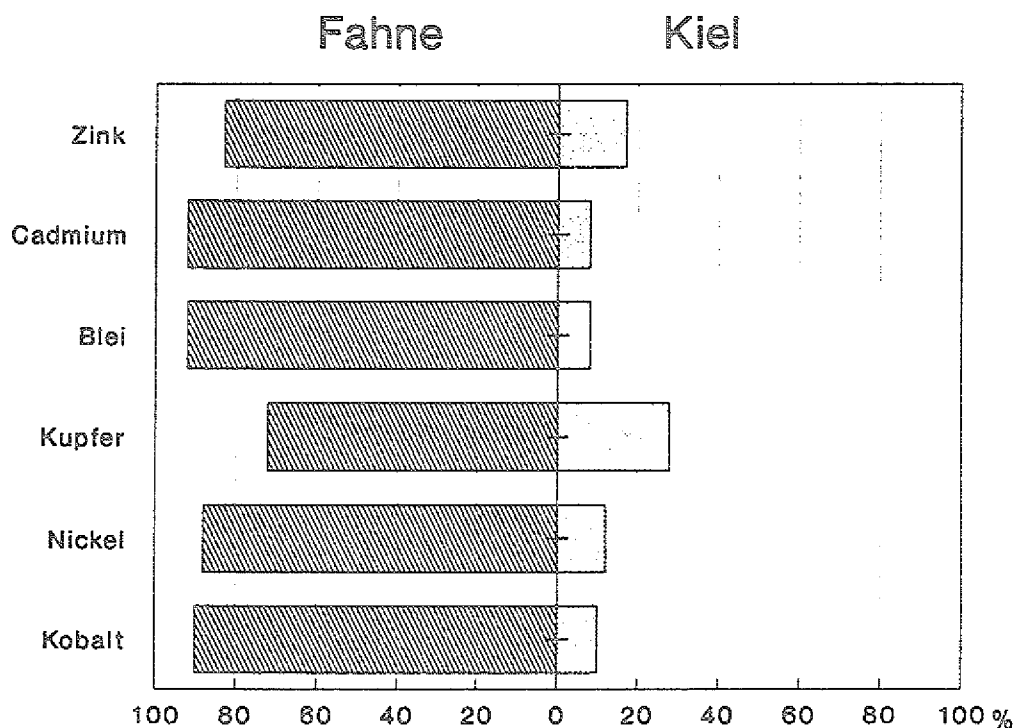


**Abb. 6.2.:** Prozentuale Verteilung der Schwermetalle in Fahne und Kiel von 16 Elstersteuerfedern. Darstellung der Mittelwerte.

### 6.2.3. Diskussion der Ergebnisse

Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit den Untersuchungen von GAST (1984) zur Blei- und Cadmiumverteilung in Fahne und Kiel überein. In 4 Elstersteuerfedern (S-1 bis S-4) findet er 94% des Bleis in der Fahne, 6% im Kiel. Für Cadmium ist die Verteilung 97% zu 3% respektive.

GOEDE & de BRUIN (1984) untersuchten die Verteilung von Zink, Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen und Selen in Federfahnen und Kielen von Knuts (*Calidris canutus*) und Pfuhlschnepfen (*Limosa lapponica*). Mit Ausnahme von Quecksilber sind diese Metalle überwiegend (zwischen 70 und 90%) in den Federfahnen lokalisiert.

Wie ist diese eindeutige Verteilung der untersuchten Schwermetalle zwischen Fahne und Kiel zu erklären? Die Gewichtsanteile von Federfahne und Federkiel in den untersuchten Steuerfedern sind annähernd gleich. Der Anteil des Kieles am Gesamtgewicht der Feder beträgt ca 40 %, der der Fahne ca 60%. Beide Strukturteile der Feder sind biochemisch ähnlich aufgebaut und werden gleichzeitig gebildet (vgl. Kapitel 4.4.1.). Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Strukturteilen ist, daß die Federfahne im Vergleich zum Kiel eine deutlich vergrößerte und strukturierte Oberfläche aufweist.

Für den Einsatz von Federn als Biomonitoren sind die Federfahnen daher geeignetere Proben als Federkiele: sie weisen höhere Schwermetallgehalte auf und lassen auch sichere Bestimmungen in Proben aus Reinluftgebieten mit geringen Belastungsniveaus zu.

### 6.3. Verteilung der Schwermetalle in den Federfahnen

Die in Kapitel 5 angestellten Überlegungen zur Funktionsweise von Federn als Fangsubstrate für atmosphärische Aerosole lassen eine inhomogene Verteilung der Schwermetalle über die Federfahnen erwarten: stärker exponierte Teile (Spitze, Rand, Außenfahne) sollten danach deutlich höhere Schwermetallgehalte aufweisen als die weniger umströmten Partien (Federbasis, kielnahe Bereiche, Innenfahne).

#### 6.3.1. Schwermetallgehalte in Innen- und Außenfahne

Die Federfahne wird durch den Schaft (Rhachis) in die Innen- und Außenfahne geteilt (vgl. Abb. 4.1.). Zur Nachprüfung der o.g. Hypothese wurde daher die Schwermetallverteilung zwischen den beiden morphologisch weitgehend gleichen Fahnteilen Innen- und Außenfahne untersucht.

### 6.3.1.1. Material und Methoden

Für diese Untersuchungen wurden die rechten Steuerfedern eines mehrjährigen Elsterweibchens von einem Standort mit mittlerer Belastung (Frenz, E-7) ausgewählt. Diese Federn waren unvermausert, d.h. ca. ein Jahr alt.

Die Bestimmung der Schwermetallgehalte in Innen- und Außenfahnen erfolgte voltammetrisch, wie in Abschnitt 3.3. beschrieben.

### 6.3.1.2. Ergebnisse

Die Schwermetallgehalte in den untersuchten Innen- und Außenfahnen finden sich in Tab. 10.4. im Anhang. Nach dem t-Test für paarweise angeordnete Meßwerte (SACHS 1984) lassen sich für die Blei-, Kupfer- und Kobaltgehalte signifikante Unterschiede zwischen Innen- und Außenfahne feststellen ( $P < 0,05$ ). In Abb. 6.3. ist die Verteilung der untersuchten Elemente in Innen- und Außenfahnen graphisch dargestellt.

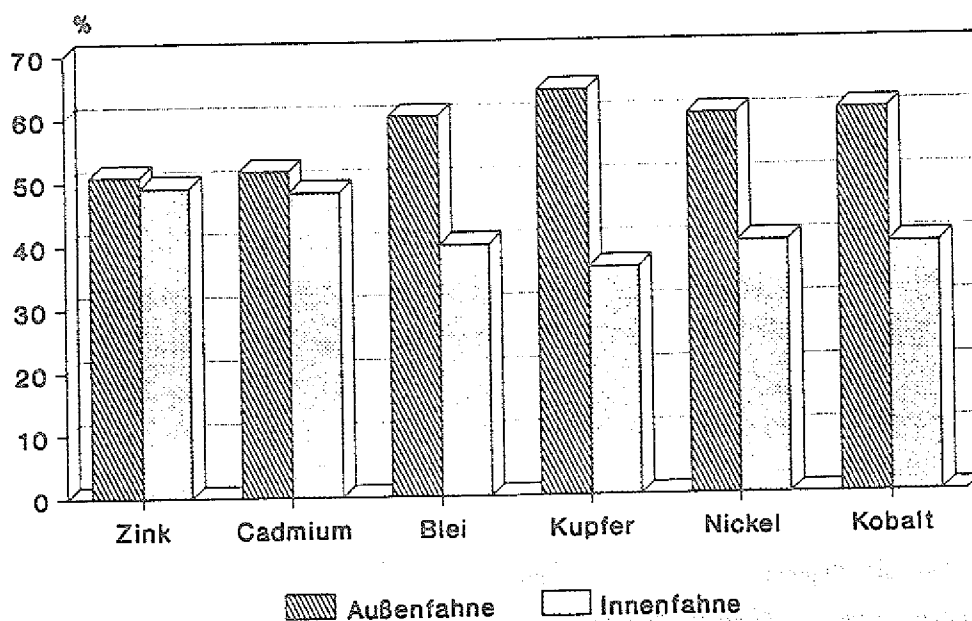


**Abb. 6.3.:** Prozentuale Anteile von Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co in Innen- und Außenfahnen von 5 Elster-Steuerfedern. Dargestellt sind Mittelwerte.

### 6.3.1.3. Diskussion

Die dargestellten Untersuchungen zur Schwermetallverteilung in Innen- und Außenfahne zeigen einen Trend zu höheren Gehalten in den Außenfahnen der Federn. Statistisch signifikant ist dieser Trend für die Elemente Blei, Kupfer und Kobalt.

Innen- und Außenfahnen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Exposition. Die Außenfahne stellt den im Gegensatz zur Innenfahne stärker umströmten Federteil dar. Sie ist freier exponiert als die entsprechende Innenfahne, die in der Regel von der Außenfahne der nächststehenden Feder überdeckt wird. Dies gilt nicht für die mittleren Steuerfedern (S-1), von denen eine beim zusammengelegten Schwanzgefieder als "Firstfeder" obenauf liegt (vgl. Abb. 4.3.). Aus diesem Grund wurde die mittlere Steuerfeder aus den statistischen Berechnungen ausgeschlossen.

Vom geringen Probenumfang her betrachtet, können diese Ergebnisse jedoch nur erste Anhaltspunkte für eine Verteilung der Schwermetalle in den Federfahnen geben. Um kleinräumige Verteilungsmuster zu erkennen sind detaillierte Untersuchungen notwendig.

### 6.3.2. Blei- und Cadmiumprofile in den Federfahnen

Die Untersuchungen zur Schwermetallverteilung in Innen- und Außenfahne deuten an, daß die Schwermetallbelastung in Federn nicht gleichmäßig lokalisiert ist. Es soll daher detaillierter geprüft werden, wie Schwermetalle über die Federfahnen verteilt sind.

Die Feststoff-AAS bietet hier die Möglichkeit, Schwermetalle in Mikroproben der Federfahnen mit Einwaagen zwischen 50 und 2000 µg bzw. Fahnenflächen von ca. 5-50 mm<sup>2</sup> zu bestimmen (Abb. 6.4.). So erhält man ein differenziertes Bild der Schwermetallverteilung über die gesamte Fahne.

Durch die Untersuchung verschiedener Federn sowie Federn unterschiedlicher Vogelarten sollten folgende Punkte geklärt werden:

- welchen Einfluß hat die Pigmentierung auf die Blei- und Cadmiumgehalte der Feder? Bestehen Unterschiede zwischen hellen und dunkel gefärbten Fahnenabschnitten?
- existieren artspezifische Unterschiede in der Verteilung von Blei und Cadmium in Federfahnen abhängig von Ernährung und Lebensweise?
- sind die Verteilungsmuster in unterschiedlichen Schwungfedern wie Hand-, Arm- und Steuerfedern gleich?



Abb. 6.4: Entnahme von Mikroproben für die Schwermetallbestimmung mit der Feststoff-AAS am Beispiel einer Habicht-Armschwinge.

### 6.3.2.1. Material und Methoden

Die Blei- und Cadmiumverteilung wurde in Schwungfedern von Großem Brachvogel (*Numenius arquata*), Wanderfalke (*Falco peregrinus*), Elster (*Pica pica*), Uhu (*Bubo bubo*) und Habicht (*Accipiter gentilis*) untersucht. Diese Vogelarten unterscheiden sich in ihrem Verhalten, ihren ökologischen Ansprüchen und hinsichtlich der Gefiederfärbung. Die Proben stammen von Totfunden und aus Aufsammlungen von Mausfedern. Angaben zur analytischen Methode finden sich in Kapitel 3.4.

Eine Darstellung der Meßwerte in Tabellenform ist aufgrund der Menge der gewonnenen Daten unübersichtlich und wenig aussagekräftig. Deshalb wurden zur Darstellung der Ergebnisse die untersuchten Federn auf Transparentpapier im Maßstab 1:1 abgezeichnet. So war es möglich, die Lage der Mikroproben auf den Federfahnen genau zu dokumentieren. Die in den einzelnen Proben festgestellten Blei- und Cadmiumgehalte wurden mit Ausnahme von Abb. 6.5, als Säulendiagramme auf die entsprechenden Probennahmestellen in den Federfahnen projiziert.

### 6.3.2.2. Ergebnisse

Um zu klären, ob ein Zusammenhang zwischen der Pigmentierung der Federfahne und ihrem Blei- und Cadmiumgehalt besteht, wurden Federn mit einem deutlichen Muster aus pigmentierten und unpigmentierten Querstreifen ausgewählt. Die Steuerfedern des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) zeigen ein regelmäßiges Muster an hellen und dunklen Querbinden. Die pigmentierten Teile weisen keine höheren Bleigehalte auf als die unpigmentierten. Dagegen steigen die Bleigehalte von der Federbasis zur Spitze hin deutlich und kontinuierlich an (Abb. 6.5.).

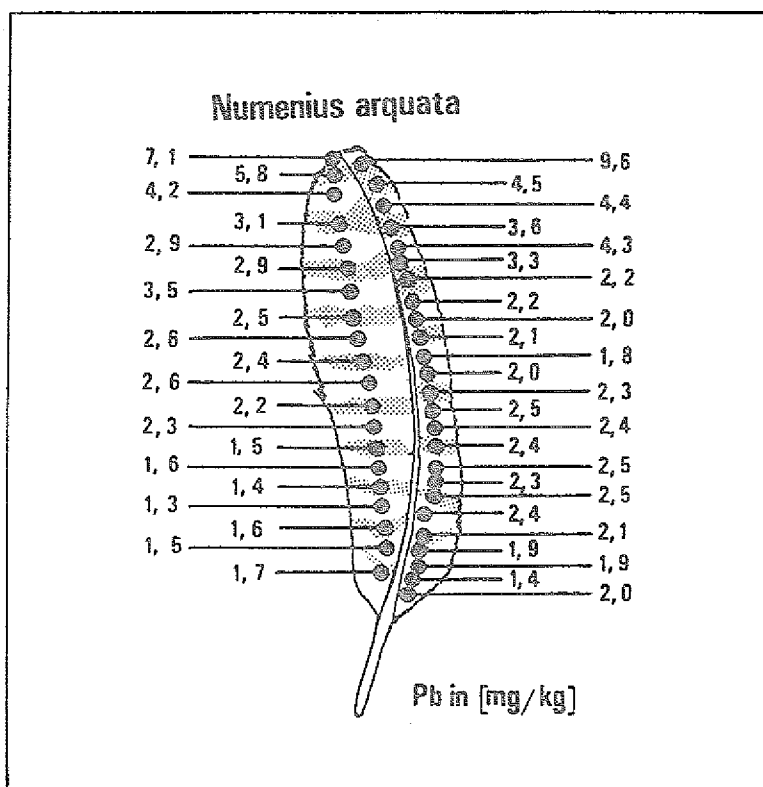


Abb. 6.5.: Bleigehalte in den hell und dunkel pigmentierten Querbändern der Steuerfeder eines Großen Brachvogels (*Numenius arquata*).

Das gleiche Muster, ein Anstieg von der Federbasis zur Federspitze hin, existiert für die Cadmiumgehalte. Abbildung 6.6. zeigt die Cadmiumverteilung in der ersten Handschwinge eines Habichtes (*Accipiter gentilis*), die ebenfalls unterschiedlich gefärbte Federpartien besitzt.

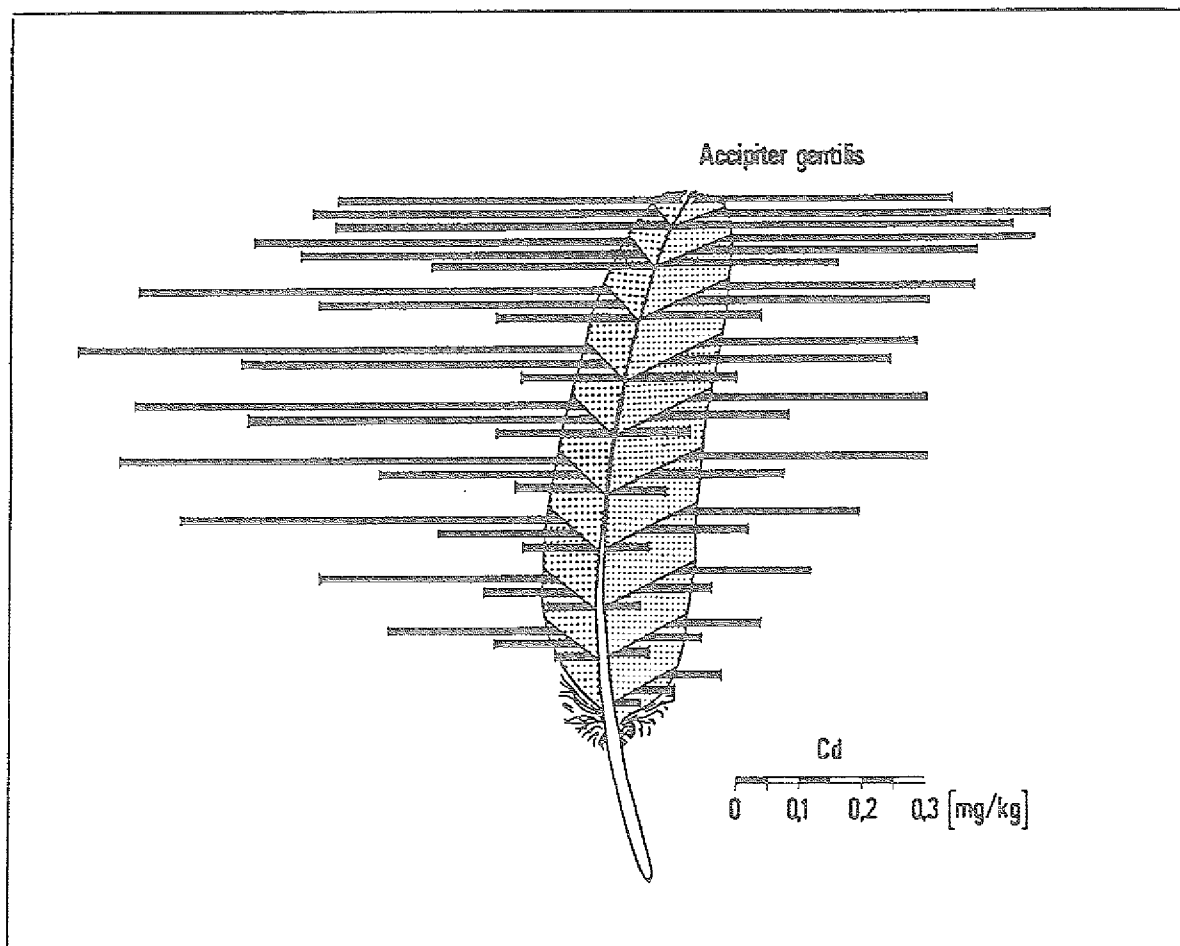


Abb. 6.6.: Cadmiumgehalte in unterschiedlich pigmentierten Teilen der ersten Handschwinge eines Habichtes (*Accipiter gentilis*).

Handschwinge von Elstern (*Pica pica*) sind sehr kontrastreich: weiße Flächen in ansonsten schwarzen Federfahnen. Zusätzlich zum Anstieg der Bleigehalte von der Federbasis zur Spitze läßt sich hier ein zweiter Gradient feststellen: ein Anstieg der Bleigehalte von den inneren, d.h. dem Kiel nahen Federpartien, zu den äußeren Rändern hin (Abb. 6.7.), unabhängig von der Pigmentierung.

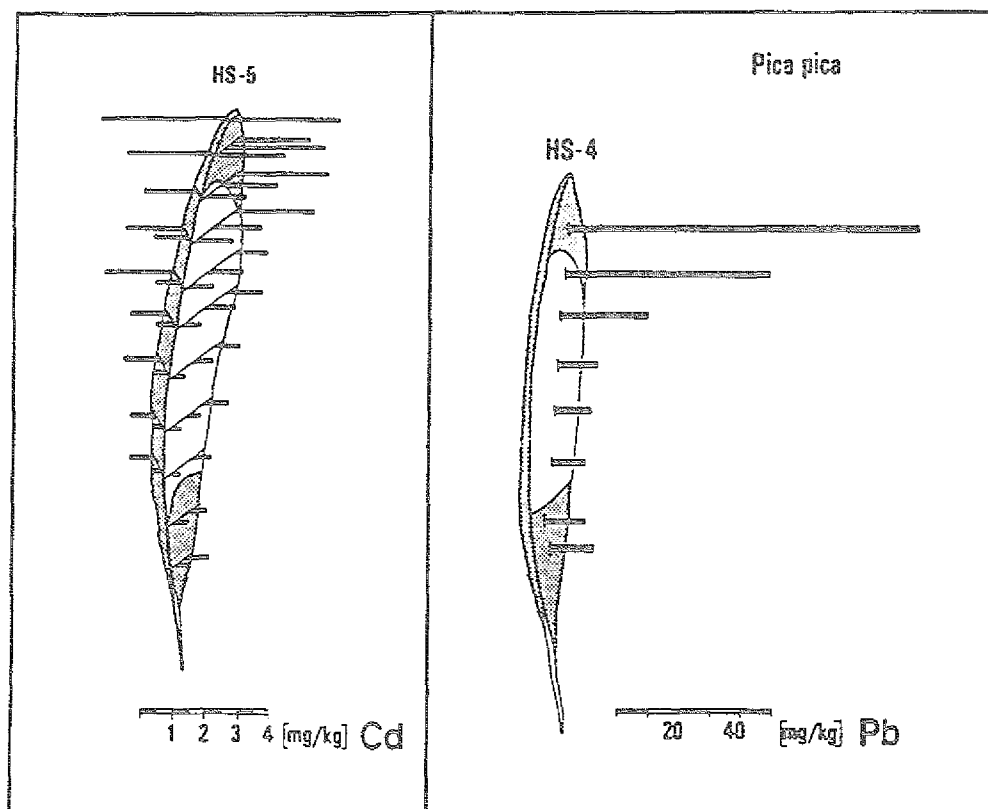


Abb. 6.7.: Blei- und Cadmiumverteilung in Handschwingen einer Elster (*Pica pica*).

In vergleichbaren Federabschnitten sind die Blei- und Cadmiumgehalte der Außenfahne höher als die der Innenfahne (Abb. 6.6., 6.7, 6.8., 6.9).

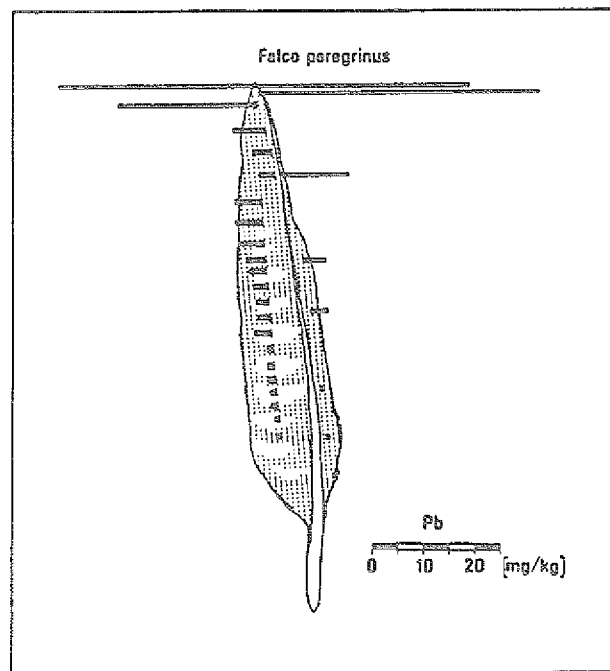


Abb. 6.8.: Bleigehalte in der neunten Handschwinge eines Wanderfalken (*Falco peregrinus*).

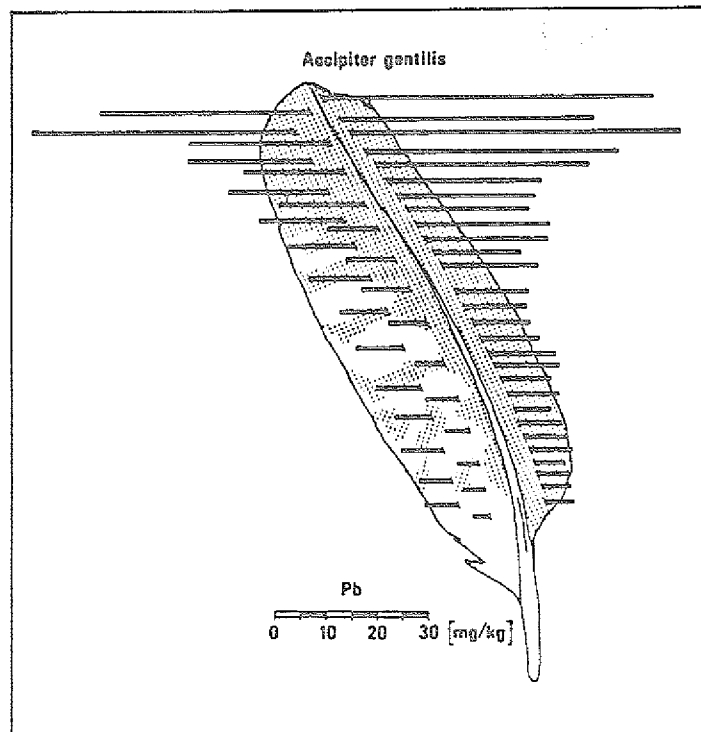


Abb. 6.9.: Bleigehalte in der ersten Armschwinge eines Habichtes (*Accipiter gentilis*).

In Abb. 6.10. ist die 3. Handschwinge eines rechten Uhuflügels (*Bubo bubo*) dargestellt, die sich gerade im Wachstum befindet. Die Federbasis ist von der Federscheide umhüllt, einer Keratinschicht, welche die noch wachsende Feder vor Verletzungen schützt. In dem durch die Federscheide abgedeckten Teil sind sämtliche Bleigehalte etwa gleich hoch. Die Konzentrationen betragen ca. 0,4 mg/kg. Es ist kein Anstieg der Gehalte von den inneren zu den äußeren Partien in diesem Abschnitt erkennbar. Im Gegensatz dazu ist dieser Gradient im oberen, entfalteten Teil der Feder deutlich ausgeprägt.

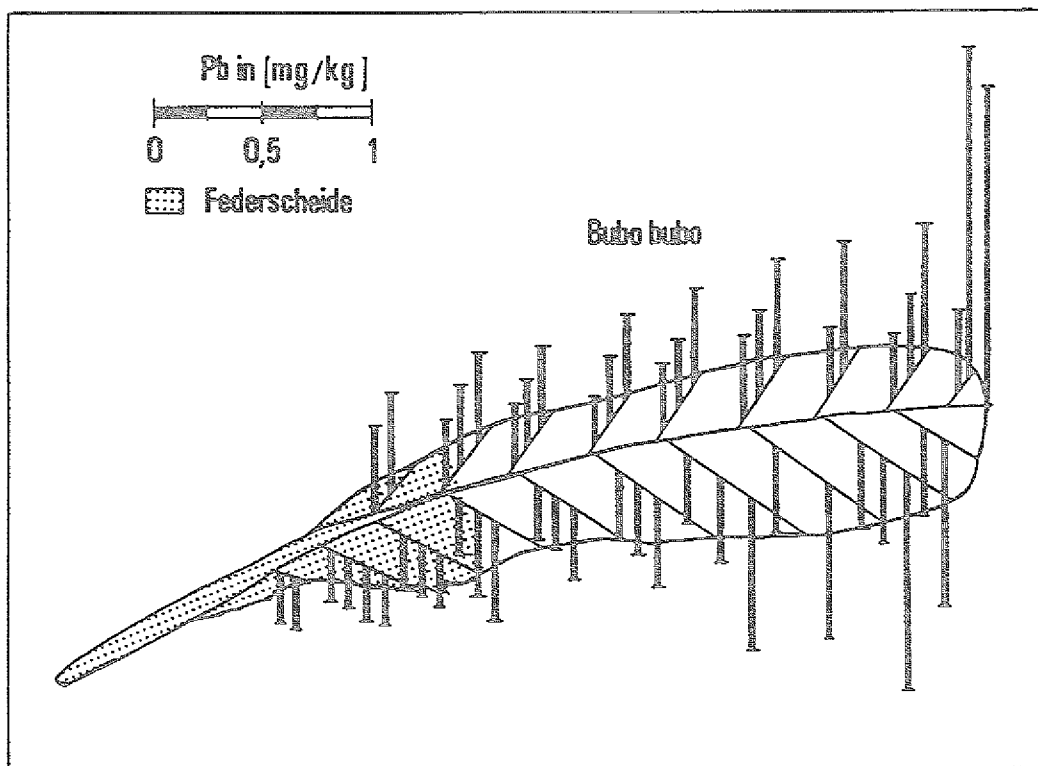


Abb. 6.10.: Bleigehalte in der dritten Handschwinge eines Uhus (*Bubo bubo*). Die Feder ist an der Basis noch von der Federscheide umhüllt.

Die 3. Handschwinge des linken Flügels ist, im Gegensatz zum rechten Flügel, bereits voll ausgewachsen und die Federscheide völlig entfernt. Im Vergleich zu der noch wachsenden Feder sind die Bleigehalte höher und beide Konzentrationsgradienten in allen Teilen der Feder, auch an der Federbasis, vollständig ausgebildet (Abb. 6.11.).

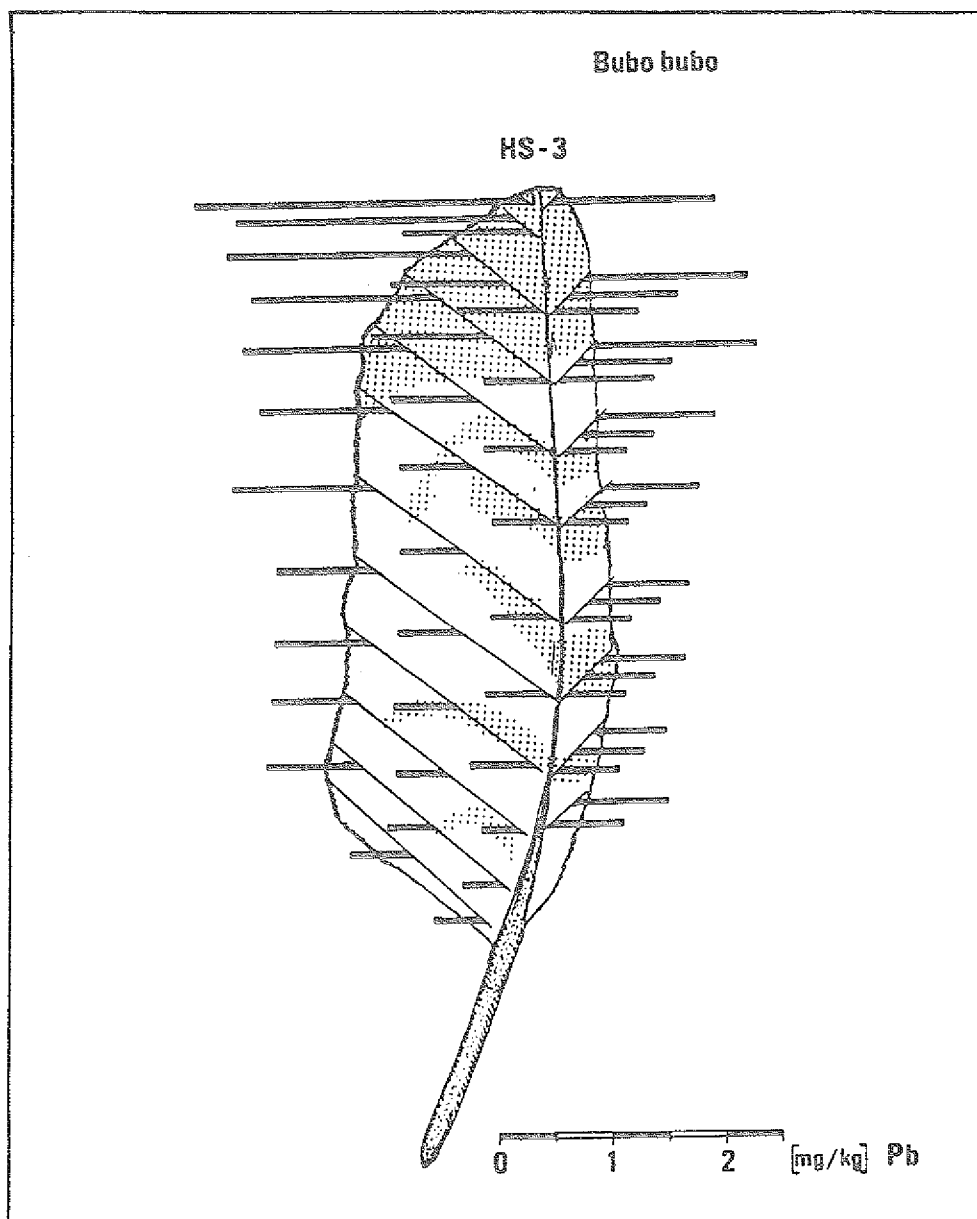


Abb. 6.11.: Bleigehalte in der gerade ausgewachsenen, dritten Handschwinge des linken Flügels des Uhus von Abb. 6.10. Die Federscheide ist hier bereits völlig entfernt.

Im Vergleich zu den beiden Federn aus Abb. 6.10. und 6.11. ist die 6. Handschwinge des gleichen Uhus mindestens ein Jahr alt (Abb. 6.12.). Für Blei und Cadmium besteht wieder ein deutlicher Konzentrationsgradient von der Federbasis zur Federspitze. Die Bleigehalte steigen in der Spitze bis zu 40

mg/kg an. Im Vergleich zu den Bleigehalten der Federfahne, die noch von der Federscheide umhüllt wird, (0,4 mg/kg) ist dies ein Anstieg der Bleigehalte um das Hundertfache über den Zeitraum von einem Jahr. Die Cadmiumgehalte der gerade wachsenden Feder liegen unter der Nachweisgrenze.

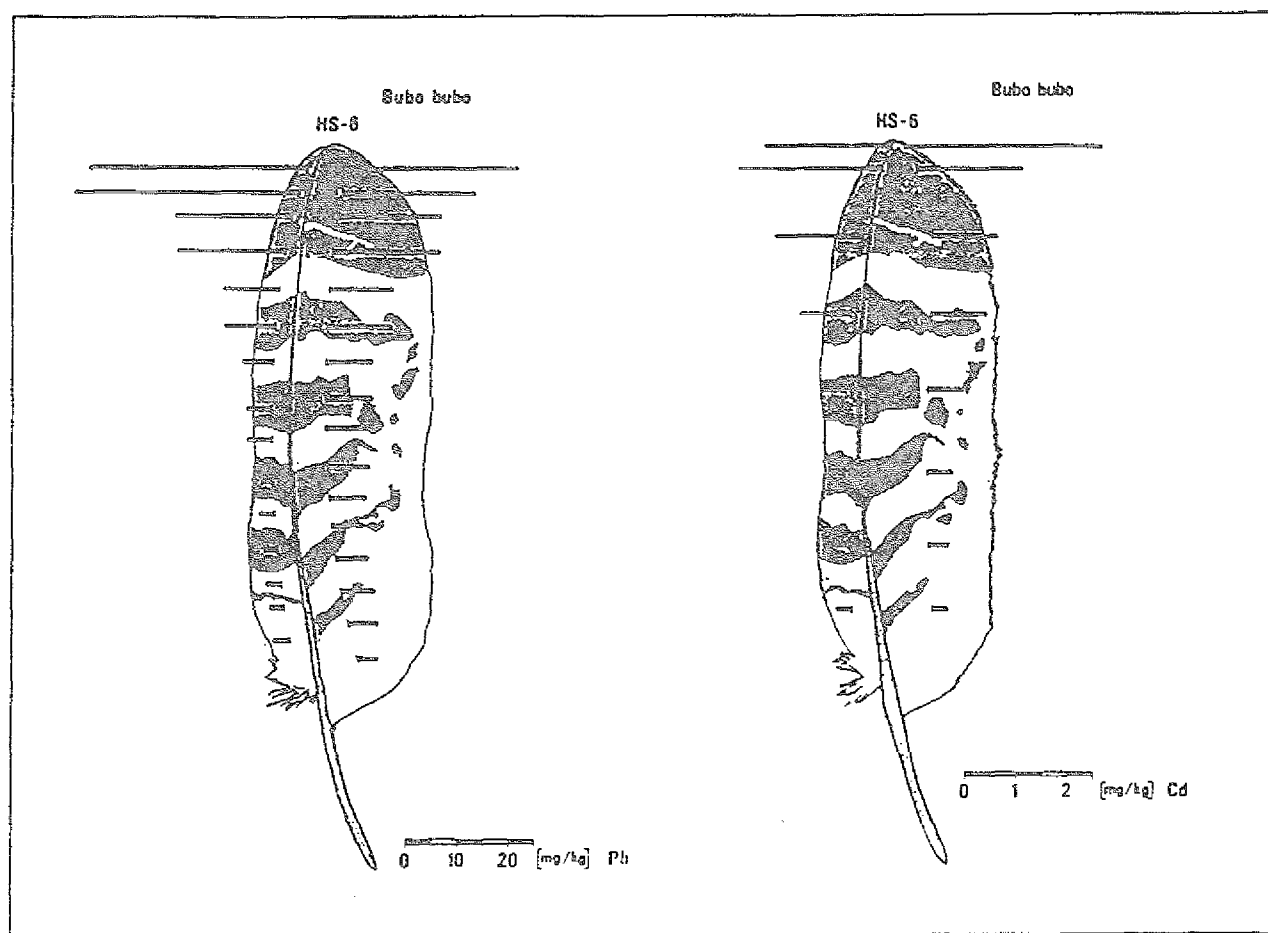


Abb. 6.12.: Blei- und Cadmiumgehalte in einer mindestens ein Jahr alten sechsten Handschwinge des Uhus der Abbildungen 6.10. und 6.11.

Um Bleipprofile in den Fahnen benachbarter Federn zu vergleichen, wurden die sechs Steuerfedern der linken Schwanzhälfte einer Elster untersucht. Es handelt sich um ein Jahr getragene Federn eines Individuums aus dem Raum Stolberg. In Abb. 6.13. sind die Bleipprofile der sechs Federn im Vergleich zueinander dargestellt.

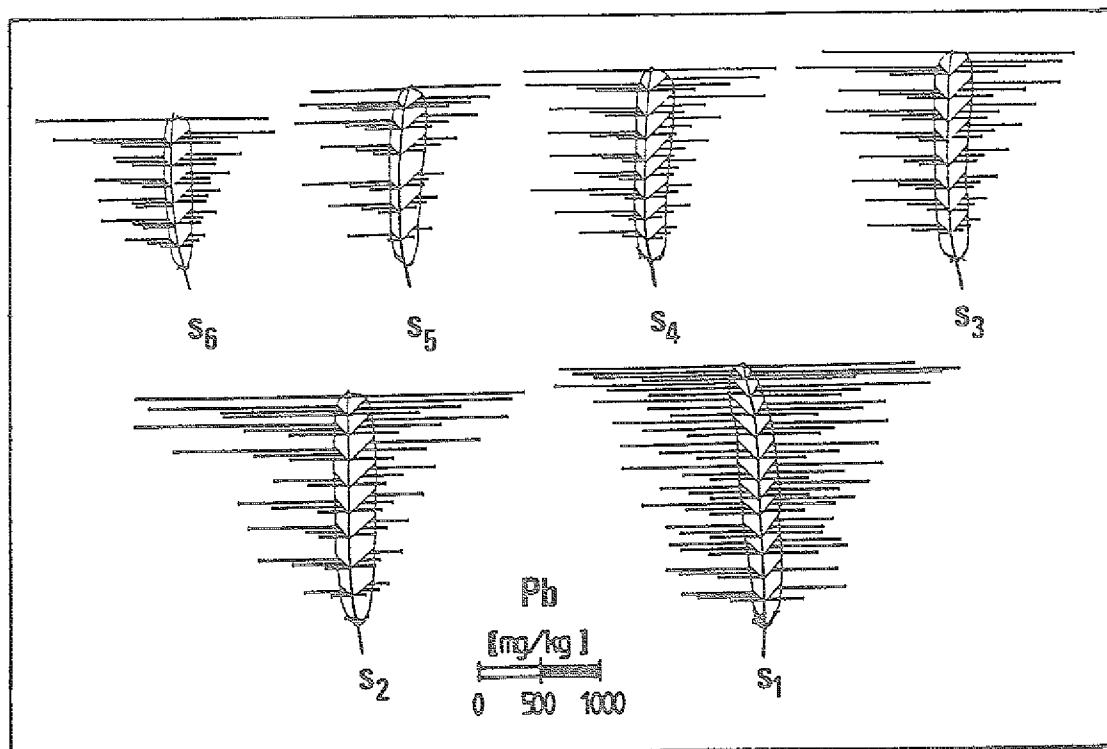


Abb. 6.13.: Bleipprofile in sechs aufeinanderfolgenden Steuerfedern einer mehrjährigen Elster aus dem Raum Stolberg.

Vergleicht man die Verteilung der Bleigehalte von der Federbasis zur -spitze in den einzelnen Steuerfedern, so steigen die Konzentrationen in den Außenfahnen weitgehend linear an. In den Innenfahnen gleicht dieser Anstieg, mit Ausnahme der mittleren Steuerfeder S-1, einer exponentiellen Wachstumskurve. In den Außenfahnen ist die Zunahme der Bleigehalte von den kielnahen Bereichen zu den Fahnenrändern größer als in vergleichbaren Fahnenabschnitten der Innenfahnen.

Die mittlere Steuerfeder S-1 zeigt im Gegensatz zu den übrigen Federn keine ausgeprägten Unterschiede in den Bleipprofilen von Innen- und Außenfahne. Die Bleigehalte in den basisnahen Federabschnitten sind höher als in den vergleichbaren Bereichen der übrigen Federn. Der Anstieg der Bleigehalte von der Basis zur Spitze erfolgt in Außen- und Innenfahne gleichermaßen linear. Diese Verteilungsmuster lassen sich aus

der Anordnung der einzelnen Steuerfedern im Stoß erklären. Die Höhe der Bleigehalte entspricht dem Expositionsgrad der jeweiligen Federbereiche.

#### 6.3.2.3. Diskussion

An voll entwickelten Federn unterschiedlicher Vogelarten treten stets gleiche Muster der Verteilung von Blei und Cadmium über die Federfahnen auf. In wachsenden Federn treten diese Konzentrationsgradienten in Federteilen, die noch von der Federscheide umhüllt sind, nicht auf.

Ein Zusammenhang zwischen Pigmentierung und Schwermetallbelastung, wie von MÜLLER et al. (1984) beschrieben, kann nicht bestätigt werden. Der Anstieg der Blei- und Cadmiumgehalte erfolgt kontinuierlich, unabhängig von der Pigmentierung, von der Federbasis zur Spitze hin. Dieser Anstieg tritt auch in einfarbigen Federabschnitten auf. Apikale Federteile sind bei vielen Vogelarten stark pigmentiert, so daß die Vermutung, hohe Schwermetallgehalte seien auf die Pigmentierung zurückzuführen, naheliegt. Die Beobachtung an der Steuerfeder des Großen Brachvogels (Abb. 6.5.), dessen weiße Federspitze die höchsten Bleigehalte aufweist, ist ein weiteres Indiz gegen diese Vermutung.

Es ließen sich auch keine Anhaltspunkte dafür finden, daß die Gefiederpflege durch Bürzeldrüsenlipide bzw. durch Einpudern mit Keratingranula von speziellen Puderfedern einen Einfluß auf die Schwermetallverteilung hat (HAHN et al. 1990).

Gleiche Verteilungsmuster von Blei und Cadmium auf Federfahnen unterschiedlicher Vogelarten deuten auf ähnliche Ursachen für die festgestellten Schwermetallprofile hin. Bei lokalen Kontaminationen könnten keine so einheitlichen Muster entstehen.

Die höchsten Blei- und Cadmiumkonzentrationen werden stets in den am meisten exponierten Federteilen gemessen: Federspitze, Außenfahne und Ränder der Federfahnen. Diese Federpartien werden am stärksten von Luft umströmt und stellen somit die Federteile dar, an denen schwermetallhaltige Partikel am stärksten abgeschieden werden.

#### 6.4. Schwermetallgehalte in Hand-, Armschwingen und Steuerfedern

Die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen haben gezeigt, daß Schwermetalle innerhalb einer Feder nicht gleichmäßig verteilt sind. Für den Einsatz von Federn als Biomonitoren muß nun geprüft werden, ob die einzelnen Schwungfedern im Gefieder eines Vogels gleich hoch belastet sind, oder ob Unterschiede in Abhängigkeit von ihrer Position im Gefieder bestehen, die möglicherweise aus der

unterschiedlichen Exposition an der Umgebungsluft resultieren.

Gemauserte Schwungfedern lassen sich im allgemeinen leicht identifizieren und bezüglich ihrer Position im Gefieder ansprechen. Ihre Mauseerrhythmen sind im Gegensatz zu anderen Gefiederpartien am besten untersucht (vgl. BUB 1985). Daher ist eine Altersbestimmung in der Regel möglich. Für den Einsatz als Biomonitorien weisen Schwungfedern durch ihre relative Größe und einer dadurch für die Analysen ausreichenden Probenmasse einen weiteren Vorteil gegenüber Kleingefieder auf.

Um Verteilungsmuster aufzuzeigen und eventuelle artspezifische Unterschiede zu erfassen, wurden Steuerfedern von Elster und Rabenkrähe sowie Handschwingen von Habicht, Elster und Rabenkrähe analysiert.

#### 6.4.1. Material und Methoden

Für diese Untersuchungen wurden die Steuerfedern von sechs Elstern, drei Altvögeln und drei flüggen Jungen, aus unterschiedlichen Probennahmegebieten gezogen. Es handelt sich hierbei um die 12 Steuerfedern eines mehrjährigen Weibchens aus dem Raum Stolberg, zwei seiner flüggen Jungen, Altvögeln aus Frenz /Rhld. und Deuselbach/Hunsrück sowie einen Jungvogel aus dem Raum Jülich. Die Steuerfedern der Altvögel sind unvermausert, d.h. ca. ein Jahr alt. Die Steuerfedern der Jungvögel waren zum Zeitpunkt der Probennahme noch am Wachsen. Nur bei den äußeren Steuerfedern (S-6) sind die Federfahnen bereits voll entwickelt, alle übrigen Federn sind an der Federbasis noch von Federscheiden umhüllt. Der Anteil der Federfahnen, der noch von Federscheiden umhüllt war, steigt von den äußeren zu den mittleren Steuerfedern (S-1) an.

Die untersuchten Elster-Handschwingen stammten von dem Elsterweibchen und einem seiner flüggen Jungvögel aus dem Raum Stolberg.

Die Handschwingen der Rabenkrähe aus Berchtesgaden waren unvermausert, bei den Steuerfedern lassen sich Unregelmäßigkeiten in den Federlängen (Tab. 10.5.) und im Abnutzungsgrad feststellen. Die Steuerfedern S-4 und S-5 der linken Schwanzhälfte sind außerhalb des normalen Mauseerrhythmus erneuert worden (vermutlich Schreckmauser).

Zusätzlich kamen Handschwingen eines Habichtes (o) im ersten Jahreskleid aus Berchtesgaden sowie eines mehrjährigen Habichtweibchens aus Schleswig-Holstein zur Analyse.

Die Gehalte an Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt in den vollständigen Federfahnen wurden voltammetrisch bestimmt (vgl. Kap. 3.3.).

## 6.4.2. Ergebnisse

### 6.4.2.1. Steuerfedern

Die einzelnen Steuerfedern der untersuchten Elstern weisen unterschiedlich hohe Schwermetallbelastungen auf (Tab. 10.6. im Anhang). Betrachtet man die Schwermetallgehalte der einzelnen Federn in Abhängigkeit von ihrer Position im Schwanzgefieder, so lassen sich charakteristische Muster erkennen. Bei den untersuchten Altvögeln steigen die Schwermetallgehalte von den äußeren zu den inneren Steuerfedern kontinuierlich an. Am ausgeprägtesten tritt dieser Gradient bei Blei, Kupfer und Cadmium auf. In Abb. 6.14. ist dieses Muster für das Element Blei dargestellt.

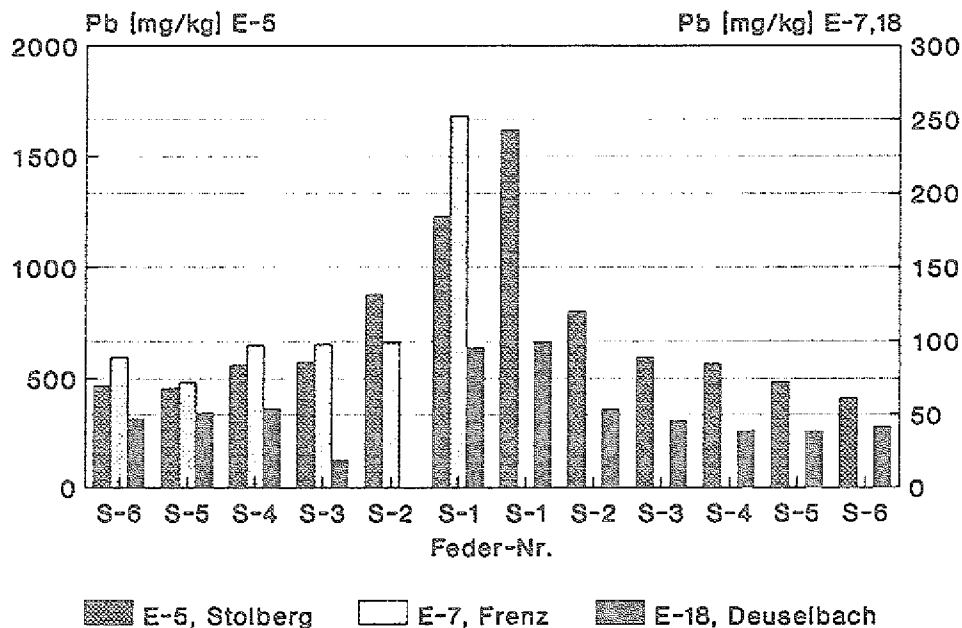


**Abb. 6.14.:** Bleigehalte in unvermauserten Elster-Steuerfedern. Die Proben stammen von drei Elstern aus Gebieten mit unterschiedlicher Schwermetallbelastung.

Im Gegensatz zu der Verteilung der Schwermetallgehalte in den unvermauserten Steuerfedern der adulten Elstern konnte bei den juvenilen Elstern kein solcher Gradient in den Schwermetallgehalten der Steuerfedern festgestellt werden. Die Steuerfedern der beiden Jungvögel aus Stolberg-Werth weisen insgesamt höhere Schwermetallgehalte auf als die des Jungvogels aus Jülich. In Abb. 6.15. sind die Bleigehalte der untersuchten Steuerfedern dargestellt.

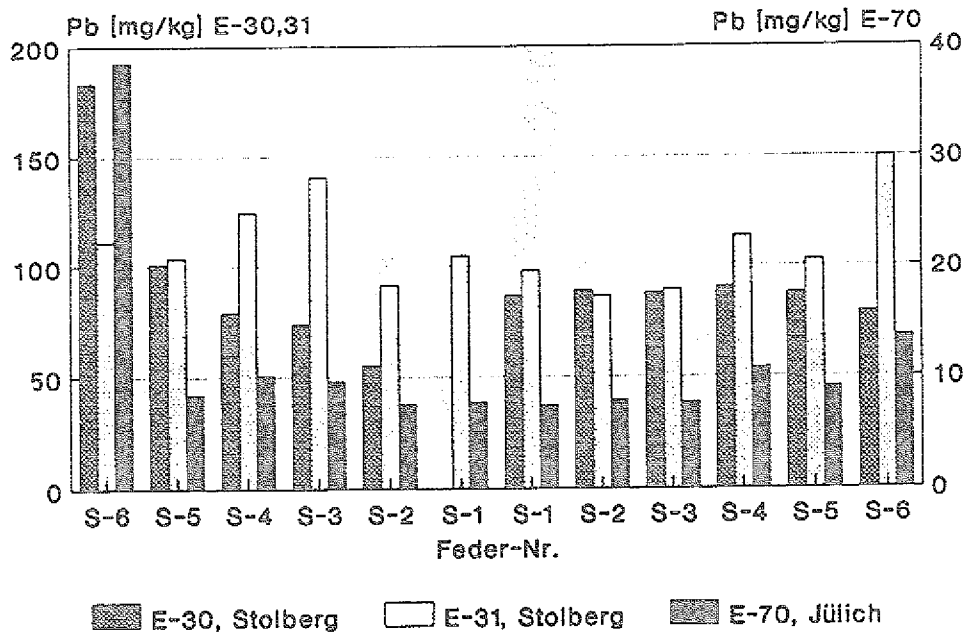


**Abb. 6.15.:** Verteilung der Bleigehalte in Elster-Steuerfedern von Jungvögeln aus unterschiedlich belasteten Gebieten.

Obwohl bei Jungvögeln keine eindeutige Verteilung der Schwermetallgehalte in den Steuerfedern gefunden wird, läßt sich als Trend erkennen, daß die äußeren Steuerfedern (S-6) die höchsten Gehalte aufweisen. Diese Federn erreichen bei Jungvögeln als erste Federn des Steuergefieders ihre volle Länge.

Die unterschiedlichen Verteilungsmuster der Schwermetalle bei Alt- und Jungvögeln sind von der Belastungssituation am Probenahmeort unabhängig. Diese spiegelt sich nur in unterschiedlich hohen Konzentrationsniveaus wider.

Bei der untersuchten Rabenkrähe tritt ein den Altvögeln ähnliches Verteilungsmuster für Blei, Cadmium, Nickel und Kobalt nur in der rechten Schwanzhälfte auf (Abb. 6.16.).

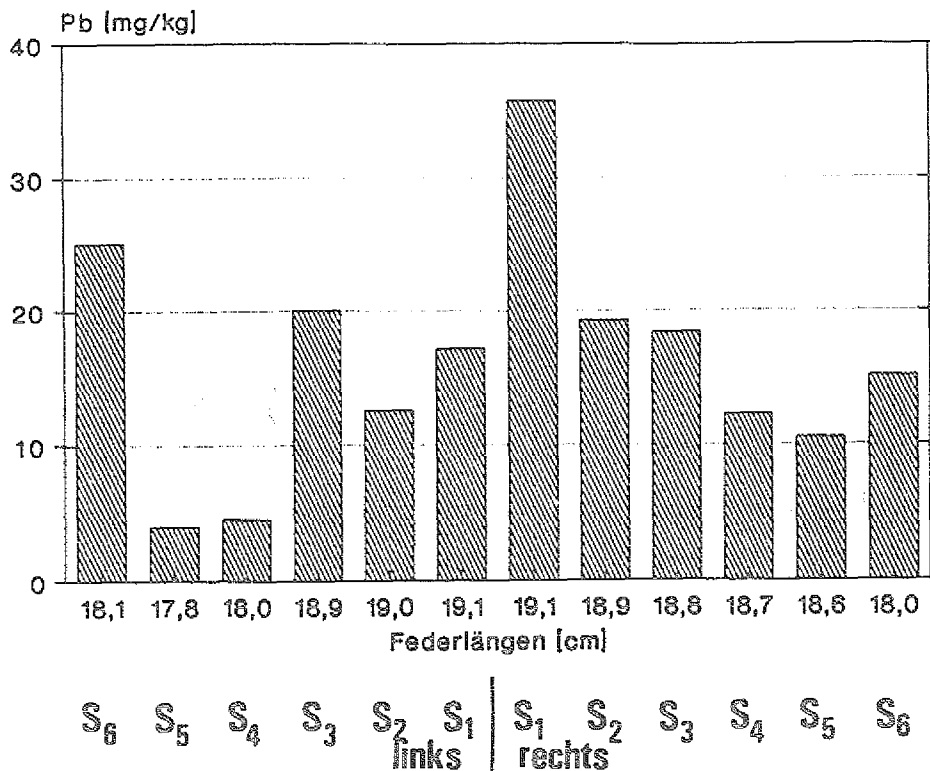


Abb. 6.16.: Verteilung der Bleigehalte in den einzelnen Steuerfedern einer Rabenkrähe aus Berchtesgaden. Auf der Abszisse sind die Federlängen der 12 Steuerfedern angegeben.

Die Steuerfedern S-4 und S-5 der linken Schwanzhälfte weisen im Vergleich zur rechten Schwanzhälfte deutlich geringere Federlängen auf. Dies deutet auf eine irreguläre Mauser hin. Die Federn sind daher kürzere Zeit exponiert, was die geringeren Schwermetallgehalte erklärt (Tab. 10.6.). Die 3. und 6. Steuerfedern der linken Schwanzhälfte wurden durch diese Mauserlücke stärker exponiert als die vergleichbaren Federn in der vollständigen rechten Schwanzhälfte. Daher sind die Schwermetallgehalte dieser beiden Federn vergleichsweise hoch.

#### 6.4.2.2. Handschwingen

Die Analysenergebnisse der Schwermetallbestimmungen in den Handschwingen von Habicht, Elster und Rabenkrähe finden sich in Tab. 10.7. im Anhang. Die gemessenen Schwermetallgehalte in den einzelnen Federn zeigen einen charakteristischen Verlauf.

Bei den untersuchten Habicht-Schwingen findet ein Anstieg der Cadmium-, Blei-, Kupfer-, Nickel- und Kobaltgehalte bis zur 5. bzw. 6. Handschwinge statt. Dann nehmen die Gehalte zu den äußeren Schwingen hin wieder ab. In Abb. 6.17. ist die Verteilung von Cadmium, Blei und Kupfer in den Handschwingen eines mehrjährigen Habichtweibchens aus Schleswig-Holstein dargestellt.

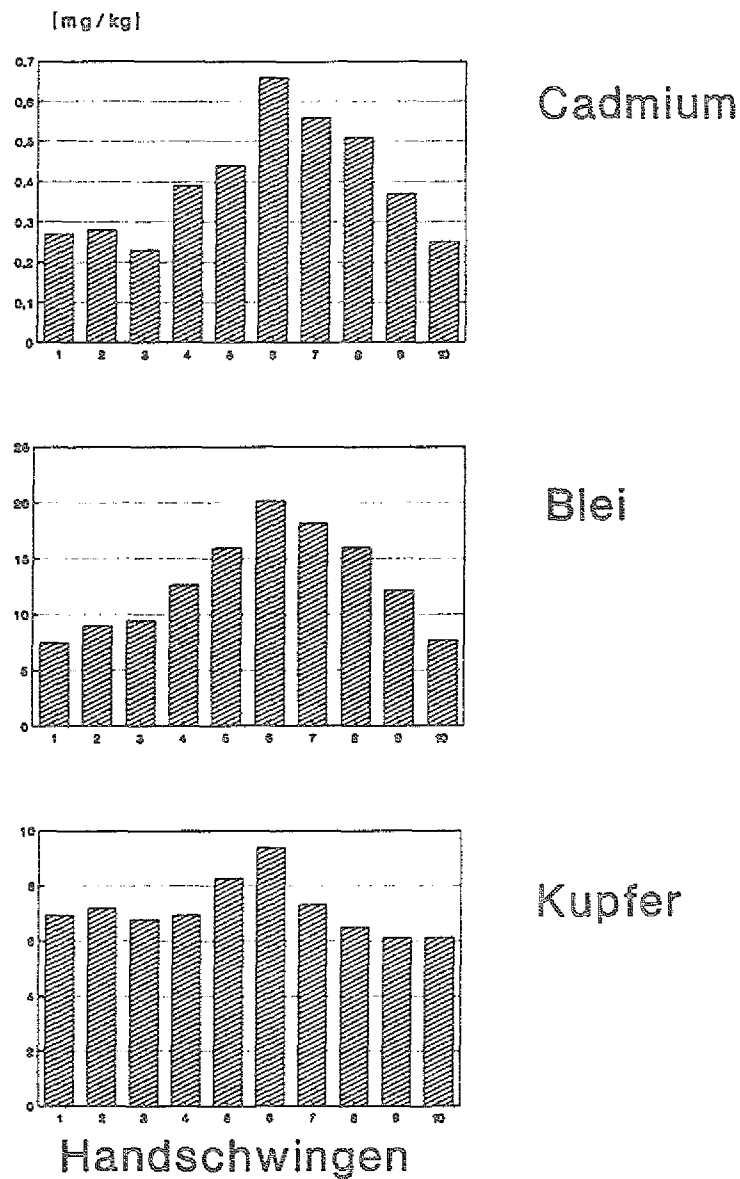


Abb. 6.17.: Cd-, Pb- und Cu-Gehalte in den Handschwingen des linken Flügels eines mehrjährigen Habichtweibchens aus Schleswig-Holstein.

Vergleicht man die prozentualen Zu- und Abnahmen in den Schwermetallgehalten (außer Zink) aufeinanderfolgender Handschwingen zweier nach Alter, Geschlecht und geographischer Herkunft unterschiedlicher Habichte, stellt man einen weitgehend parallelen Verlauf dieser Zu- und Abnahmen für die einzelnen Elemente fest. In Abb. 6.18. ist dies für Blei dargestellt.

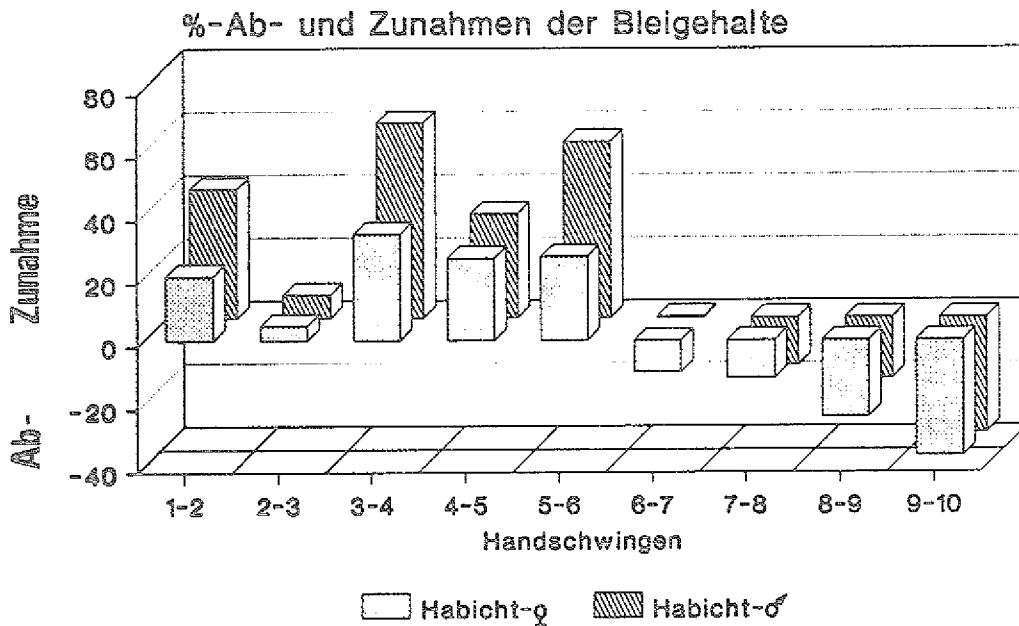


Abb. 6.18.: Vergleich der Zu- und Abnahmen in den Bleigehalten der rechten Handschwingen eines Habichts ♂ im Jugendkleid aus Berchtesgaden und der linken Handschwingen eines mehrjährigen Weibchens aus Schleswig-Holstein.

Für die Elemente Cadmium, Blei und Kupfer findet sich ein ähnliches Muster in unvermauserten Handschwingen von Elstern und Rabenkrähen (vgl. Tab. 10.7. im Anhang).

Im Gegensatz dazu sind bei der gerade flüggen Elster, bei der die Federn noch nicht ausgewachsen sind, die höchsten Gehalte an Cd, Pb, und Cu in den ersten Handschwingen nachzuweisen (Tab. 10.7.).

Für das Element Zink ist bei keiner der untersuchten Arten ein ausgeprägtes Muster in der Verteilung über die einzelnen Handschwingen festzustellen. Zink ist ein essentielles Element für das Federwachstum und kommt in Konzentrationen von ca. 100-200 mg/kg in noch wachsenden Federn vor. Daher sind Konzentrationsunterschiede infolge exogener Auflagerungen nicht so ausgeprägt.

### 6.4.3. Diskussion

Die festgestellten Verteilungsmuster in unvermauserten Elster-Steuerfedern und Handschwingen stimmen mit den von GAST (1984) für Blei und Cadmium gefundenen Gradienten überein.

Vergleicht man bei Jungvögeln die Schwermetallgehalte in noch wachsenden Federn mit den Gehalten in Federn, die bereits ihre volle Länge erreicht haben, so weisen die voll ausgewachsenen Schwungfedern die höchsten Gehalte an Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Kobalt auf. Dies sind im Schwanzgefieder juveniler Elstern die äußeren Steuerfedern (S-6) (vgl. Abb. 6.15.). Im Schwanzgefieder adulter Elster enthalten dagegen die mittleren Steuerfedern (S-1) die höchsten Schwermetallgehalte. In den äußersten Steuerfedern (S-6<sub>l,r</sub>) sind die Schwermetallkonzentrationen im Vergleich zu den inneren (S-2, ... S-5) wieder etwas erhöht (Abb. 6.14.). Dieses Muster deutet wieder auf die unterschiedliche Exposition der einzelnen Federn im Steuergefieder hin. Die äußeren Steuerfedern werden durch ihre Randlage stärker umströmt, die inneren (S-1) liegen als "Firstfedern" obenauf, während die übrigen Federn von benachbarten Federn abgeschirmt werden.

Die Unterschiede in den Belastungsmustern an Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt zwischen noch wachsenden und unvermauserten Schwungfedern sind auf den Schwermetalleintrag aus der Atmosphäre nach der Federbildung zurückzuführen. Dieses Thema wird im anschließenden Kapitel 6.5. ausgeführt.

### 6.5. Schwermetallgehalte in Abhängigkeit vom Alter der Federn

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, treten zwischen Federn juveniler und adulter Elstern deutliche Unterschiede in den Schwermetallkonzentrationen auf. Dies läßt den Schluß zu, daß Schwermetalle aus der Atmosphäre über die Zeit in die Federn eingelagert werden. Um diese Hypothese zu verifizieren, wurden Elstern während der Brutzeit und danach gefangen. Zu dieser Zeit beginnt bei Elstern die Mauser der Schwungfedern (vgl. Kap. 4.4.4.), so daß bei einigen der gefangenen Individuen frisch vermauserte bzw. noch wachsende Federn neben ein Jahr getragenen, unvermauserten Federn standen.

Neben adulten Elstern wurden zusätzlich flügge Jungvögel gefangen, bei denen die Federn noch nicht ausgewachsen waren. Das Alter wachsender Federn läßt sich anhand der Federlänge abschätzen.

Im folgenden soll geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Alter der Federn und ihrem Schwermetallgehalt besteht:

- In welchem Ausmaß unterscheiden sich die Schwermetallgehalte von frisch vermauserten und ein Jahr alten Federn?
- Wie ändern sich die Schwermetallgehalte über die Zeit?

#### 6.5.1. Material und Methoden

Für diese Fragestellung wurden Steuerfedern von Elstern nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Frisch vermauserte und ein Jahr getragene Federn vergleichbarer Position vom selben Individuum (linke und rechte Steuerfedern gleicher Position),
- frisch vermauserte Steuerfedern und ein Jahr alte Federn unterschiedlicher Position vom selben Individuum,
- noch wachsende Steuerfedern gleicher Position flügger Jungvögel aus dem gleichen, eng umgrenzten Bezugsraum,
- alte Federn mit unterschiedlichen Federlängen, die auf eine irreguläre Mauser schließen lassen.

Die Gehalte an Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt in den Federfahnen wurden wieder voltammetrisch bestimmt.

#### 6.5.2. Ergebnisse

Bei vier Elstern konnten die Schwermetallgehalte in Federn unterschiedlichen Alters aber vergleichbarer Position im Gefieder bestimmt werden. In Tab. 6.3. sind die Ergebnisse zusammengestellt.

**Tab. 6.3.: Schwermetallgehalte in ein Jahr alten und frisch vermauserten Elstersteuerfedern vergleichbarer Position im Gefieder. Angaben in [mg/kg].**

| Nr. | Alter | Feder            | Zn    | Cd   | Pb     | Cu    | Ni    | Co   |
|-----|-------|------------------|-------|------|--------|-------|-------|------|
| 52  | alt   | S-1 <sub>r</sub> | 548,8 | 3,48 | 409,42 | 86,78 | 7,07  | 1,78 |
|     | neu   | S-1 <sub>l</sub> | 247,2 | 0,40 | 32,12  | 3,14  | 1,05  | 0,38 |
| 66  | alt   | S-1 <sub>r</sub> | 475,4 | 3,80 | 259,63 | 38,04 | 17,62 | 5,54 |
|     | neu   | S-1 <sub>l</sub> | 435,9 | 1,92 | 85,57  | 15,88 | 6,94  | 2,01 |
| 32  | alt   | S-6 <sub>l</sub> | 193,2 | 1,33 | 130,10 | 17,35 | 1,15  | 3,49 |
|     | neu   | S-6 <sub>r</sub> | 146,5 | 0,32 | 2,92   | 4,43  | 0,63  | 0,14 |
| 57  | alt   | S-6 <sub>r</sub> | 282,0 | 0,61 | 33,90  | 7,47  | 2,31  | 0,62 |
|     | neu   | S-6 <sub>l</sub> | 157,7 | 0,22 | 3,76   | 3,02  | 0,64  | n.a. |
|     | alt   | S-5 <sub>r</sub> | 269,2 | 0,73 | 35,73  | 5,99  | 2,82  | 0,72 |
|     | neu   | S-5 <sub>l</sub> | 154,9 | 0,06 | 2,47   | 2,66  | 0,35  | 0,11 |

Für alle untersuchten Elemente sind die Gehalte in den ein Jahr alten Federn deutlich höher als in den vergleichbaren, frisch vermauserten Federn. Diese Unterschiede sind am Beispiel der Elster E-32, eines brütenden Elsterweibchens aus dem Raum Saarbrücken, graphisch dargestellt (Abb. 6.19.).

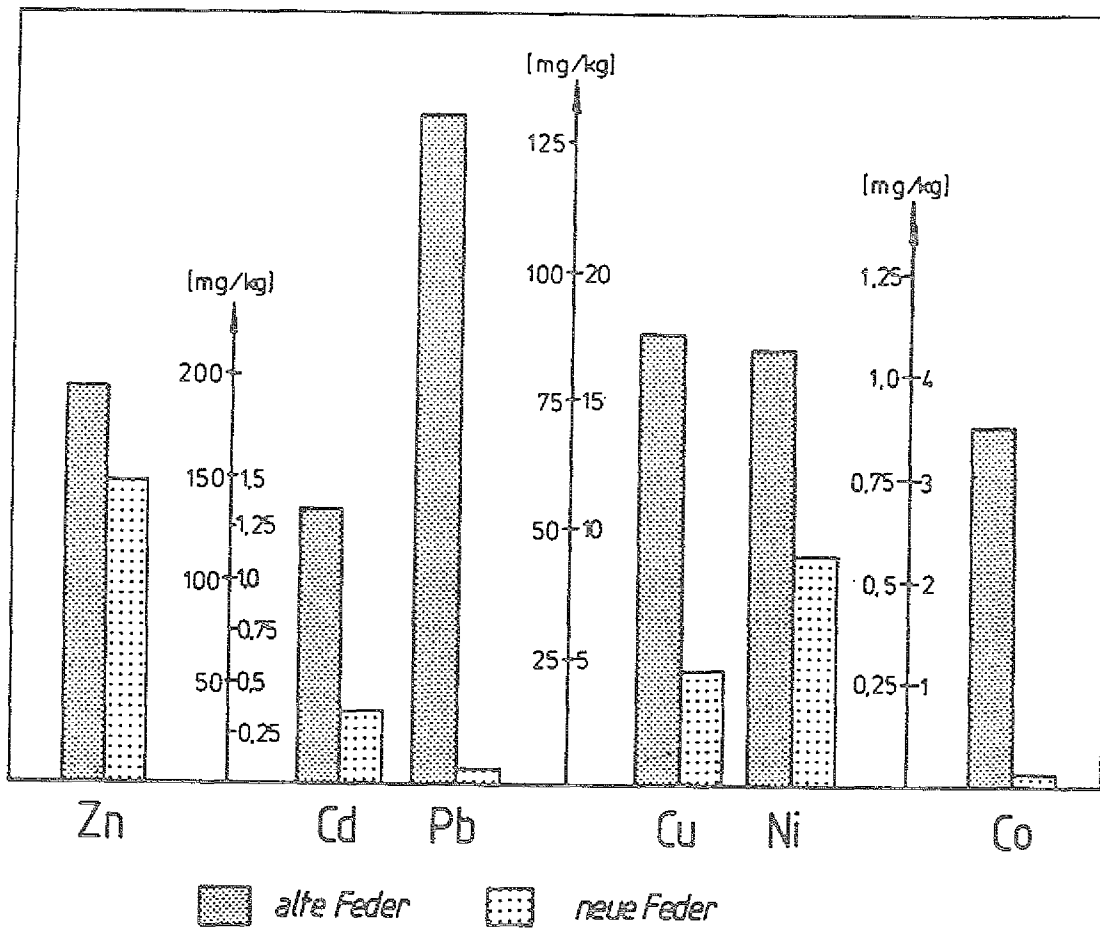


Abb. 6.19.: Schwermetallgehalte in den beiden äußeren Steuerfedern einer Elster aus dem Raum Saarbrücken. Die rechte Steuerfeder war zum Zeitpunkt der Probennahme gerade am Wachsen, die linke Steuerfeder unvermausert.

Im Schwanzgefieder der Elster beginnt die Mauser bei den mittleren Steuerfedern (vgl. Kap. 4.4.4.) und setzt sich dann zu den äußeren Steuerfedern hin fort. Bei sechs Elstern waren die mittleren Steuerfedern bereits voll erneuert, die äußeren waren noch unvermausert. Vergleicht man die Schwermetallgehalte in diesen unterschiedlich alten Federn, so sind die Gehalte der neuen Federn deutlich geringer (vgl. Tab. 10.6. im Anhang). In Abb. 6.20. sind die Blei- und Kupfergehalte in frisch vermauserten, mittleren Steuerfedern und unvermauserten, äußeren Steuerfedern von drei Elstern aus unterschiedlichen Belastungsräumen dargestellt. Die äußeren Steuerfedern weisen die höchsten Schwermetallgehalte auf. Dies steht im Gegensatz zu den Verteilungsmustern in unvermauserten Steuerfedern (Kap. 6.4.2.1.), in denen die mittleren Steuerfedern immer die höchsten Gehalte aufweisen.

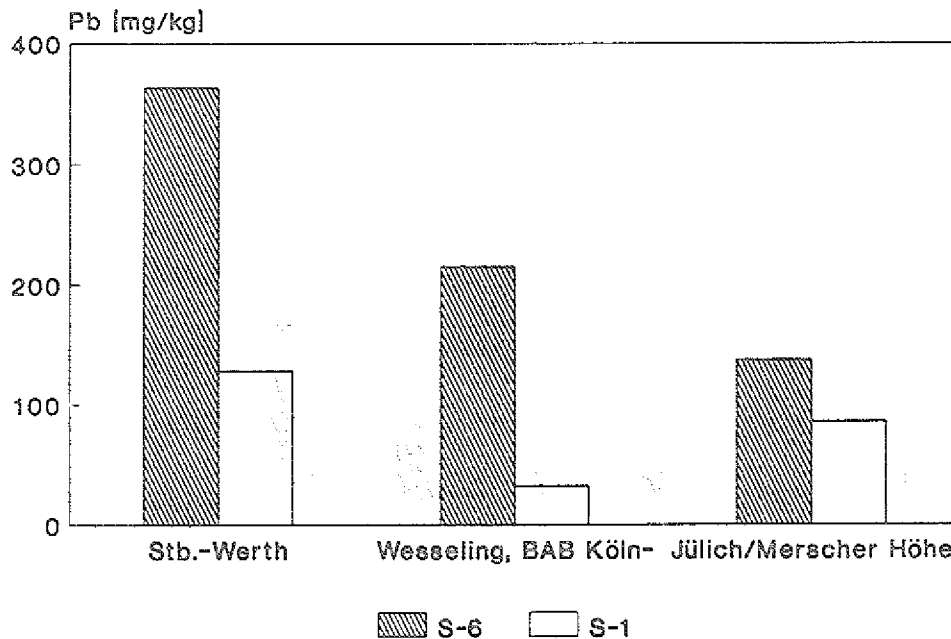


Abb. 6.20.: Vergleich der Bleigehalte unvermauselter, äußerer Steuerfedern (S-6) und frisch vermauselter, mittlerer Steuerfedern (S-1).

Bei sieben juvenilen Elstern waren die mittleren Steuerfedern zum Probennahmezeitpunkt noch nicht ausgewachsen. Diese Jungvögel stammen alle aus demselben Bezugsraum, einem Gebiet von etwa 5 km<sup>2</sup> am nördlichen Stadtrand von Jülich. Die Probennahme erfolgte in der Zeit von Ende Juni bis Mitte Oktober 1985. Die Steuerfedern der einzelnen Individuen waren unterschiedlich weit entwickelt. Bei noch wachsenden Federn ist die Federlänge proportional zum Alter der Feder. Anhand der Federlängen und der Längen der Federscheiden können die Federn nach ihrem Alter eingeordnet werden.

In Tab. 10.8. im Anhang sind die Schwermetallgehalte der Steuerfedern und die Federlängen (= Federalter) zusammengestellt. Für alle untersuchten Schwermetalle steigen die Gehalte mit zunehmendem Alter der Federn an. In Abb. 6.21. ist diese Zunahme für die Elemente Cadmium, Kobalt und Nickel in wachsenden Federn über die Zeit dargestellt.

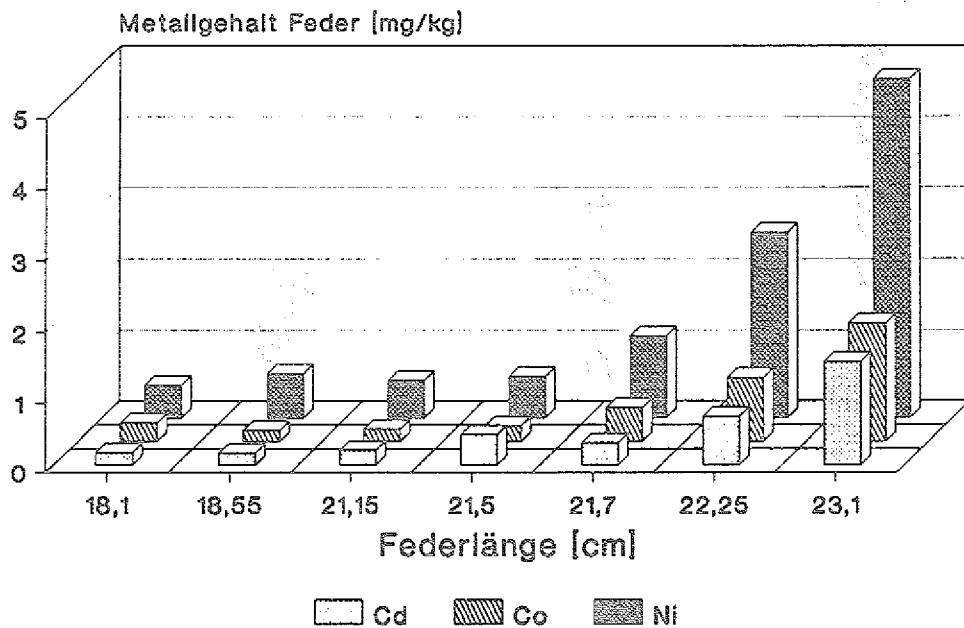


**Abb. 6.21.:** Cadmium-, Kobalt- und Nickelgehalte in wachsenden, mittleren Steuerfedern juveniler Elstern in Abhängigkeit von der Federlänge bzw. dem Alter der Federn. Dargestellt sind die Mittelwerte der beiden mittleren Steuerfedern.

Bei drei adulten Elstern aus dem Saarland (E-33), Schleswig-Holstein (E-104) und dem Rheinland (E-54), d.h. Gebieten geringer bis mittlerer Belastung, weisen die äußeren Steuerfedern unterschiedliche Längen auf. Die kürzeren Federn sind besser erhalten. Dies deutet auf eine Erneuerung außerhalb der regulären Mauser hin, möglicherweise auf eine Schreckmauser (STIEFEL 1985). Die kürzeren Federn sind "jünger". Die Schwermetallgehalte dieser nachträglich erneuerten Federn sind deutlich geringer als die der regulär vermauserten Steuerfedern (Tab. 6.4.).

Tab. 6.4.: Schwermetallgehalte in Elstersteuerfedern nach irregulärer Mauser.

Angaben in [mg/kg].

| Nr    | Feder            | Länge<br>[cm] | Zn    | Cd   | Pb    | Cu    | Ni   | Co   |
|-------|------------------|---------------|-------|------|-------|-------|------|------|
| E-33  | S-6 <sub>l</sub> | 13,5          | 163,9 | 0,54 | 11,36 | 7,75  | 0,89 | 0,78 |
|       | S-6 <sub>r</sub> | 14,5          | 183,3 | 0,69 | 33,00 | 10,40 | 2,04 | 0,97 |
| E-54  | S-6 <sub>r</sub> | 13,0          | 567,2 | 1,82 | 53,30 | 5,73  | 1,76 | 0,75 |
|       | S-6 <sub>l</sub> | 14,1          | 629,2 | 1,46 | 68,56 | 9,43  | 5,04 | 1,02 |
| E-104 | S-6 <sub>r</sub> | 13,0          | 224,9 | 1,03 | 38,54 | 8,22  | 3,03 | 1,45 |
|       | S-6 <sub>l</sub> | 13,4          | 264,1 | 1,28 | 59,11 | 13,59 | 4,29 | 1,75 |

### 6.5.3. Diskussion

Unvermauserte, ein Jahr alte Federn unterscheiden sich von frisch vermauserten bzw. noch wachsenden Federn durch deutlich höhere Gehalte an Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt. Dieser Effekt ist unabhängig von der Belastungssituation des Bezugsraumes. Die Unterschiede in den Schwermetallgehalten zwischen alten und neuen Federn sind deutlich größer als die Unterschiede zwischen den Schwermetallgehalten in Federn unterschiedlicher Positionen im Gefieder (vgl. Kap. 6.4.)

Bei noch wachsenden Federn kann man eine Zunahme der Schwermetallgehalte über die Zeit feststellen. Unterschiedliches Alter von Federn spiegelt sich somit in den Schwermetallgehalten wider. Eine nachträgliche Erneuerung von Federn wird durch die Schwermetallgehalte dokumentiert.

Nimmt man an, daß die gemessenen Schwermetallgehalte in Federn ausschließlich auf endogenem Weg in die Federn gelangen (vgl. Kap. 5), dann müßten die festgestellten, geringen Schwermetallkonzentrationen in frisch vermauserten Federn aus einer deutlich verbesserten Immissionssituation im Bezugsraum des jeweiligen Vogels resultieren. Aus den physikalisch-technisch ermittelten Depositionsraten (Kap. 7.4.) kann in keinem der Untersuchungsgebiete ein solch drastisch verminderter Schwermetalleintrag über die Naßdeposition nachgewiesen werden.

Aus diesen Ergebnissen folgt, daß Federn einem ständigen exogenen Eintrag von schwermetallhaltigen Partikeln aus der Atmosphäre in die Federstrukturen ausgesetzt sind. Dieser Prozeß beginnt, sobald sich die Federfahnen entfalten und so in der Atmosphäre exponiert werden. Endogen eingelagerte Schwermetalle werden durch diese Sekundärkontaminationen von außen um ein Vielfaches überlagert. Endogene Schwermetallbelastungen von Federn sind nur solange meßbar, wie die Federfahnen noch von den Federscheiden umhüllt sind und somit in keinem Kontakt mit der Umwelt stehen.

#### 6.6. Exposition standardisierter Elsterfedern

Die in Abschnitt 6.5. ermittelte Abhängigkeit der Schwermetallbelastung der Federn von ihrem Alter, d.h. von der Expositionszeit an der Atmosphäre, ist für die Verwendung von Federn als atmosphärische Bioindikatoren von entscheidender Bedeutung. Um diesen Befund weiter zu verifizieren, wurden an drei hinsichtlich der Schwermetalldeposition deutlich unterschiedlichen Standorten von Regensammlern des Institutes für Angewandte Physikalische Chemie (Forschungszentrum Jülich) Elsterfedern exponiert. Die Schwermetallgehalte in den unterschiedlich lange exponierten Federn sollen mit den Schwermetallgehalten in Federn frei lebender Vögel aus denselben Gebieten verglichen werden. Im Gegensatz zu den Federn frei lebender Vögel sind die exponierten Federn:

1. streng lokal exponiert. Die Federn freilebender Elstern integrieren dagegen mit der räumlichen Aktivität des Individuums über den Bezugsraum.
2. Die exponierten Federn unterliegen nicht Einflüssen durch tägliche Gefiederpflege wie Baden, Ordnen der Feinstruktur, Auftrag von Bürzeldrüsensekreten.
3. Die exponierten Federn sind in ca. 1,50 m Höhe über dem Boden aufgestellt und haben somit keinen Kontakt mit dem Substrat.
4. Im Vergleich zu Federn "im Gefüge" des Gefieders sind die exponierten Federn den atmosphärischen Einflüssen in größerem Umfang ausgesetzt. Die ganze Federfahne wird permanent umströmt.

Diese Expositionsversuche sollen weitere Hinweise auf Art und Herkunft der in Federn gemessenen Schwermetallbelastungen liefern.

### 6.6.1. Material und Methoden

#### 6.6.1.1. Ausgewähltes Federmaterial

Bei gerade fliegenden Jungvögeln sind die Schwermetallgehalte in den Armschwingen annähernd gleich (HAHN 1985), im Gegensatz zu den Handschwingen adulter Vögel. Die Höhe der Schwermetallgehalte ist abhängig von der Belastungssituation des Bezugsraumes. Daher wurden die ersten sieben Armschwingen von fünf juvenilen Elstern aus niedrig belasteten Gebieten für diese Expositionsversuche ausgewählt (siehe Tab. 10.9. im Anhang). Sie besitzen so geringe Schwermetallgehalte, daß sie als Ausgangsniveau benutzt werden können.

Die erste Armschwinge aus jedem Flügel diente als "Nullprobe". Sie repräsentiert die Grundbelastung zu Beginn des Expositionsversuches. Die restlichen Armschwingen wurden fortlaufend von Armschwinge 2 bis 7 in den nummerierten Positionen auf Expositionsringen (s.u.) befestigt.

#### 6.6.1.2. Versuchsanordnung

Die Federn wurden an Plastikringen mit einem Durchmesser von 20 cm befestigt. Der Durchmesser dieser Expositionsringe war so gewählt, daß sich die Federn nicht gegenseitig beeinträchtigen konnten (Strömungsverhältnisse). In der oberen Schnittfläche dieser Plastikringe waren sechs Bohrungen in gleichmäßigem Abstand angebracht. In diese Bohrlöcher wurden die Federkiele gesteckt und mit Uhu-Hart verleimt. Das Aufstecken der Federn auf Ringe sollte verhindern, daß Regenwasser in größerem Umfang aufspritzt. Die Plastikringe wurden an Stäben aus VA-Stahl in 1,5 m Höhe aufgestellt. Der obere Teil dieser Stäbe war mit PVC-Schlauch überzogen, um Kontaminationen zu vermeiden (siehe Abb. 6.22.).

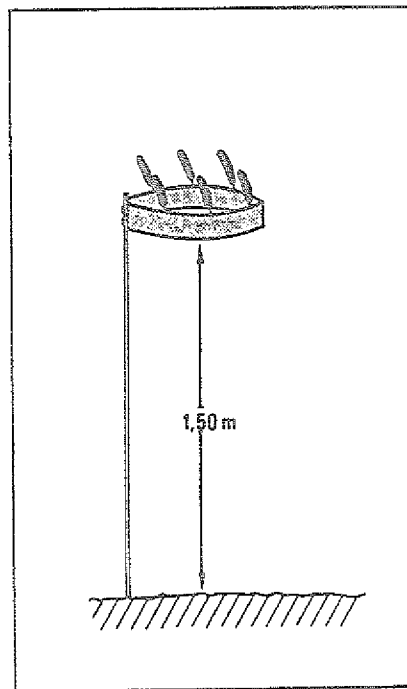


Abb. 6.22.: Expositionsring. Die Federn wurden auf der Schnittfläche des Plastikringes angebracht. Der Ringdurchmesser beträgt 20 cm.

Die einzelnen Expositionsringe wurden in einem Abstand von 1,5m zueinander aufgestellt. An allen Standorten war der Boden unter den Expositionsringen mit dichtem Graswuchs bedeckt.

#### 6.6.1.3. Standorte

Die Expositionsversuche wurden an den Standorten der Niederschlagssammler Stolberg-Binsfeldhammer, Stolberg-Werth und Jülich-Güsten durchgeführt. In den Abbildungen 6.23. ist die Lage der Expositionsringe zueinander sowie ihr Abstand zu den Regensammlern dargestellt.

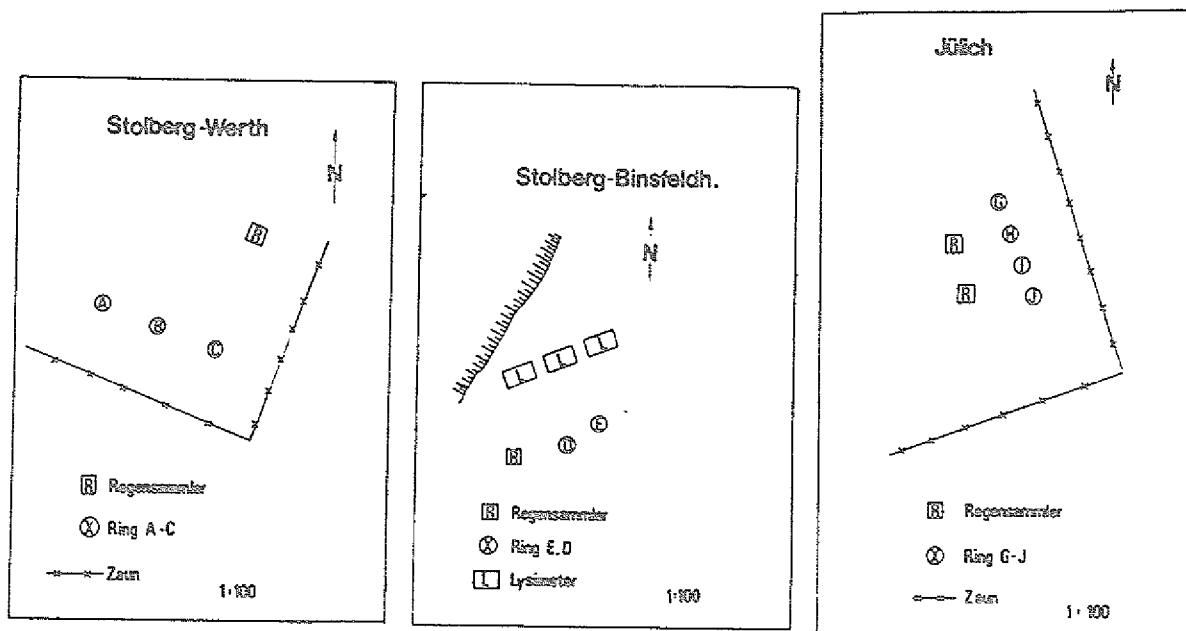


Abb. 6.23.: Anordnung der Expositionsringe an den Meßstandorten.

#### 6.6.1.4. Expositionsdauer

Zu bestimmten Terminen wurde pro Standort jeweils eine Feder aus jedem Expositionsring für die spätere Analyse entnommen. Eine möglichst gleichzeitige Entnahme an den unterschiedlichen Standorten soll die Vergleichbarkeit in Bezug auf die Expositionszeiten garantieren. Die Entnahmezeiten sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tab. 6.5.: Expositionsdauer und Entnahmetermine.

| Expositionsdauer |      | Stolb.-Werth |   |   | Stolb.-Binsfeldh. |   | Jülich-Güsten |   |   |   |
|------------------|------|--------------|---|---|-------------------|---|---------------|---|---|---|
|                  | Tage | A            | B | C | D                 | E | G             | H | I | J |
| Start            | 0    | 22.07.88     |   |   | 22.07.88          |   | 20.07.88      |   |   |   |
| 1. Entnahme      | 36   | 26.08.88     |   |   | 26.08.88          |   | 26.08.88      |   |   |   |
| 2. Entnahme      | 85   | 14.10.88     |   |   | 14.10.88          |   | 13.10.88      |   |   |   |
| 3. Entnahme      | 139  | 07.12.88     |   |   | 07.12.88          |   | 08.12.88      |   |   |   |
| 4. Entnahme      | 177  | 14.01.89     |   |   | 14.01.89          |   | 14.01.89      |   |   |   |
| 5. Entnahme      | 232  | 05.03.89     |   |   | 05.03.89          |   | 05.03.89      |   |   |   |
| 6. Entnahme      | 258  | 31.03.89     |   |   | 31.03.89          |   | 31.03.89      |   |   |   |

#### 6.6.1.5. Probenvorbereitung und Analyse

Bis zur Analyse lagerten die gesammelten Federproben in Polyethylenbeuteln bei ca.  $-16^{\circ}\text{C}$  in der Tiefkühltruhe. Die Gehalte an Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt in den Federfahnen wurden mittels Voltammetrie bestimmt (Kap. 3.3.).

#### 6.6.2. Ergebnisse

Die Analysenergebnisse für die Elemente Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt der exponierten Elsterfedern sind in Tabelle 10.10. im Anhang zusammengestellt.

An allen Standorten findet ein Anstieg der Schwermetallgehalte in den exponierten Federn über die Zeit statt. Die Cadmium-, Blei- und Kupfergehalte der exponierten Federn unterscheiden sich deutlich an den einzelnen Standorten. Die höchsten Schwermetallkonzentrationen weisen die exponierten Federn der Standorte Stolberg-Werth und Stolberg-Binsfeldhammer auf. Nach einer Expositionszeit von 258 Tagen liegen sie um mindestens eine Zehnerpotenz über den Gehalten der Federn aus Jülich (siehe Abb. 6.24. bis 6.29.). Bei den Elementen Zink, Nickel und Kobalt ist die Abgrenzung der Standorte nicht so deutlich. Die Kobaltgehalte der exponierten Federn sind am Standort Jülich über die gesamte Expositionszeit höher als an den durch bleiverhüttende Industrie beeinflussten Standorten Stolberg-Binsfeldhammer und Stolberg-Werth.

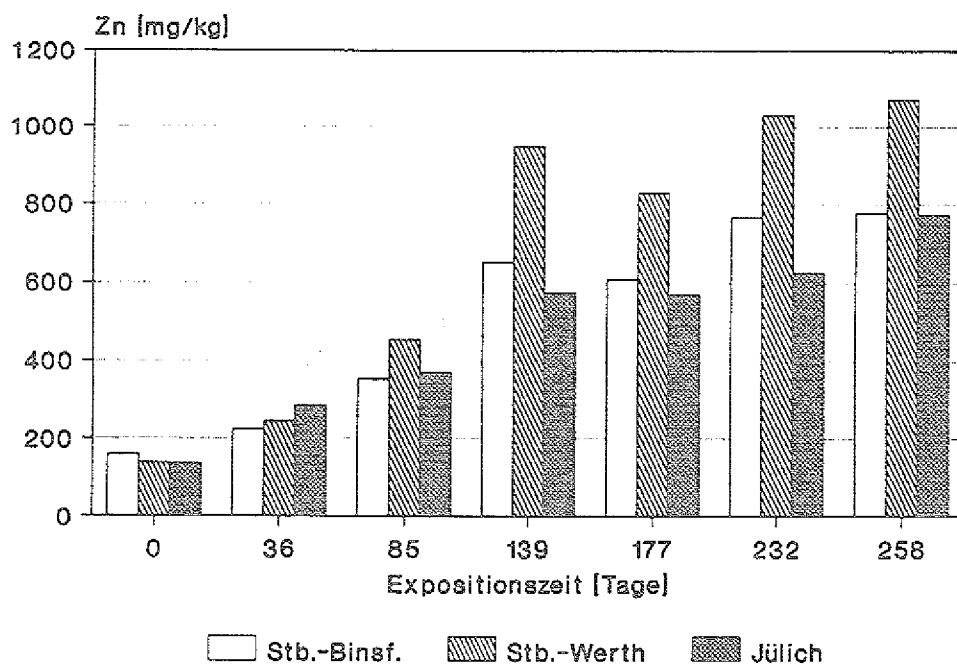


Abb. 6.24.: Zinkgehalte in exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

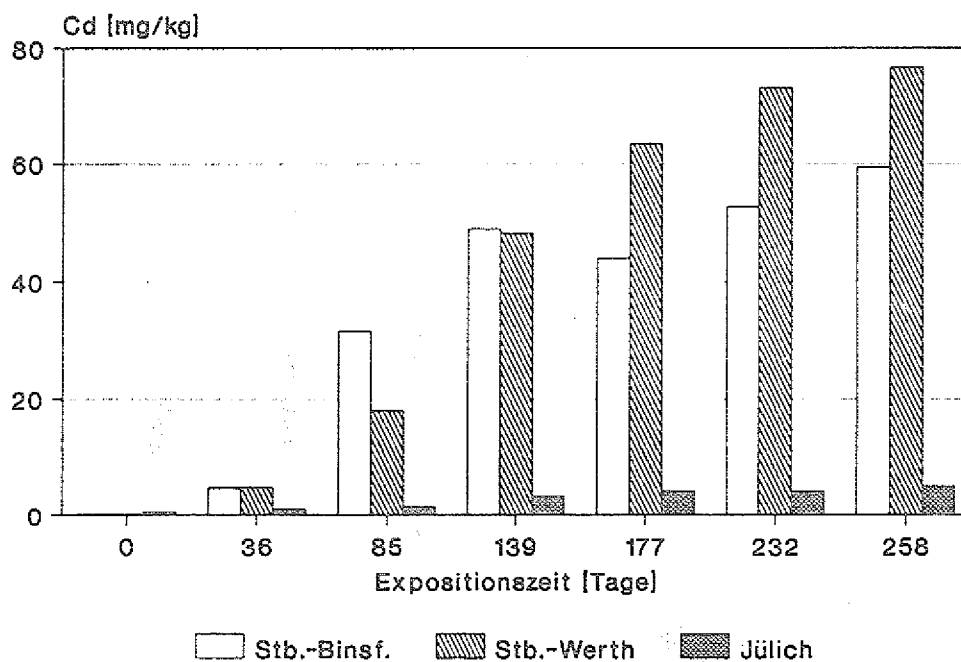


Abb. 6.25.: Cadmiumgehalte in exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

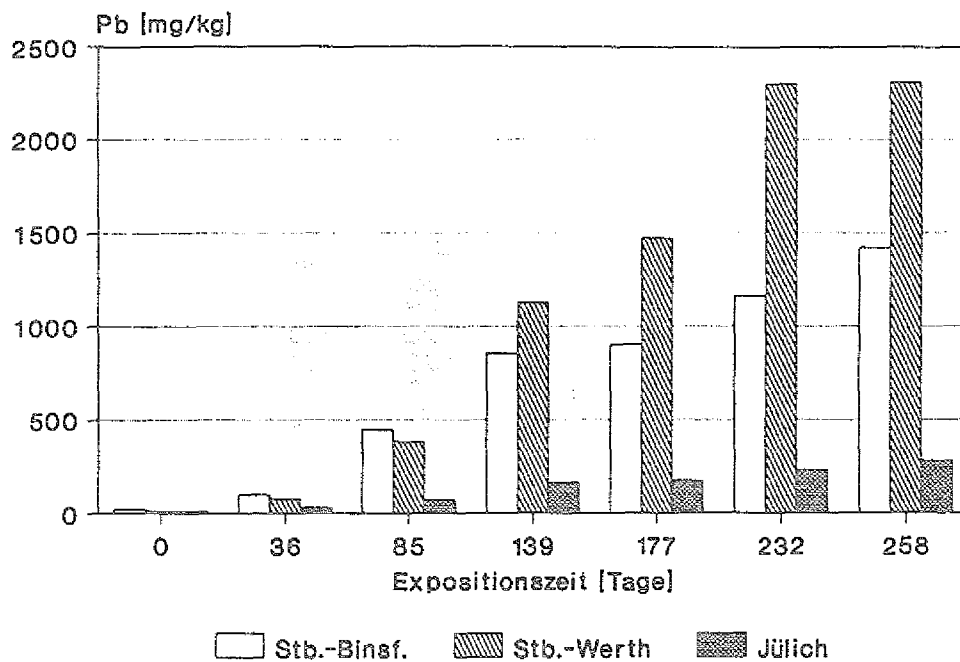


Abb. 6.26.: Bleigehalte in den exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

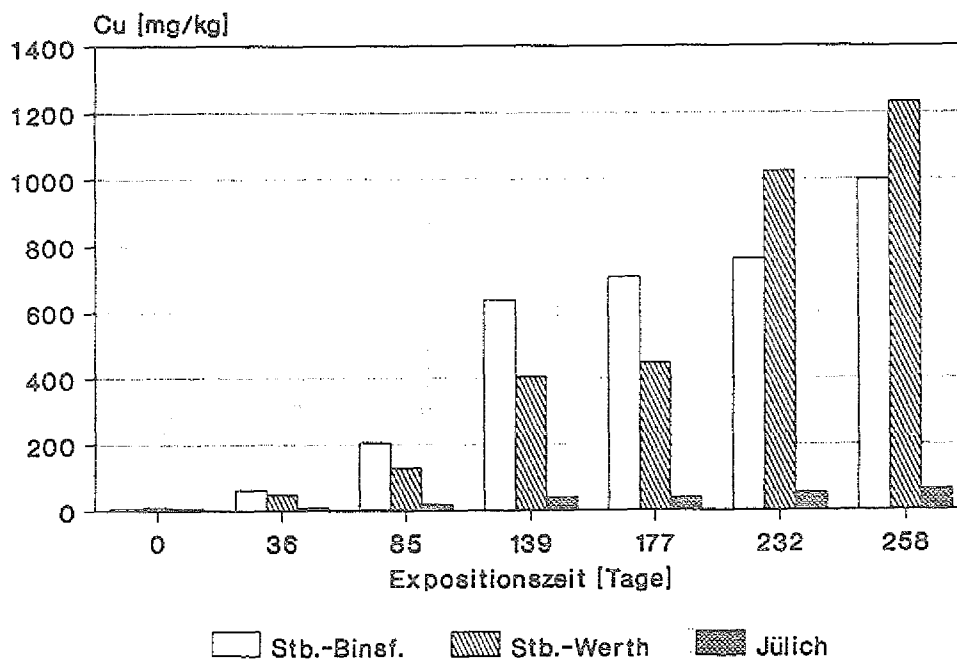


Abb. 6.27.: Kupfergehalte in den exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

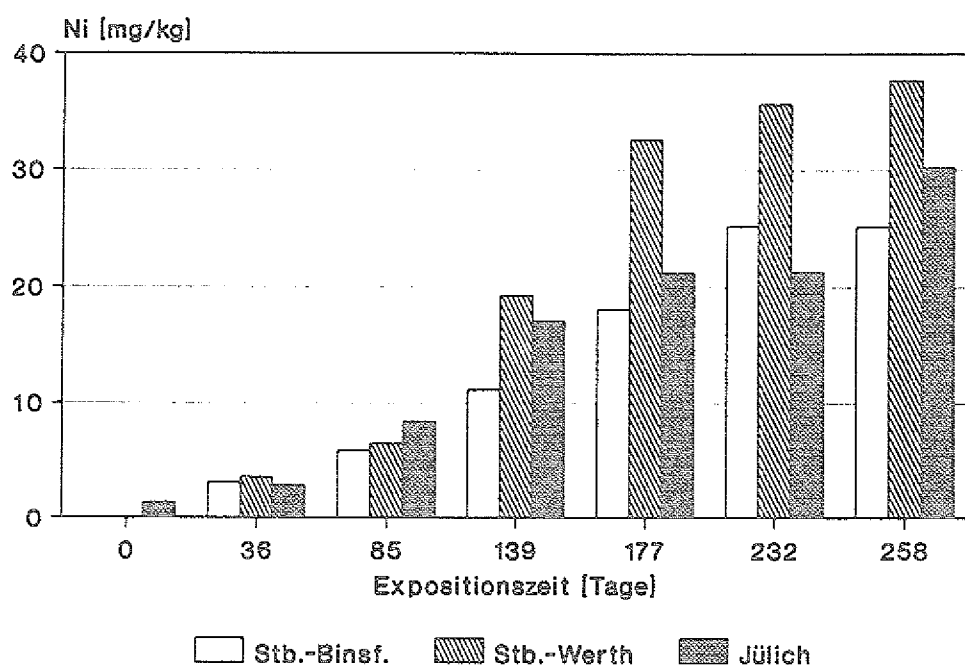


Abb. 6.28.: Nickelgehalte in den exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

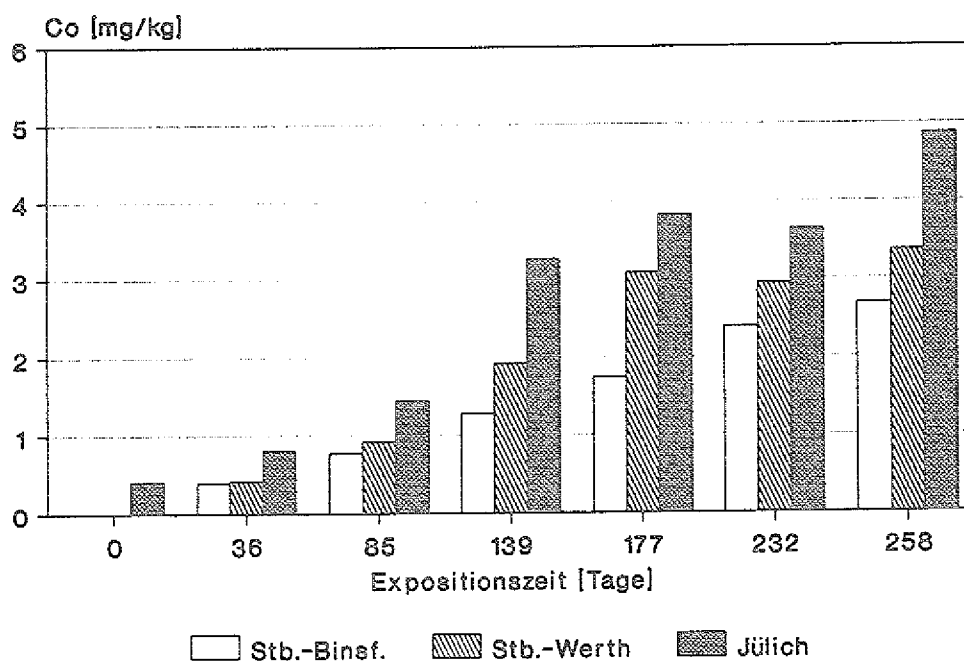


Abb. 6.29.: Kobaltgehalte in den exponierten Federn.

Dargestellt sind die Mittelwerte aus den Federn der einzelnen Expositionsringe. Am Standort Jülich wurde Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen.

Um den Zusammenhang zwischen den Schwermetallgehalten in den exponierten Elsterfedern und ihrer Expositionszeit darzustellen, wurden die Schwermetallgehalte der einzelnen Federn eines Entnahmetermins pro Standort gemittelt. Aus diesen Mittelwerten und den entsprechenden Expositionszeiten wurden für die einzelnen Elemente Korrelationskoeffizienten errechnet. Die aus den Datenpaaren ermittelten Regressionsgeraden sollen Auskunft über die Art der Beziehung (linear bzw. exponentiell) geben.

Für alle untersuchten Elemente besteht an den Standorten Stolberg-Binsfeldhammer, Stolberg-Werth und Jülich-Güsten eine hoch signifikante Korrelation ( $P < 0,001$ ) zwischen den Schwermetallgehalten in den exponierten Elsterfedern und ihrer Expositionszeit. Es zeigt sich eine lineare Beziehung zwischen den Datenpaaren, die sich durch eine Gerade beschreiben läßt. In Tab. 6.6. sind die Geradengleichungen für die einzelnen Elemente angeführt.

Tab. 6.6.: Korrelationskoeffizienten und Gleichungen der Regressionsgeraden für die Beziehung Schwermetallgehalte in exponierten Elsterfedern und Expositionszeit.

| Stolb.-Binsfeldh.                      | Stolb.-Werth                        | Jülich                             |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Zn: $y = 2,67x + 138,8$<br>$r = 0,959$ | $y = 3,82x + 168,1$<br>$r = 0,957$  | $y = 2,77x + 156,7$<br>$r = 0,976$ |
| Cd: $y = 0,23x + 4,05$<br>$r = 0,945$  | $y = 0,33x - 3,00$<br>$r = 0,984$   | $y = 0,02x + 0,44$<br>$r = 0,974$  |
| Pb: $y = 5,39x - 13,51$<br>$r = 0,990$ | $y = 9,94x - 219,18$<br>$r = 0,985$ | $y = 1,05x - 1,37$<br>$r = 0,991$  |
| Cu: $y = 3,88x - 30,25$<br>$r = 0,975$ | $y = 3,70x - 152,29$<br>$r = 0,947$ | $y = 0,22x + 3,51$<br>$r = 0,985$  |
| Ni: $y = 0,10x - 0,68$<br>$r = 0,984$  | $y = 0,16x - 1,58$<br>$r = 0,973$   | $y = 0,11x + 0,34$<br>$r = 0,977$  |
| Co: $y = 0,01x + 0,12$<br>$r = 0,988$  | $y = 0,11x + 0,17$<br>$r = 0,965$   | $y = 0,02x + 0,25$<br>$r = 0,967$  |

### 6.6.3. Diskussion

Die Ergebnisse der Expositionsversuche zeigen, daß es sich bei den in exponierten Vogelfedern gemessenen Schwermetallgehalten an Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Nickel und Kobalt zum weitaus überwiegenden Teil um exogen auf die Federn aufgelagerte Depositionen handelt. Es erfolgt ein linearer Anstieg der Schwermetallgehalte in den Federn über die Expositionszeit. Im Zeitraum von 258 Tagen steigen die Gehalte maximal um den Faktor 8 bei Zink, 500 bei Cadmium, 200 bei Blei, 130 bei Kupfer, 30 bei Nickel und 12 bei Kobalt. Eine Kontamination der Federn durch vom Boden aufgewirbelten Staub ist unwahrscheinlich, da der Boden unter den exponierten Federn einerseits durch eine dichte Vegetationsschicht bedeckt war und zum anderen die Federn in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden aufgestellt waren. Federn stellen somit, wie zu erwarten, ein sehr effektives Fangsubstrat für partikelgebundene Schwermetalle aus der Atmosphäre dar.

Trotz der geringeren Expositionszeit sind die Schwermetallgehalte der exponierten Federn um ein Vielfaches höher als die Schwermetallgehalte der Armschwingen einer ein Jahr alten Elster vom selben Standort (Tab. 6.7). Während die Armschwingen am Vogel nur zeitweise, während des Fliegens und auch dann nur teilweise von Luft umströmt werden, ist im Expositionsversuch die gesamte Federfahne permanent der Atmosphäre ausgesetzt. Die exponierten Federn sind also in viel stärkerem Umfang atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, was sich in den erhöhten Schwermetallgehalten widerspiegelt.

Tab. 6.7.: Schwermetallgehalte in der 7. Armschwinge eines ein Jahr alten, brütenden Elsterweibchens aus Stolberg-Werth (E-5) und in 258 Tagen exponierten Federn (Mittelwert aus drei 7. Armschwingen) vom selben Standort. Angaben in mg/kg.

|                     | Zn     | Cd    | Pb     | Cu     | Ni    | Co   |
|---------------------|--------|-------|--------|--------|-------|------|
| Elster (E-5)        | 414,5  | 16,29 | 262,6  | 22,01  | 2,29  | 1,01 |
| exponierte<br>Feder | 1072,2 | 76,66 | 2308,3 | 1231,6 | 37,73 | 3,36 |

Pro Standort kamen mindestens 2 gleich lang exponierte Federn zur Analyse. Vergleicht man die Schwermetallgehalte dieser Federn, so treten für die einzelnen Elemente Varianzen von maximal 20 % auf.

Am Standort Jülich waren vier Ringe exponiert. Die Federn des Ringes J sind ab einer Expositionsdauer von 139 Tagen für alle Elemente im Vergleich zu den Federn der übrigen Ringe stark erhöht. Als Ursache

für diese stetige, überproportionale Zunahme der Gehalte ist eine Kontamination sehr unwahrscheinlich. Betrachtet man die Ausrichtung von Federober- bzw. Federunterseite in Bezug auf die Hauptwindrichtung, so sind die Federn des Ringes J im Gegensatz zu den Federn der übrigen Ringe am Standort Jülich um 180° gedreht angeordnet. Die Federn der Ringe G,H und I waren mit ihrer Oberseite SW exponiert. Ob dies Ursache für die stark erhöhten Schwermetallgehalte dieser Federn ist, kann durch weitere Untersuchungen, bei der die Ausrichtung der Federn exakt fest gehalten wird, geklärt werden.

Als eine weitere Besonderheit fällt auf, daß die Kobaltgehalte der Federn des Ringes J am Standort Jülich ab einer Expositionszeit von 139 Tagen nicht weiter ansteigen. Für Kobalt weist der Standort Jülich im Vergleich zu den Standorten im Raum Stolberg die höchsten Gehalte auf. Möglicherweise hat die Kobaltkonzentration in den exponierten Federn mit ca. 6 mg/kg ein Sättigungsniveau erreicht. Die höchsten Kobaltgehalte in Federn von Wildvögeln lagen ebenfalls bei 6,6 mg/kg. Bei den anderen fünf Elementen wurde keine Hinweise auf "Sättigungskonzentrationen" in den exponierten Federn beobachtet.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß diese Expositionsversuche die große Kapazität von Federn als Fangsubstrat für atmosphärische Schwermetallfrachten demonstrieren.

## 6.7. Zusammenfassende Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

### 6.7.1. Exogene Schwermetallauflagerungen als Hauptursache für Schwermetallgehalte in Vogelfedern

Die in den vorangegangenen Unterkapiteln erzielten Ergebnisse der Analyse von Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co in Federn lassen sich so zusammenfassen:

- Die Schwermetalle haften relativ fest an den Federn. Durch Waschen mit Wasser, Aceton und Detergentien lassen sich lediglich Schwermetallanteile in der Größenordnung von < 10 % entfernen.
- Der weitaus überwiegende Anteil der Schwermetallgehalte einer Feder findet sich in den Fahnen.
- Es existieren Verteilungsmuster von Blei und Cadmium über die Federfahnen: die Gehalte nehmen von der Federbasis zur Spitze und von den kielnahen Bereichen zu den Außenrändern kontinuierlich zu. Die Außenfahne einer Feder ist höher belastet als ihre Innenfahne.
- Analog zu der Schwermetallverteilung in der Einzelfeder, bei der die exponierten Teile höhere Schwermetallgehalte aufweisen als entsprechend "geschützte", verhalten sich auch die Gehalte in Handschwingen und Steuerfedern. Die Federn, die durch ihre Position und Gestalt aus den

Gefiederpartien "herausragen" und dadurch einem intensiveren Kontakt mit der Atmosphäre ausgesetzt sind, weisen höhere Gehalte auf. Solche Muster in den Schwermetallgehalten lassen sich bei verschiedenen Vogelarten beobachten. Sie sind unabhängig vom Geschlecht und der geographischen Herkunft. Unterschiedlich hohe Depositionsraten in den Untersuchungsgebieten wirken sich nicht auf diese Verteilungsmuster aus, sie spiegeln sich nur in der Höhe des Konzentrationsniveaus in den Federn wider.

- Die Gehalte der sechs untersuchten Metalle sind in erster Linie vom Alter der Feder abhängig. Die Schwermetallgehalte frisch gewachsener Federn sind deutlich geringer als die einjähriger Federn. Es findet ein Anstieg der Schwermetallgehalte über die Zeit statt. Dabei sind die Schwermetalldepositionen unverändert, wie an Hand der mit physikalisch-technischen Methoden gemessenen Depositionsraten feststellbar ist.

- Frei exponierte Federn, die allein den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind, zeigen eine von Expositionszeit und Belastungssituation abhängige Schwermetallzunahme. Standorte unterschiedlicher Schwermetalldeposition lassen sich deutlich voneinander abgrenzen.

Diese Ergebnisse belegen, daß die über die Nahrung aufgenommenen und während des Federwachstums in die Federn eingelagerten Schwermetalle durch von außen auf die Feder deponierte Metallfrachten aus der Atmosphäre um ein Vielfaches überlagert werden. Die Höhe der Schwermetallgehalte ist vor allem abhängig vom Alter der Feder, d.h. der Zeit über die eine Feder exogenen Einwirkungen ausgesetzt ist. Zusätzlich bestimmen der Anteil der Federfläche, die Intensität, mit der sie diesen Einwirkungen exponiert ist und die lokale atmosphärische Schwermetallbelastung die Schwermetallkonzentrationen in den Federn. Federn akkumulieren also die atmosphärische Schwermetallbelastung.

#### 6.7.2. Zur Herkunft der exogenen Schwermetalle in Vogelfedern

Als Teile des Integuments kommen Federn während ihrer "Lebensdauer" mit den Umweltkompartimenten Atmosphäre, Boden und Wasser in engen Kontakt (vgl. Kap. 4.). Dadurch können Schwermetalle aus diesen Kompartimenten Federn kontaminieren. Ob und in welchem Umfang solche Kontaminationen die festgestellten Schwermetallgehalte in Federn verursachen, soll im folgenden anhand der bisherigen Untersuchungsergebnisse und aus der Literatur abgeschätzt werden.

##### 6.7.2.1. Schwermetallkontamination von Federn durch Kontakt mit Boden und Vegetation

Der Kontakt mit Boden, Vegetation und Oberflächen wie Hausdächern, Strommasten etc. kann zu Kontaminationen der Federn mit Schwermetallen führen. Gegen diesen Eintragspfad als bestimmenden

Faktor für die Schwermetallgehalte von Federn sprechen folgende Ergebnisse:

- Die in Federn mit Hilfe der Feststoff-AAS festgestellten Blei- und Cadmiumprofile zeigen kontinuierlich ansteigende Gradienten, mit Zunahmen von der Basis zur Spitze sowie von den kielnahen Bereichen zu den Rändern. Kontaminationen durch den Kontakt mit Bodenpartikeln sollten nicht zu solch gleichförmigen Belastungsmustern, sondern zu "punktuellen" Kontaminationen führen.
- Bei der Nahrungssuche bzw. Jagd kommen Vögel mit dem Boden in Berührung und Federn dabei in Kontakt mit Bodenpartikeln. Die hohen Blei- und Cadmiumgehalte in Federn werden aber nicht durch Kontamination aus dem Substrat verursacht. Bei rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen\* lassen sich auf der Fadenoberfläche Partikel mit Radien von 5 bis 15  $\mu\text{m}$  erkennen. Nach der Analyse mit der Mikrosonde, die Angaben im Prozentbereich erlaubt, bestehen diese Partikel zu 90% aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Es handelt sich dabei um Sandkörner.

Aufgrund dieser Ergebnisse lassen sich die Blei-, Cadmium-, Kupfer-, Nickel- und Kobaltgehalte in Federn nicht durch Kontaminationen aus dem Kontakt mit Boden, Vegetation und anderen Oberflächenstrukturen erklären.

#### 6.7.2.2. Schwermetallkontamination aus Naßdepositionen und Kontakt mit Oberflächengewässern

Außer beim Baden kommen Federn bei Regen, Schnee u.a. mit Wasser in engen Kontakt. Obwohl beim Baden Federn zwar intensiv durchfeuchtet werden, sind Schwermetalleinträge in Federn aufgrund der relativ niedrigen Gehalte in Oberflächengewässern (z.B. Pb: 0,3 [ng/g], WEDEPOHL 1984) im Vergleich zu den hohen Gehalten in den Federn nicht zu erwarten.

Bei Regenereignissen sind Schwermetalleinträge aus der Naßdeposition ebenso unwahrscheinlich, da die wasserabweisenden Eigenschaften des Gefieders ein Eindringen von Feuchtigkeit und damit verbundene Schwermetallaufnahme verhindert. Aufgrund ihrer hohen Oberflächenspannung können Regentropfen nicht in die feine Textur der Feder aus Haken- und Bogenstrahlen eindringen (RUTSCHKE 1960). Außerdem ist die Schwermetallkonzentration im Niederschlag ebenfalls sehr gering (vgl. Kap. 7).

#### 6.7.2.3. Schwermetallkontamination von Federn aus schwermetallhaltigen Aerosolen

Schwermetalle, im besonderen Blei und Cadmium, gelangen vorwiegend durch anthropogene Emissionen in die Atmosphäre (PUXBAUM 1984). Luftgetragene Schwermetalle sind dabei im Schwebstaub gebunden.

---

\* Ich danke Herrn F. Els, IRW für die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen.

Die Korngrößenverteilung eines Schwermetalls im Schwebstaub beeinflusst im wesentlichen seine atmosphärische Verweilzeit. Schwermetalle an kleinen Partikeln bleiben länger in der Atmosphäre als solche, die an größere gebunden sind. Bei Teilchen mit Radien von ca.  $0,1 \mu\text{m}$  beträgt die atmosphärische Verweilzeit bis zu 10 Tage (MÜLLER 1979).

Im Vergleich zum Gesamtschwebstaub können Metalle in den einzelnen Größenfraktionen ein abweichendes Verhalten der Massenverteilung aufweisen. Besonders Blei und Cadmium aus Verbrennungsanlagen sind im Gegensatz zur Gesamtmassenverteilung im Teilchengrößenbereich  $< 5 \mu\text{m}$  vertreten. So sind in Reinluftgebieten über 80 % des Bleis und Cadmiums (bezogen auf das Gewicht) an Partikel mit Radien  $< 1,5 \mu\text{m}$  gebunden (MÜLLER 1977, DANNECKER et al. 1982).

Für die Annahme, daß Schwermetalle in Vogelfedern durch einen Eintrag aus atmosphärischen Belastungen verursacht werden, sprechen die folgenden Ergebnisse:

- Federn, die beim Fliegen in besonders intensiven Kontakt mit der Atmosphäre kommen, weisen höhere Schwermetallgehalte auf als Federn, die nicht so stark exponiert sind. Dies zeigt sich im Verteilungsmuster von Schwermetallen über die einzelnen Handschwingen sowie im Vergleich zwischen Hand- und Armschwingen (Kap. 6.4.).
- Die am stärksten umströmten und damit am stärksten exponierten Teile einer Feder, Spitze und Ränder, weisen die höchsten Schwermetallgehalte auf (Kap. 6.3.).
- Federfahnen, die noch nicht atmosphärischen Belastungen ausgesetzt waren, zeigen diese typischen Blei- und Cadmiumprofile nicht (Kap. 6.3.).
- Die Schwermetallkonzentrationen in Federn steigen mit zunehmendem Alter der Federn, d.h. der Zeit, in der Federn atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind (Kap. 6.5.).
- Im Expositionsversuch waren Federn so aufgestellt, daß sie mit Boden, Vegetation oder anderen Oberflächenstrukturen nicht in Berührung kamen. Die Schwermetallgehalte in den aufgestellten Federn nahmen in Abhängigkeit von der Belastungssituation des Standortes und ihrer Expositionszeit kontinuierlich zu. Es kann sich dabei nur um Schwermetalleinträge aus der Atmosphäre handeln (Kap. 6.6.).

Aus diesen Ergebnisse folgt, daß die Schwermetallgehalte in Federn überwiegend durch luftgetragene, schwermetallhaltige Partikel verursacht werden. Nachfolgend wird diskutiert, durch welche Mechanismen luftgetragene Schwermetalle aus der Atmosphäre in die Federn kommen können.

### 6.7.3. Mögliche Mechanismen der Schwermetalleinlagerung in Vogelfedern aus der Atmosphäre

Aus den bisher dargestellten Ergebnissen haben sich folgende drei Faktoren als Voraussetzung für den Eintrag luftgetragener Schwermetalle in Federn herausgestellt:

- Feinstruktur der Feder
- Partikelgröße der luftgetragenen Schwermetalle
- Strömungsgeschwindigkeiten an Flügel bzw. Federn

Der Feinbau der Feder weist lamellenartige Strukturen auf. Die Zwischenräume zwischen den Strahlen (Radien) betragen ca. 10  $\mu\text{m}$ . Zusätzlich ragen einzelne Feinstrukturen aus der Fahne heraus. Sie sind als Reibungsfortsätze zum besseren Zusammenhalt von benachbarten Federn ausgebildet (RUTSCHKE 1970). Die Federfahne bietet somit eine ideale Textur zur Aufnahme von Feinpartikeln.

Die Partikelgrößen, an die Schwermetalle, vor allem Blei und Cadmium, gebunden sind, stimmen mit den Zwischenräumen in den Feinstrukturen der Federfahnen überein. Anlagerungen an die Bogen- und Hakenstrahlen können somit stattfinden. Ebenso ist denkbar, daß Bürzeldrüsensekrete das Anhaften von Partikeln begünstigen.

Die Fluggeschwindigkeiten unterschiedlicher Vogelarten besitzen eine große Variationsbreite (vgl. RÜPPELL 1980, NACHTIGALL 1987) (Kleinvogel: ca. 35 km/h, Gänse 60 km/h). Auch bei derselben Art treten große Unterschiede zwischen der "normalen Reisegeschwindigkeit" und kurzfristig erreichbaren Höchstgeschwindigkeiten auf (sturzfliegende Greifvögel ca. 160 km/h). Für die Elster beträgt die mittlere Fluggeschwindigkeit 37-45 km/h (MEINERTZHAGEN 1955). Kurzfristig kann sie aber auch Spitzengeschwindigkeiten von mindestens 77 km/h erreichen (WASSMANN 1987). Neben der Geschwindigkeit, die ein Vogel als Relativgeschwindigkeit gegenüber der ihn umgebenden Luft erreicht, treten an den Federpartien, die für den Vortrieb verantwortlich sind, zusätzliche Geschwindigkeitsmomente auf. In Abb. 6.30. sind die unterschiedlichen Strecken aufgezeichnet, die von den einzelnen Flügelabschnitten beim Flügelausschlag zurückgelegt werden. Die körpernahen Federn der Armschwingen erreichen geringere Geschwindigkeiten als Federn der Flügelspitzen, die pro Flügelauflauf/abschlag weitere Strecken in der gleichen Zeit zurücklegen (LILIENTHAL 1889, RÜPPELL 1980).

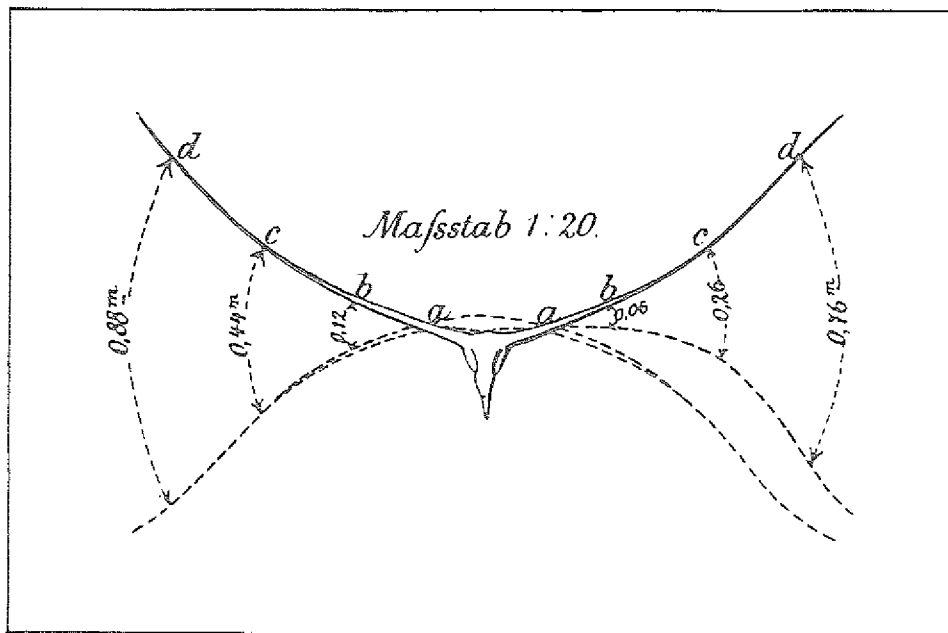


Abb. 6.30.: Flügelbewegung in der Frontalsicht (aus LILIENTHAL 1889).

Diese drei wesentlichen Faktoren, Feinstruktur der Feder, Partikelgrößen der schwermetallhaltigen Aerosole und Strömungsgeschwindigkeiten am Flügel bzw. an Federn, führen zu verschiedenen Hypothesen über die Einlagerungsmechanismen:

1. Siebwirkung: Die von vorn auf den Flügel strömende Luft erzeugt auf der Flügeloberseite, wo sie aufgrund der Wölbung schneller strömt, einen Sog und auf der Flügelunterseite einen Überdruck (vgl. Kap. 4.1.2.). Dieses Druckgefälle von Unter- zu Oberseite verursacht die Anlagerung bzw. Wanderung von Partikeln von der Unter- zur Oberseite. Die Partikel bleiben in Abhängigkeit von ihren Radien in der Textur aus Feinstrukturen hängen. Die Einlagerung von schwermetallhaltigen Partikeln über eine Siebwirkung setzt voraus, daß Luft durch die Feinstruktur der Federn strömt und daher müßte die Schwermetallbelastung an den Federunterseiten lokalisiert sein.

2. Impaktion (Abscheidung): Die partikelgetragenen Schwermetalle werden zum einen durch Turbulenzelemente der Luft bewegt. Können Teilchen in direkter Nähe des Flügels den gekrümmten Bahnen der Luft bei der Umströmung der Federn aufgrund ihrer Trägheit nicht mehr folgen, kommt es zur Impaktion am betreffenden Hindernis Feder. Die hohe Strömungsgeschwindigkeit sowie die turbulente Luftbewegung verursachen bei den Partikeln einen Impuls, aufgrund dessen die Teilchen in die laminare Strömungsunterschicht eindringen und mit einer gleichmäßig verzögerten Bewegung auf die Oberfläche der Feder

aufprallen können. Ob es bei Partikeln zur Impaktionsabscheidung kommt, hängt von ihrer Masse sowie ihrer Geschwindigkeit relativ zum Hindernis ab (Van AALST 1986, PRANDTL 1984).

Als wahrscheinlichstes Erklärungsmodell für die Schwermetalleinlagerung aus der Atmosphäre in Federn erscheint die Impaktionsabscheidung. Dafür sprechen auch die Ergebnisse des Expositionsversuches (vgl. Kap. 6.6.), bei dem eine Siebwirkung nur geringfügig zur Wirkung kommen kann, andererseits aber sehr hohe Schwermetallgehalte in den exponierten Federn festgestellt wurden.

## 7. Einsatz von Vogelfedern als Akkumulationsindikatoren zur Abschätzung der atmosphärischen Schwermetallbelastung

Mit ihrer Fähigkeit zur Akkumulation atmosphärischer Schwermetallbelastungen haben sich Vogelfedern in den hier beschriebenen Untersuchungen als besonders geeignete Umweltproben herausgestellt. Bioindikation setzt voraus, daß die Beziehung zwischen dem wirkenden Umweltfaktor und dem Bioindikator klar dokumentiert ist. Nach den hier vorgelegten Ergebnissen ist beim Einsatz von Vogelfedern als Bioindikatoren der Gehalt an aerosolgebundenen Schwermetallen in der Atmosphäre an einem bestimmten Standort für einen definierten Zeitraum der primär wirkende Umweltfaktor. Die Gehalte dieser Schwermetalle in standardisierten Vogelfedern indizieren diese Umweltbedingungen, andererseits verursachen schwermetallhaltige Aerosole Stoffeinträge in Ökosysteme über die Naßdeposition. Der Vergleich der durch den Bioindikator Vogelfeder ermittelten Schwermetallbelastung mit durch physikalisch-technische Meßsysteme festgestellten Schwermetalleinträgen dient daher zur Absicherung und Überprüfung der Methode. Die in standardisierten Federn gemessenen Schwermetallgehalte werden den am selben Standort mit Regensammlern ermittelten Naßdepositionsraten zugeordnet.

Im folgenden Kapitel wird am Beispiel der Arten Elster und Habicht die methodische Vorgehensweise zum Einsatz von Vogelfedern als Bioindikatoren zur Erfassung der atmosphärischen Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten dargestellt. Die einzelnen Schritte sind:

- Standardisierung von Federn,
- Ergebnisse physikalisch-technischer Meßmethoden zur Erfassung der atmosphärischen Schwermetallbelastung als Bezugsgrößen für Bioindikation mit Vogelfedern,
- Charakterisierung der Probennahmegebiete hinsichtlich ihrer Belastungssituation mit atmosphärisch gebundenen Schwermetallen anhand standardisierter Federn,
- sowie die Kalibrierung der in standardisierten Federn gemessenen Schwermetallgehalte an mit physikalisch-technischen Niederschlagssammlern gemessenen Schwermetalldepositionen.

### 7.1. Standardisierung der Federproben

Bei Bioindikationsverfahren sollen durch den Vergleich der Schadstoffgehalte von Organismen Informationen über räumliche und zeitliche Trends bzw. Wirkungen von ökotoxischen Substanzen erhalten werden. Voraussetzung für diesen Ansatz ist die Vergleichbarkeit der von verschiedenen Individuen gewonnenen Rückstandsdaten. Diese Vergleichbarkeit wird durch eine Standardisierung der Proben erreicht.

Aus den in Kapitel 6 dargestellten Ergebnissen sind Alter der Federn (Expositionsdauer) und ihre Position im Gefieder (Intensität der Exposition) die wesentlichen Faktoren, die die Gehalte atmosphärisch gebundener Schwermetalle in Federn bestimmen. Daraus folgt, daß Federn zum Einsatz als Biomonitoren für die Erfassung luftgetragener Schadstoffe nach diesen beiden Kriterien standardisiert werden müssen.

#### 7.1.1. Standardisierung nach dem Alter der Feder bzw. der Expositionsdauer

Die ständige Abnutzung der Federn erfordert ihre regelmäßige Erneuerung durch die Mauser (vgl. Kap. 4.4.4.). Damit die Funktionen des Gefieders während dieses Vorganges weitgehend erhalten bleiben, erfolgt die Mauser nach einem geregelten Position-Zeit-Plan (STRESEMANN & STRESEMANN 1966). Zum Einsatz als Biomonitoren werden Vogelarten benötigt, deren Mauserrhythmus gut untersucht ist, um eine Altersabschätzung der einzelnen Federn vornehmen zu können. Dies ist bei Elster und Habicht der Fall (BÄHRMANN 1968, BRÜLL 1984).

Alte Federn, kurz vor ihrer Erneuerung, tragen deutliche Spuren der Abnutzung. Dies ist besonders bei den Steuerfedern und Schwingen ausgeprägt (BECKER et al. 1985). Eine irreguläre Mauser im Steuergefieder (z.B. Schreckmauser u.ä.) läßt sich in der Regel durch den Vergleich der Federn am Abnutzungsgrad und geringeren Federlängen erkennen (STIEFEL 1985).

Bei der Probennahme von Elster-Steuerfedern ist eine Altersbestimmung der Federn anhand ihres Abnutzungsgrades eindeutig möglich. Für die Probennahme von Habichtfedern ist eine Standardisierung der Federn nach ihrem Alter durch die Methode des Aufsammelns gemauserter Handschwingen automatisch gegeben. Nach diesen Kenntnissen erfolgt eine Strukturierung der Proben nach dem Federalter und somit ihrer Expositionsdauer.

#### 7.1.2. Standardisierung nach der Position im Gefieder bzw. dem Grad der Expositionsintensität

Der Schwermetallgehalt einer Vogelfeder ist abhängig von ihrer Position im Gefieder (vgl. Kap. 6.4.). Für Biomonitoring können daher nur Federn vergleichbarer Position benutzt werden.

Die Zuordnung der einzelnen Elster-Steuerfedern ist bei der Probennahme aus dem Schwanzgefieder am lebenden Vogel automatisch gegeben. Die aufgesammelten Habicht-Mauserfedern lassen sich anhand einer Vergleichssammlung sicher bestimmen und ihrer Position im Flügel zuordnen.

### 7.1.3. Ergebnis der Standardisierung

Auf der Grundlage der Standardisierung von Federn nach Alter und Position im Gefieder werden folgende Federn für die Verwendung als Biomonitoren (vgl. 7.4.) ausgewählt:

- Elster: die beiden äußeren Steuerfedern S-6 links und rechts

Bei den äußeren Steuerfedern der Elster sind die Einflüsse durch unterschiedlich starke Exposition aufgrund ihrer Position nicht so deutlich ausgeprägt, wie in den anderen Steuerfedern (vgl. 6.4.). Ein weiteres Kriterium zur Wahl der äußeren Steuerfedern ist die relativ späte Mauser dieser Federn im Vergleich zu den anderen Steuerfedern und den Handschwingen (6.5.). In den beschriebenen Untersuchungen waren bei allen gefangenen mehrjährigen Elstern die äußeren Steuerfedern noch unvermausert, auch wenn die Mauser des Steuergefieders bereits begonnen hatte (vgl. Tab. 10.1. im Anhang).

- Habicht: die ersten drei Handschwingen von linkem und rechtem Flügel: HS-1, HS-2, HS-3.

Beim Vergleich der Schwermetallgehalte weisen die ersten drei Handschwingen annähernd gleiche Konzentrationen auf (Tab. 10.11. im Anhang). Die Gehalte variieren um maximal 30 % (Tab. 10.13), während sich die Konzentrationen in distaleren Handschwingen stärker unterscheiden (vgl. Abb. 6.17.). Mindestens eine der drei ersten Handschwingen wird nahezu an allen Horsten gefunden (siehe Abb. 2.1.). Durch die Bestimmung der Schwermetallgehalte in mehreren vergleichbaren Federn werden die Ergebnisse abgesichert und mutmaßliche Ausreißer aufgrund irregulärer Mauser und Sekundärkontamination erkennbar.

## 7.2. Physikalisch-technische Methoden zur Bestimmung der luftgetragenen Schwermetallbelastung als Bezugssystem für den Bioindikator Vogelfeder

Durch natürliche und anthropogene Emissionen gelangen Schwermetallaerosole in die Atmosphäre. Zwei wichtige Senken atmosphärischer Aerosole sind die trockene und die feuchte Deposition (GEORGII et al. 1982). Durch diese Mechanismen werden beträchtliche Mengen von Spurenstoffen in Ökosysteme eingetragen. Dabei versteht man unter feuchter Deposition die Zufuhr von Stoffen durch Niederschlagsprozesse zur Erdoberfläche, und zwar durch Inkorporation von Spurenstoffen in Tropfen innerhalb der Wolken (rainout) und den Auswaschungsprozess unterhalb der Wolkenbasis (washout). Die Effektivität der Auswaschungsprozesse ist von der Niederschlagsintensität, der Tropfengrößenverteilung, dem pH-Wert und der Temperatur des Tropfens, der vertikalen Konzentrationsverteilung des Spurenstoffes sowie Aerosoleigenschaften wie Löslichkeit, Größenverteilung etc. abhängig (PERSEKE & GEORGII 1979).

Die trockene Deposition von atmosphärischen Spurenstoffen umfaßt die Ablagerung von Schwebstaub durch Sedimentation, Impaktion und Diffusion auf Boden und Pflanzenoberflächen sowie die Anlagerung von Gasen auf Oberflächen. Die mit dem Teilchendurchmesser im Quadrat wachsende Sedimentationsgeschwindigkeit bewirkt ein rasches Ausfallen großer Aerosolteilchen (GRAVENHORST et al. 1980). Unter natürlichen Bedingungen wird für ein gegebenes Aerosol und bei gegebenen meteorologischen Bedingungen die trockene Deposition wesentlich durch die Oberflächenstruktur des Akzeptors beeinflusst. Pflanzen und bewachsener Boden bewirken eine Erhöhung der Trockendeposition durch eine Vergrößerung der effektiven Akzeptorfläche und eine Filterwirkung (GEORGII et al. 1982).

Die in Kap. 6 beschriebenen Ergebnisse der Schwermetallanalysen in Vogelfedern führen zu dem Schluß, daß die in Federn gemessenen Gehalte aus luftgetragenen Schwermetallbelastungen resultieren. Daher stellen Depositionsraten aus gleichen Zeit- und Bezugsräumen ein adäquates Bezugssystem für die gewonnenen Daten im Hinblick auf den Einsatz von Federn als Biomonitoren zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten dar. Zur Ermittlung der Trockendeposition steht jedoch zur Zeit noch kein ausgereiftes und repräsentatives Meßsystem zur Verfügung. Naßdepositionsraten werden dagegen seit 1980 vom Institut für Angewandte Physikalische Chemie (ICH-4) des Forschungszentrums Jülich mit automatisch arbeitenden Niederschlagssammlern in der Bundesrepublik Deutschland zuverlässig erfaßt (NÜRNBERG et al. 1984, VALENTA & NGUYEN 1986, DÜRBECK et al. 1989).

Bei der Verwendung von Naßdepositionsraten als Bezugsdaten für die Schwermetallgehalte in Vogelfedern ist aber zu bedenken, daß das Verhältnis von feuchter zu trockener Deposition im Gradienten zwischen belasteten und unbelasteten Regionen nicht konstant ist. In Belastungsgebieten ist der Anteil der trockenen Deposition an der Gesamtdeposition größer als in Reinluftgebieten, während in Reinluftgebieten die feuchte Deposition einen höheren Anteil an der Gesamtdeposition ausmacht (GEORGII et al. 1982). Da sich die Schwermetalldepositionen in den ausgewählten Untersuchungsgebieten aber um Größenordnungen unterscheiden, wird der Einfluß des variierenden Anteils von feuchter bzw. trockener Deposition an der Gesamtdeposition vernachlässigbar und es ist möglich, die relativen Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten mit Naßdepositionsraten als Bezugssystem anzugeben.

#### 7.2.1. Naßdepositionsraten als Bezugsgrößen zum Vergleich mit den Schwermetallgehalten standardisierter Vogelfedern

Die meßtechnische Erfassung der nassen Deposition ist im Prinzip relativ einfach und besteht aus einem Sammelgefäß oder einem Trichter mit Filtration und Sammelflasche, die in der regenfreien Zeit mit einem Deckel verschlossen sind. Ein Niederschlagssensor aktiviert den Öffnungsmechanismus bei einsetzendem Regen und verschließt die Apparatur nach Regenende wieder. Der gleitende Übergang von trockener zu nasser Deposition über Nebel, Niesel, feinen Schnee, Hagel, Tau und Sprühregen stellt das Hauptproblem

der Sammeltechnik dar. Ab welcher Niederschlagsintensität wird der Sensor aktiviert und wie repräsentativ erfaßt er die gesamte Naßdeposition, z.B. bei starkem Wind? Daneben bestehen noch weitere Probleme im Bezug auf Probennahmedauer, Wechselwirkungen zwischen Regenwasser und Sammlermaterial und klimatische Effekte (vgl. WINKLER et al. 1989).

Die vom Institut für Angewandte Physikalische Chemie des Forschungszentrums Jülich betriebenen Niederschlagssammler wurden in diesem Institut entwickelt. Eine Beschreibung des Gerätes findet sich in NÜRNBERG et al. (1980) und WINKLER et al. (1989).

Mit einem über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland verteilten Netz automatisch arbeitender Niederschlagssammler wird seit 1980 die Naßdeposition systematisch verfolgt. Die untersuchten Regionen schließen ländliche Gebiet von der Nordseeküste bis zu den Alpen ein, sowie Ballungsräume, Industriezonen und Orte mit besonderer Schwermetallemission. Dabei wird die Deposition von saurem Regen und die Naßdeposition ökotoxisch wirksamer Schwermetalle in Regen und Schnee erfaßt und als Jahres-Mittelwerte für den täglichen Eintrag in der Dimension [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ d}$ ] angegeben (NÜRNBERG et al. 1984).

Aus dem Regensammlernetz des Institutes für Angewandte Physikalische Chemie wurden für die hier beschriebenen Untersuchungen Standorte nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- Stationen mit deutlich unterschiedlichen Depositionsraten: Industriezone, Stationen mittlerer Deposition, "Reinluftgebiete" und
- Stationen in Hauptwindrichtung einer Schwermetallemissionsquelle.

Die Depositionsmeßstationen, die als Bezugsstandorte für die Eichung von Elster- und Habichtfedern herangezogen wurden, sind im einzelnen:

1. Stolberg/Rhld.: Der Raum Stolberg gehört zu den durch Schwermetalle (Blei, Zink, Cadmium) am stärksten belasteten Regionen in der Bundesrepublik Deutschland. Dafür sind ein jahrtausendlang betriebener Erzabbau sowie Erzverhüttung seit Beginn des 19. Jahrhunderts verantwortlich. Auch heute noch verursachen die Bleihütte und eine Anzahl metallverarbeitender Betriebe in Stolberg schwermetallhaltige Immissionen. Diese sind in den letzten Jahren durch technische Maßnahmen zur Emissionsminderung deutlich reduziert worden (NÜRNBERG et al. 1983, LEH 1986). Im Raum Stolberg wird seit Ende 1978 ein Sammlernetz mit zeitweise bis zu acht Sammlern betrieben. Die Sammler wurden durch die Tallage der Hütte nach orographischen Gesichtspunkten und in Hauptwindrichtung vom Emittenten aufgestellt.

Die Lage der Probennahmestandorte von Elster- und Habichtfedern zu den einzelnen Sammlerstandorten ist in Abb. 7.1. dargestellt.

2. Frenz: Der Standort Frenz liegt im Gradienten Stolberg-Jülich etwa 11 km entfernt in Hauptwindrichtung SW vom Emittenten. Der Sammler wurde nur in den Jahren 1980 und 1981 betrieben (siehe Inden).  
An diesem Standort wurden Elsterfedern aus direkter Nähe der ehemaligen Sammlerstandorte gezogen (Nest ca. 400 m vom Sammler).
  
3. Inden: Der Niederschlagssammler Kläranlage Inden liegt in ca. 14 km Entfernung zum Emittenten in Stolberg, ebenfalls in Hauptwindrichtung und war 1980 und 1981 in Betrieb. Da von den beiden Standorten Inden und Frenz keine aktuelleren Depositionsraten vorlagen, wurden die Jahresmittelwerte 1980/81 unter der Annahme, daß sich die Naßdepositionsraten nicht drastisch verändert hatten, benutzt.  
Auch hier stammten die Elsterfedern aus direkter Nähe zum Sammler. Habichtfedern konnten weder in der näheren Umgebung von Inden noch von Frenz gesammelt werden, da die beiden Standorte in Gebieten ohne potentielle Bruthabitate für den Habicht (Altholzkomplexe) liegen.
  
4. Jülich: Jülich liegt ca. 22 km nordöstlich von Stolberg. Von 1980 bis 1984 war der Standort des Niederschlagssammlers an der Kläranlage Hambach, ab 1985 auf dem Gelände des Wasserwerkes Jülich-Güsten. Die beiden Stationen liegen ca. 6 km voneinander entfernt in vorwiegend agrarisch genutzten Gebieten.  
Am Standort Jülich konnten regelmäßig Federproben von Elster und Habicht gezogen werden.
  
5. Schönböken/Schleswig-Holstein: Die Meßstelle Schönböken liegt im ostholsteinischen Hügelland. Es handelt sich um einen industriefernen Standort in einem rein agrarisch genutzten Areal. Der Regensammler arbeitet seit 1987.  
In Schönböken wurden Federproben von Elster und Habicht 1987 und 1989 gezogen.
  
6. Deuselbach/Hunsrück: Der Standort Deuselbach, etwa 40 km östlich von Trier, dient dem Umweltbundesamt als Reinluftstation (GEORGII et al. 1982).  
In direkter Nähe der Meßstelle Deuselbach wurden 1984 Federproben von Elstern gezogen.
  
7. Saarbrücken: Der Niederschlagssammler steht in einem urban-industriellen Verdichtungsraum.  
Elster- und Habichtfedern liegen aus der weiteren Umgebung des Sammlers vor.

An den einzelnen Meßstationen wurden Naßdepositionsraten für die Elemente Blei, Cadmium, Zink, und Kupfer ermittelt. Aus einzelnen Jahren liegen auch die Depositionsraten von Nickel und Kobalt vor. Die für den Vergleich mit den Schwermetallgehalten standardisierter Vogelfedern benutzten Depositionsraten der einzelnen Meßstationen wurden vom Institut für Angewandte Physikalische Chemie zur Verfügung gestellt.

Im Überblick läßt sich der Schwermetalleintrag über die Naßdeposition in der Bundesrepublik Deutschland wie folgt charakterisieren:

- in ländlichen Gebieten, die etwa 85% der Fläche in der alten Bundesrepublik ausmachen, betrug für die Jahre 1980-1987 die nasse Bleideposition  $15 - 30 \mu\text{g Pb m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , für Cadmium ergaben sich Werte von 0,5 bis  $0,7 \mu\text{g Cd m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (DÜRBECK et al. 1989).
- Deutlich höhere Belastungen um den Faktor 6 bis 10, je nach Element, ergeben sich für Ballungsräume (NÜRNBERG et al. 1985).
- An Problemstandorten mit metallurgischer Industrie wie Stolberg/Rhld. treten besonders hohe Depositionswerte für Blei und Cadmium auf. Hier werden die Grenzwerte der TA-Luft für die Gesamtdosition ( $250 \mu\text{g Pb m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $5 \mu\text{g Cd m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) kleinräumig bereits durch den Eintrag über die Naßdeposition überschritten. Im Stolberger Raum deutet sich im zeitlichen Verlauf für beide toxischen Schwermetalle eine Entlastung der Immissionssituation infolge emissionsmindernder Maßnahmen an (DÜRBECK et al. 1989).
- Zu Beginn der 80er Jahre wurde der jährliche Eintrag von Schwermetallen durch die Naßdeposition im Bundesgebiet mit 2450 t Blei, 68 t Cadmium, 590 t Kupfer und 2900 t Zink angegeben (NÜRNBERG et al. 1984). Seit 1984/85 ist eine fallende Tendenz in den Immissionsraten von Blei und weniger ausgeprägt auch von Cadmium zu beobachten (STOEPLER et al. 1990).

### 7.3. Charakterisierung der atmosphärischen Schwermetallbelastung mit standardisierten Federn

Anhand der Schwermetallgehalte standardisierter Federn von Elster und Habicht sollen die Probennahmegebiete bezüglich ihrer Belastung mit luftgetragenen Schwermetallen charakterisiert werden. Zusätzlich zu Federproben von den o.g. Naßdepositionsmeßstandorten kamen Proben aus einigen ausgewählten Regionen hinzu.

Die unterschiedlichen Probennahmestandorte lassen sich einteilen in :

Tab. 7.1: Zuordnung der Probennahmestandorte von Elster - und Habichtfedern. Die Numerierung dient der Identifizierung der Standorte in Abb. 7.2. bis 7.7.

| Elsterfedern                                    | Habichtfedern        |
|-------------------------------------------------|----------------------|
| <u>Ländliche Gebiete:</u>                       |                      |
| Bliesgau/Saar (1)                               | Schönböken./Schl.-H. |
| Deuselbach/Hunsrück (2)                         |                      |
| Schönböken/Schleswig-Holstein (3)               |                      |
| Schönecken/Eifel (4)                            |                      |
| <u>Standorte im Gradienten Jülich-Stolberg:</u> |                      |
| Jülich (5)                                      | Jülich               |
| Inden (6)                                       | Eschweiler           |
| Frenz (7)                                       |                      |
| Lamersdorf (8)                                  |                      |
| <u>Urbane Region:</u>                           |                      |
| Saarbrücken (9)                                 | Saarbrücken          |
| Köln-Wessling (10)                              |                      |
| <u>Industriestandort (Bleihütte):</u>           |                      |
| Stolberg-Büsbach I (11)                         | Stolberg-Gressenich  |
| Stolberg-Hastenrath (12)                        |                      |
| Stolberg-Büsbach II (13)                        |                      |
| Stolberg-Werth (14)                             |                      |
| Stolberg-Bauschenberg (15)                      |                      |

Für den Raum Stolberg ist die Lage der Probennahmestandorte (Elsternester bzw. Habichthorste) zum Emittenten (bleiverhüttender Industriebetrieb) in Abb. 7.1. dargestellt.

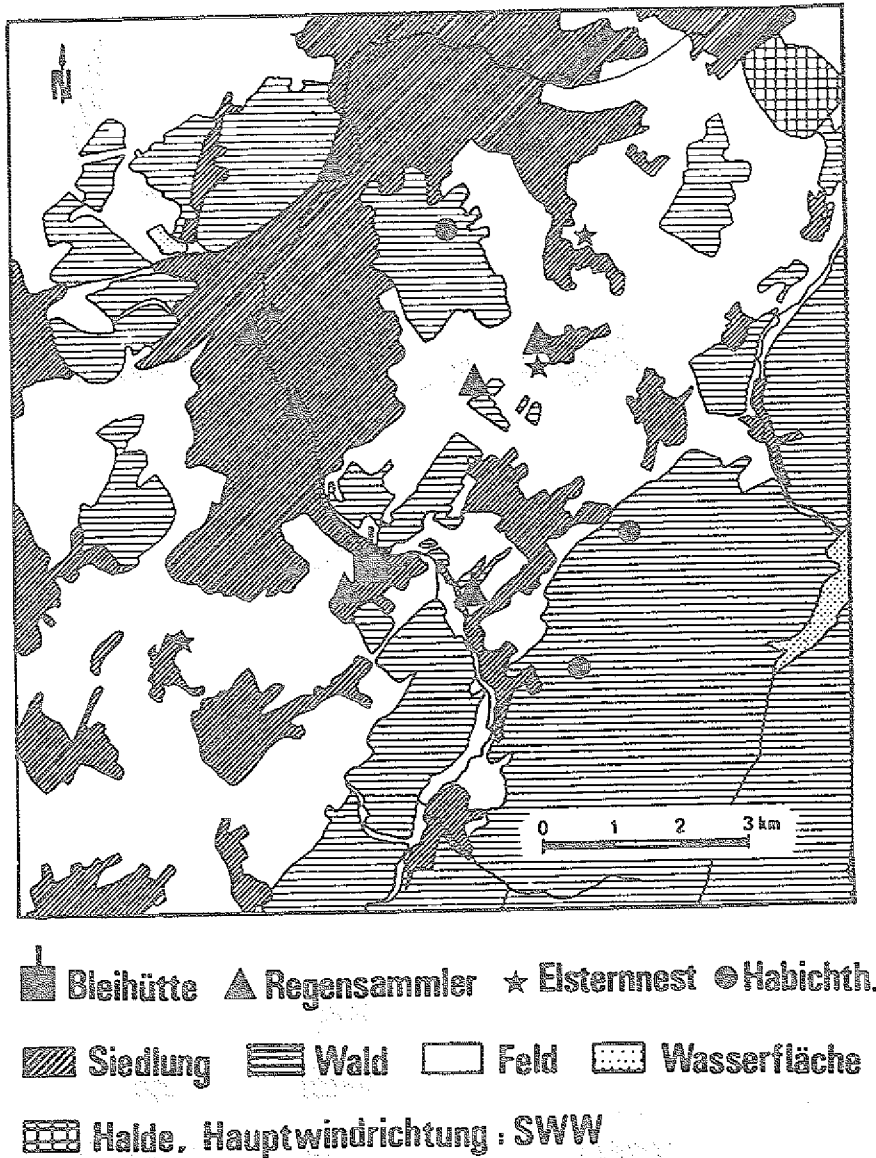


**Abb. 7.1.:** Lage der Probennahmestandorte von Elster- und Habichtmauserfedern im Raum Stolberg/Rhld.

Zur Charakterisierung der Schwermetallbelastung der einzelnen Probennahmegebiete wurden jeweils die Schwermetallgehalte der ein Jahr alten, äußeren Elstersteuerfedern (S-6) bzw. die der ersten drei Habicht-Handschnäbeln aller Individuen eines Standortes gemittelt. In den Abb. 7.2. bis 7.7. sind diese Mittelwerte von Elster- und Habichtfedern für die einzelnen Untersuchungsjahre graphisch dargestellt. Dabei erfolgte eine Anordnung der Standorte von unbelasteten zu belasteten Regionen.

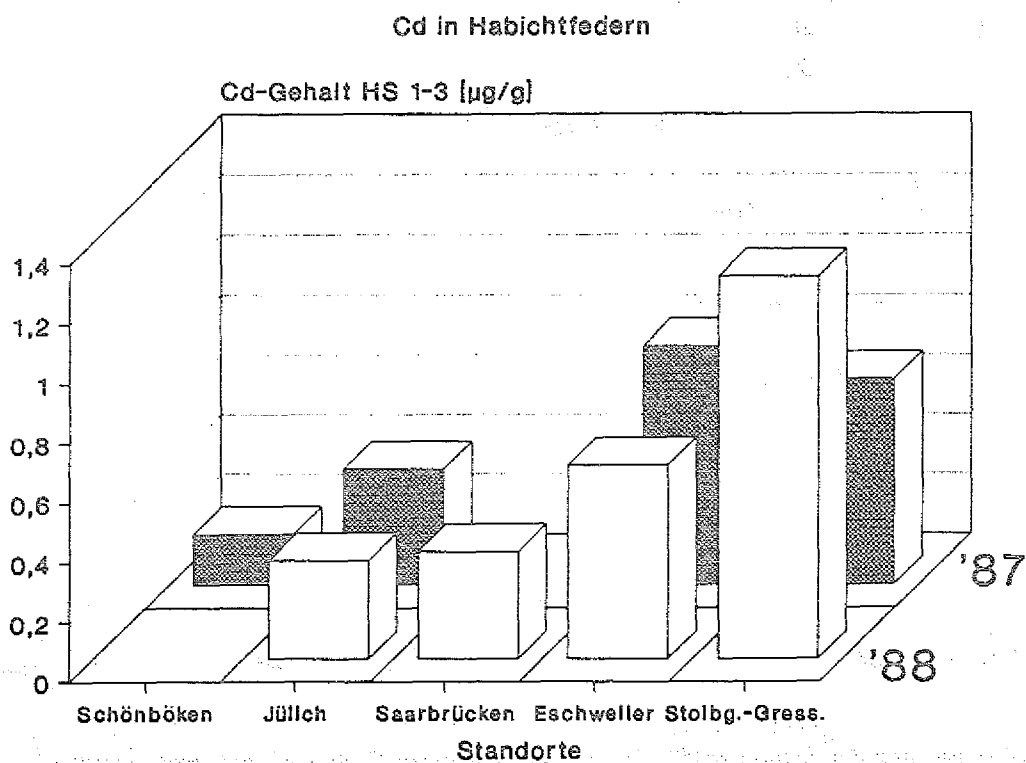
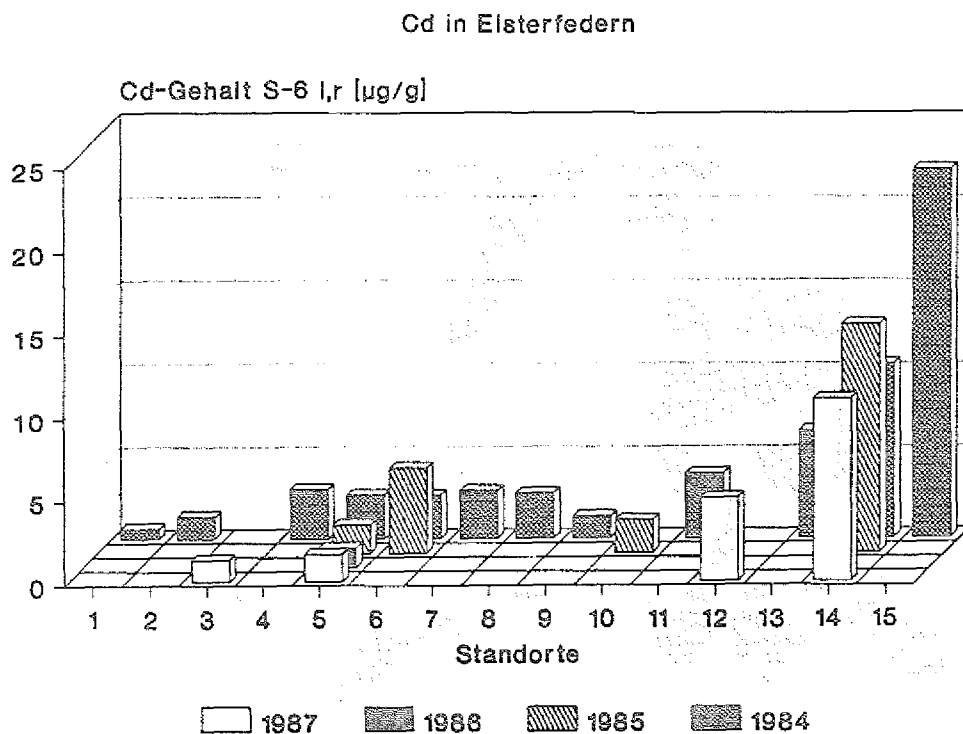


**Abb. 7.2.:** Cadmiumgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

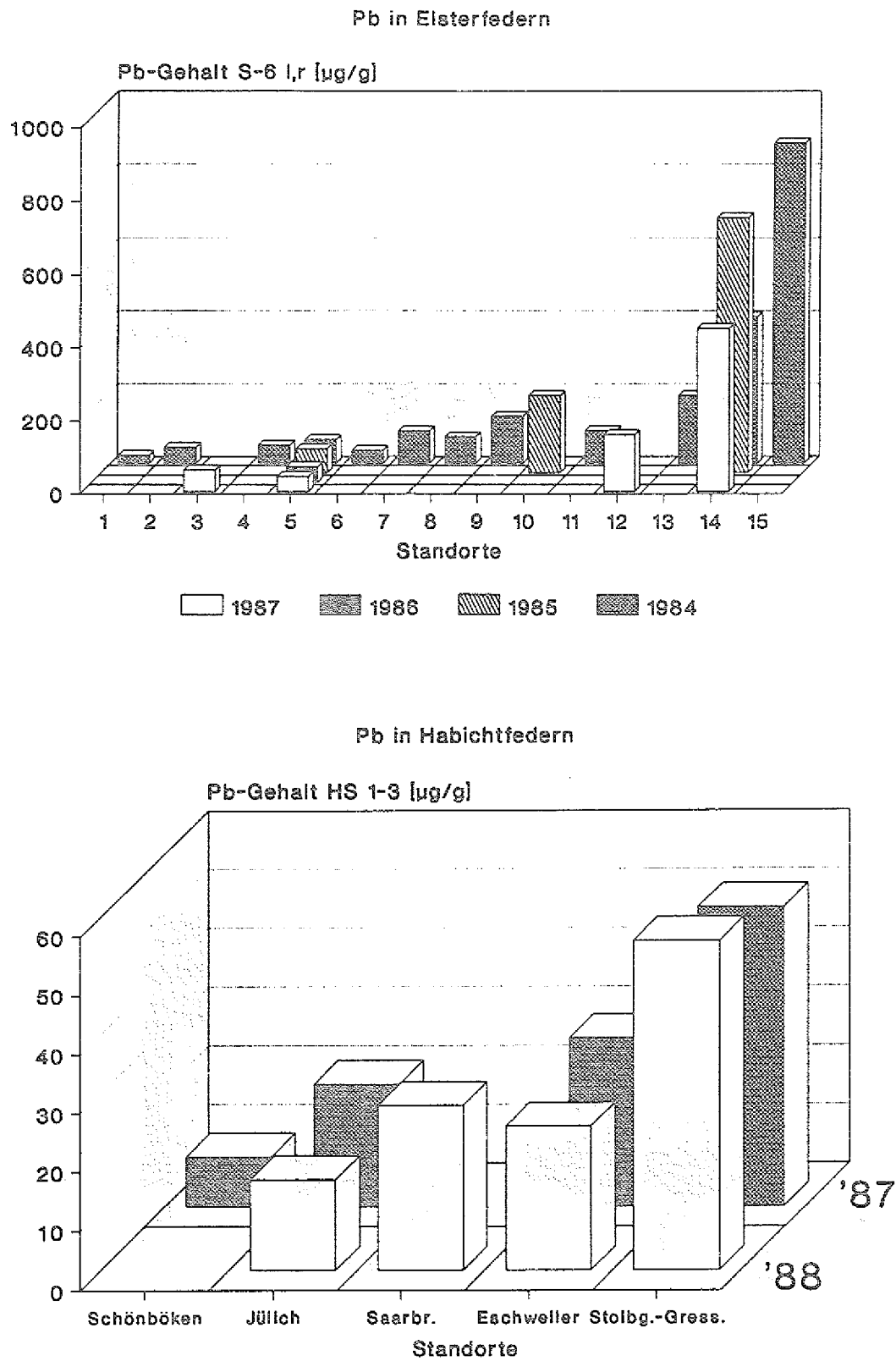


**Abb. 7.3.:** Bleigehalte standardisierter Elster- und Habichtsfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

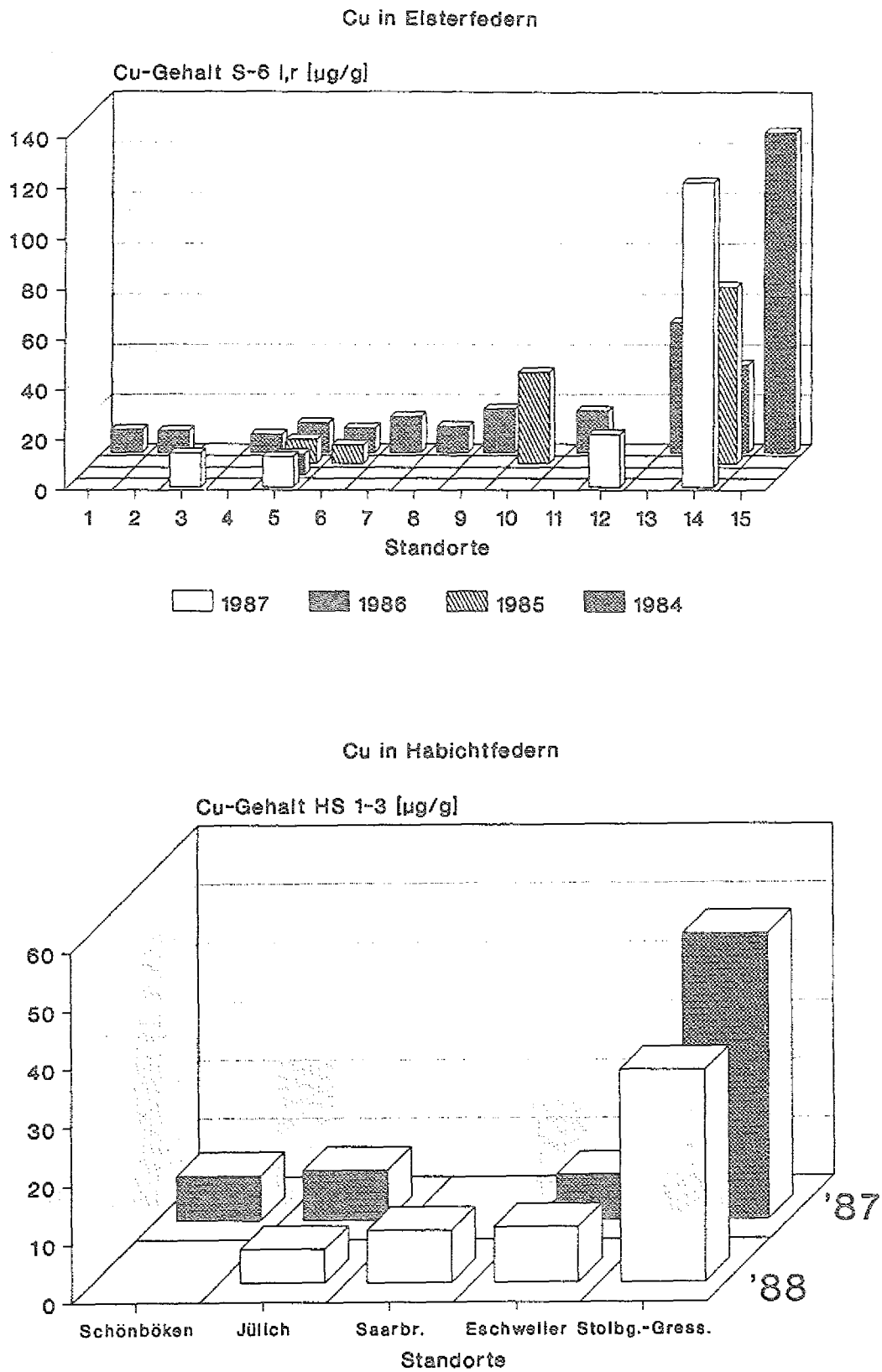


**Abb. 7.4.:** Kupfergehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

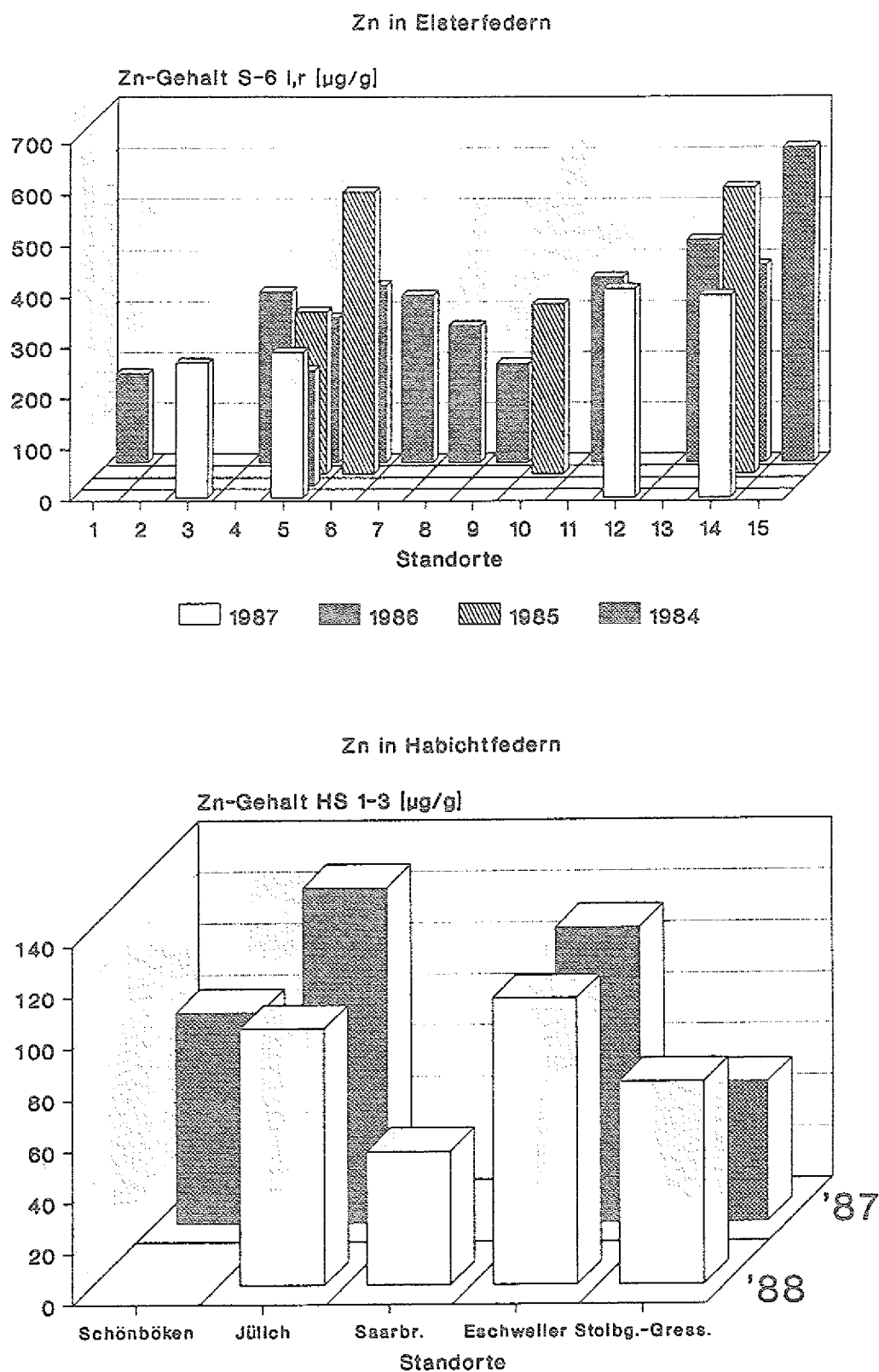


**Abb. 7.5:** Zinkgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

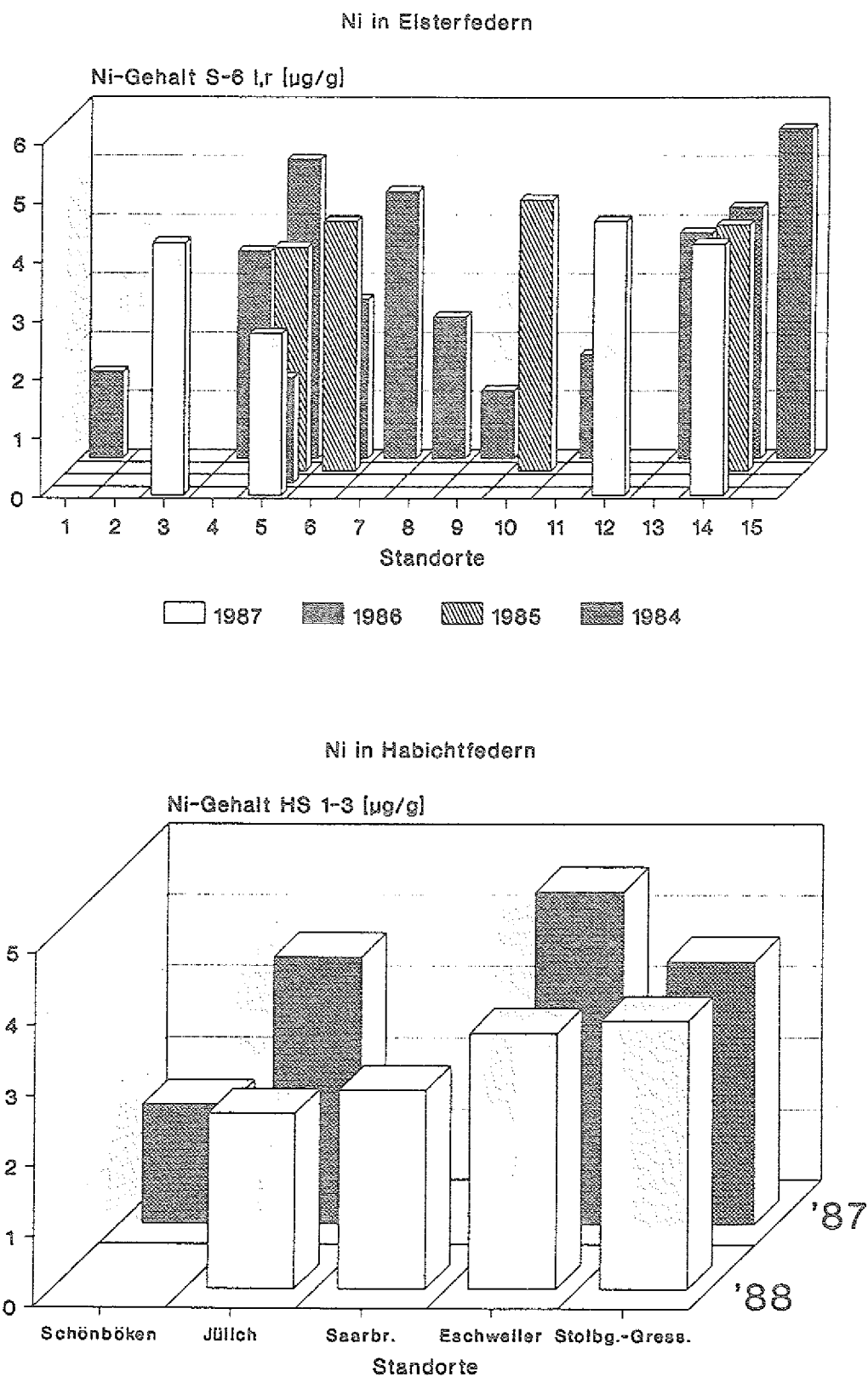


**Abb. 7.6.:** Nickelgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

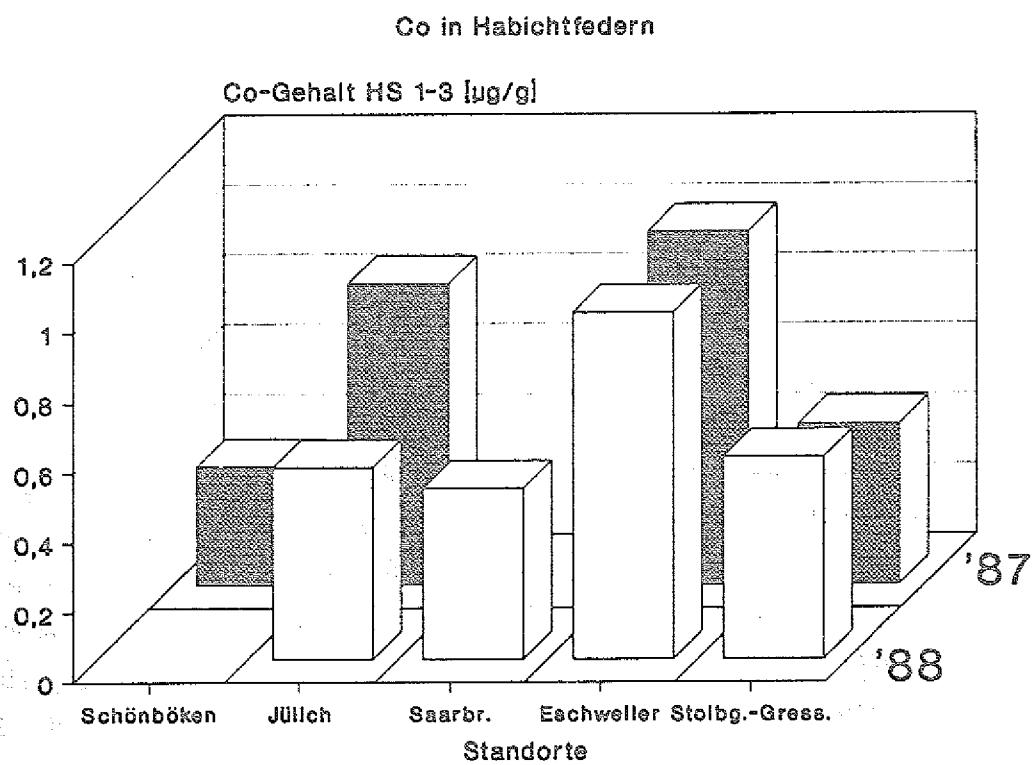
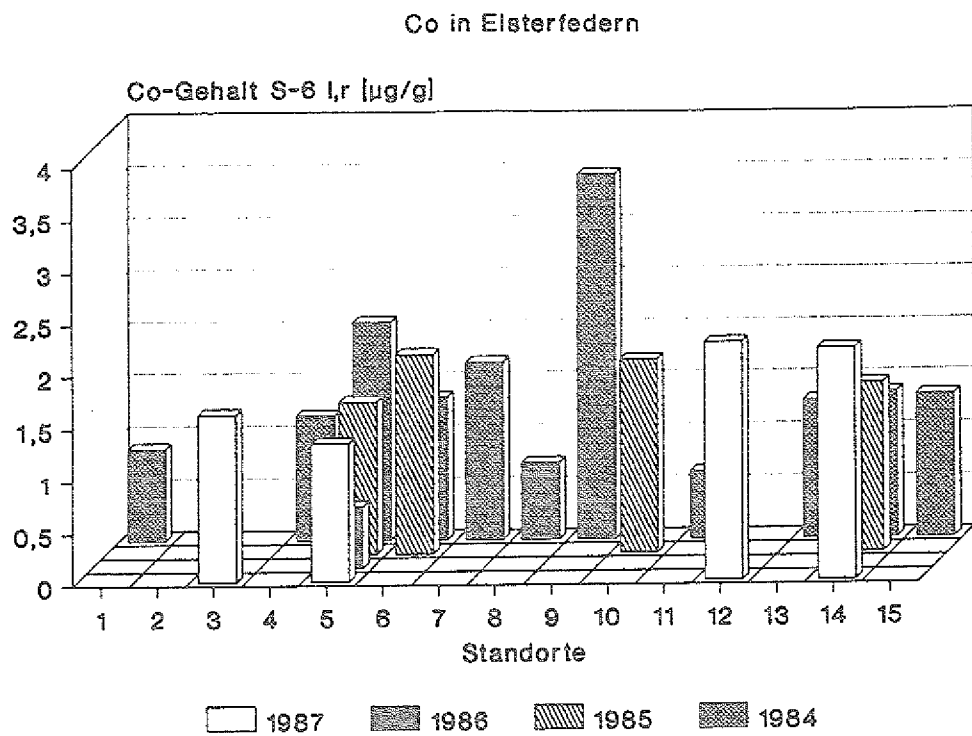


**Abb. 7.7.:** Kobaltgehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern an unterschiedlich belasteten Probennahmestandorten. Zuordnung der Standorte siehe Tab. 7.1.

Für die Cadmium-, Blei- und Kupfergehalte standardisierter Elster- und Habichtfedern läßt sich für beide Arten ein ausgeprägter Gradient von unbelasteten zu belasteten Standorten erkennen. Die Unterschiede in den Gehalten der Federn aus dem Raum Stolberg sind aus der Lage der Probennahmestandorte (Abb. 7.1.) in Abhängigkeit von Entfernung und Hauptwindrichtung (SW) zum Emittenten zu erklären.

Im Gegensatz dazu kann für die Elemente Zink, Nickel und Kobalt weder bei Elster- noch bei Habichtfedern ein ausgeprägter räumlicher Gradient beobachtet werden. Die Ursache für dieses abweichende Verhalten dürfte bei Zink in der Tatsache liegen, daß es als essentielles Element in relativ hohen Konzentrationen endogen in Federn eingelagert ist. Bereits in frisch gewachsenen Elsterfedern findet man Zinkgehalte in Konzentrationen zwischen 100 und 300 mg/kg (vgl. Tab. 10.1.). Wie aus den Naßdepositionsraten ersichtlich wird, existiert für Zink im Gegensatz zu Cadmium, Blei und Kupfer kein so deutlicher räumlicher Gradient. Aufgrund dieser beiden Faktoren kann die exogene Auflagerung nicht so zum Zinkgehalt ein Jahr alter Federn beitragen wie bei Cadmium, Blei und Kupfer.

Für Nickel und Kobalt besteht kein räumlicher Gradient in den Naßdepositionsraten der Untersuchungsgebiete (NARRES 1989). Damit kann sich auch in den Nickel und Kobaltgehalten der Federn kein räumlicher Gradient widerspiegeln.

#### 7.4. Korrelation der Schwermetallgehalte standardisierter Vogelfedern mit auf physikalisch-technischem Wege ermittelten Naßdepositionsraten

Um zu prüfen, ob sich die festgestellten Unterschiede in den Cadmium-, Blei- und Kupfergehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern aus den verschiedenen Untersuchungsgebieten in gleichem Umfang in den Depositionsraten dieser Elemente an den einzelnen Standorten widerspiegeln, wurden sie mit den Naßdepositionsraten gleicher Bezugsräume verglichen.

Zum Vergleich und anschließender Korrelation sollte der Meßbereich möglichst groß sein (vgl. SACHS 1988), d.h. die Bezugsstandorte sollten einen weiten Immissionsbereich mit möglichst gleichmäßig verteilten Meßpunkten umfassen. Dies wird durch die Auswahl der o.g. Standorte für die Elemente Cadmium, Blei, Kupfer und in geringerem Maße auch für Zink erreicht, während sich bei Nickel und Kobalt für die ausgewählten Standorte kein räumlicher Gradient aufzeigen läßt (s.o.). In die Berechnungen gingen die Mittelwerte der standardisierten Federn der einzelnen Individuen eines Standortes ein. Bei den Naßdepositionsraten wurden die Jahresdurchschnittswerte aus den beiden Jahren, in denen die Federn vom Vogel getragen wurden, gemittelt.

Mit dem Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten (SACHS 1984) läßt sich prüfen, ob zwischen den Schwermetallgehalten standardisierter Federn und den an den gleichen Standorten ermittelten

Naßdepositionsraten ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht. Für die Elemente Cadmium, Blei und Kupfer kann ein signifikanter Zusammenhang ( $P < 0,01$ ) zwischen den Naßdepositionsraten (x) und den Gehalten standardisierter Federn (y) von Elster und Habicht (Tab. 7.2.) aufgezeigt werden. Für Zink besteht bei Elsterfedern eine Korrelation auf dem 5%-Niveau, während sich bei Habichtfedern kein Zusammenhang zwischen Zinkgehalten und Zinkdepositionsraten nachweisen läßt.

Tab. 7.2.: Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten ( $r_s$ ) und Korrelationskoeffizienten ( $r_{\log}$ ) für den Zusammenhang zwischen Naßdepositionsraten (X) und Schwermetallgehalten standardisierter Federn (Y).

| Element                                                                      | Elster |                |             | Habicht |                |             |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|
|                                                                              | N      | $r_s$<br>metr. | r<br>log.   | N       | $r_s$<br>metr. | r<br>log.   |
| Cd                                                                           | 38     | 0,58<br>**     | 0,77<br>*** | 19      | 0,75<br>**     | 0,75<br>*** |
| Pb                                                                           | 38     | 0,72<br>**     | 0,83<br>*** | 19      | 0,88<br>**     | 0,91<br>*** |
| Cu                                                                           | 37     | 0,46<br>**     | 0,79<br>*** | 19      | 0,78<br>**     | 0,83<br>*** |
| Zn                                                                           | 37     | 0,34<br>*      | 0,36<br>*   | 19      | 0,09<br>-      | -<br>-      |
| *** $P < 0,001$ ** $P < 0,01$ * $P < 0,05$<br>bei zweiseitiger Fragestellung |        |                |             |         |                |             |

Die logarithmische Transformation der beiden Datensätze ermöglicht eine Linearisierung der Zusammenhänge zwischen den Cadmium-, Blei- und Kupfergehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern und den Naßdepositionsraten der gleichen Standorte. Die anhand der Logarithmen ( $\log_{10}$ ) berechneten Korrelationskoeffizienten  $r_{\log}$  (Tab. 7.2.) bestätigen eine signifikante ( $P < 0,001$ ) positive Korrelation.

Die Beziehungen zwischen den Cadmium-, Blei- und Kupfergehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern und den entsprechenden Naßdepositionsraten lassen sich durch Regressionsgleichungen aus den logarithmierten Daten beschreiben und sind in Abb. 7.8. bis 7.10. graphisch dargestellt. Dabei wurden in den Abbildungen die Schwermetallgehalte der Federn aller Individuen eines Standortes als Mittelwerte dargestellt.

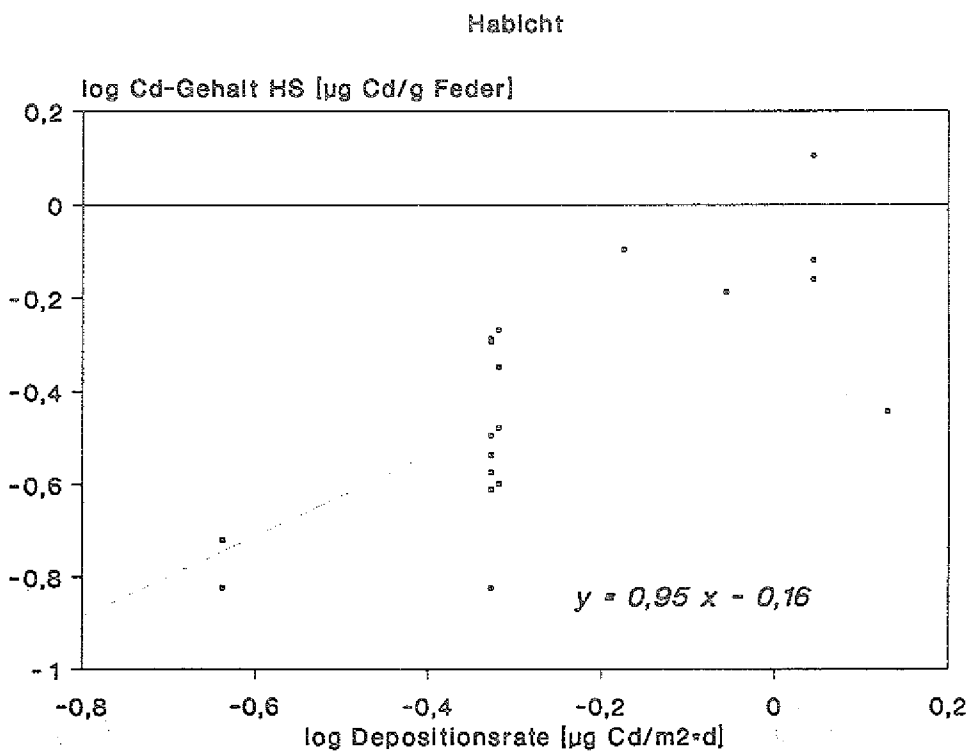
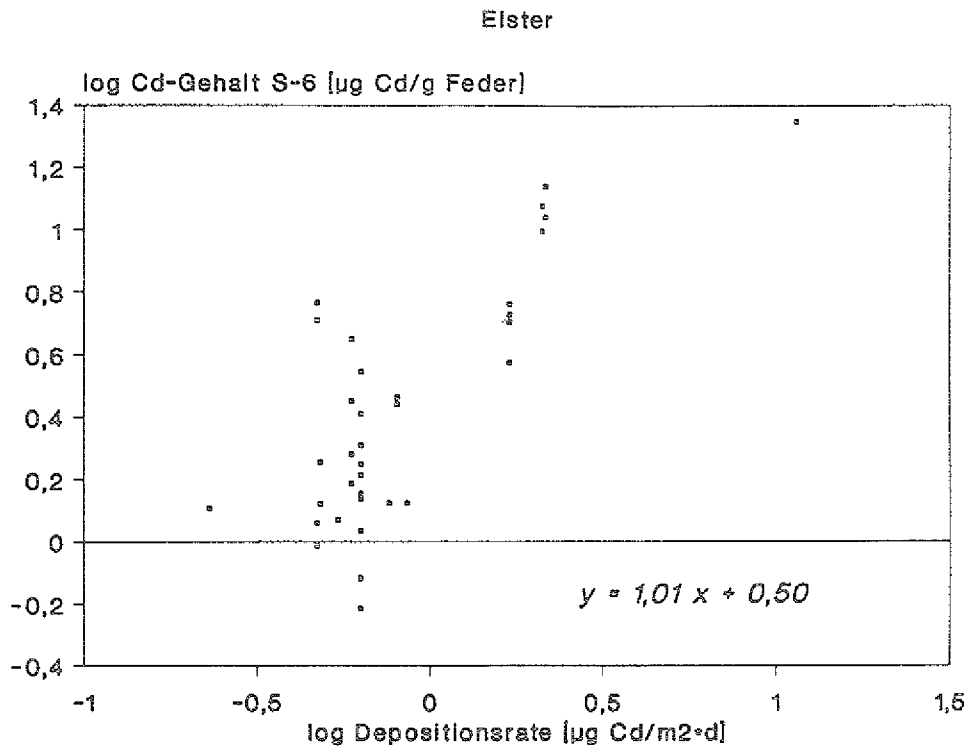
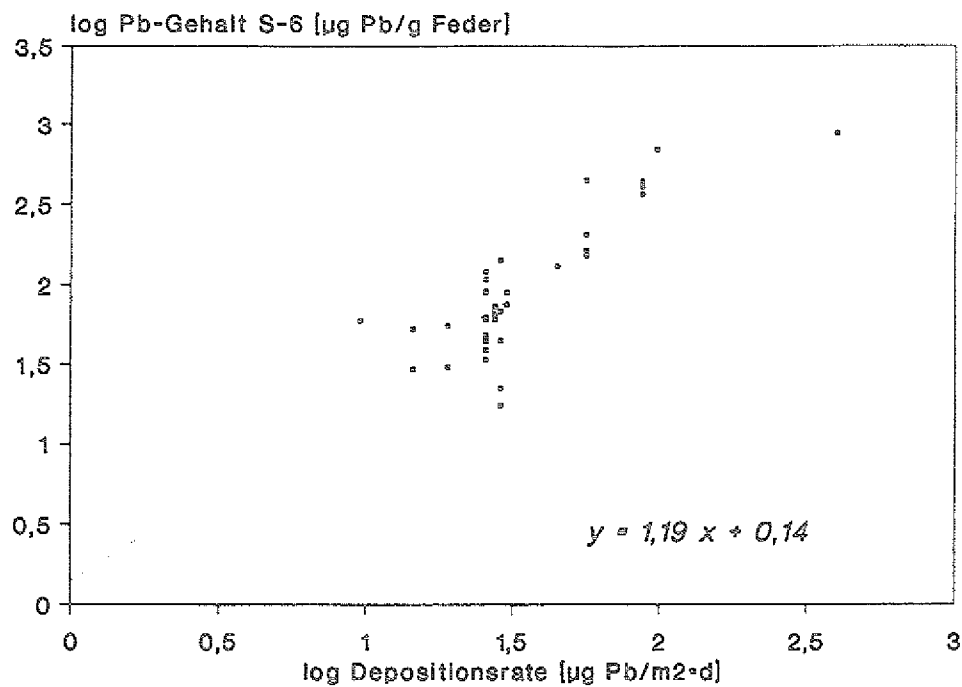


**Abb. 7.8.:** Regressionsgeraden aus den Cadmiumgehalten standardisierter Elstersteuerfedern (oben) bzw. Habichthandschwingen (unten) und Raten der Cd-Naßdeposition. Datensätze aus den Jahren 1984, 85 und 87 (Elster) bzw. 1987, 88 (Habicht).

## Elster



## Habicht

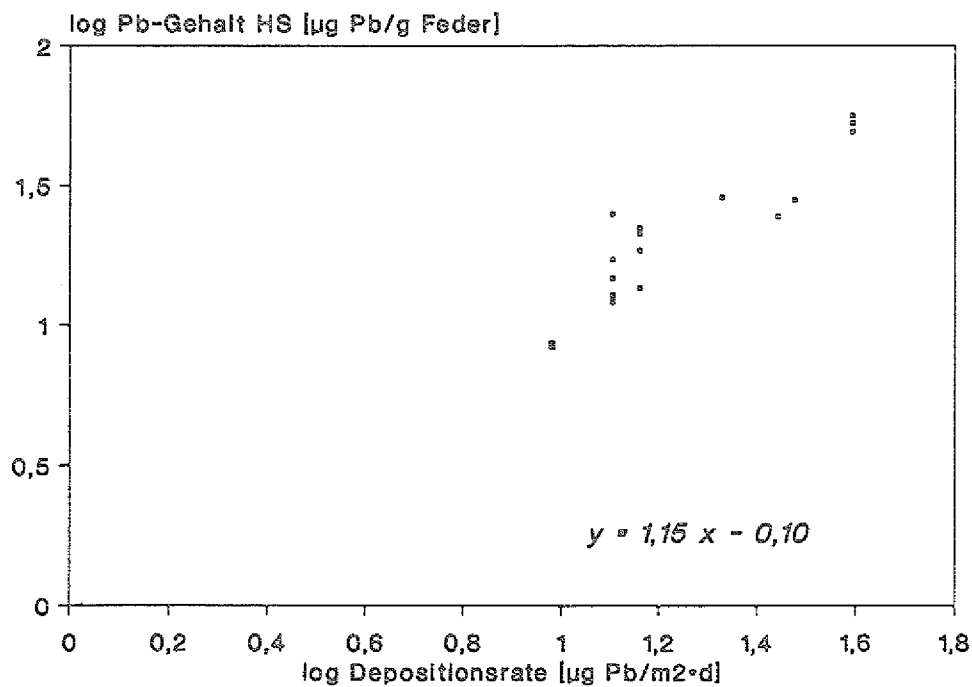


**Abb. 7.9.:** Regressionsgeraden aus den Bleigehalten standardisierter Elstersteuerfedern (oben) bzw. Habichthandschwingen (unten) und Raten der Pb-Naßdeposition. Datensätze aus den Jahren 1984, 85 und 87 (Elster) bzw. 1987, 88 (Habicht).

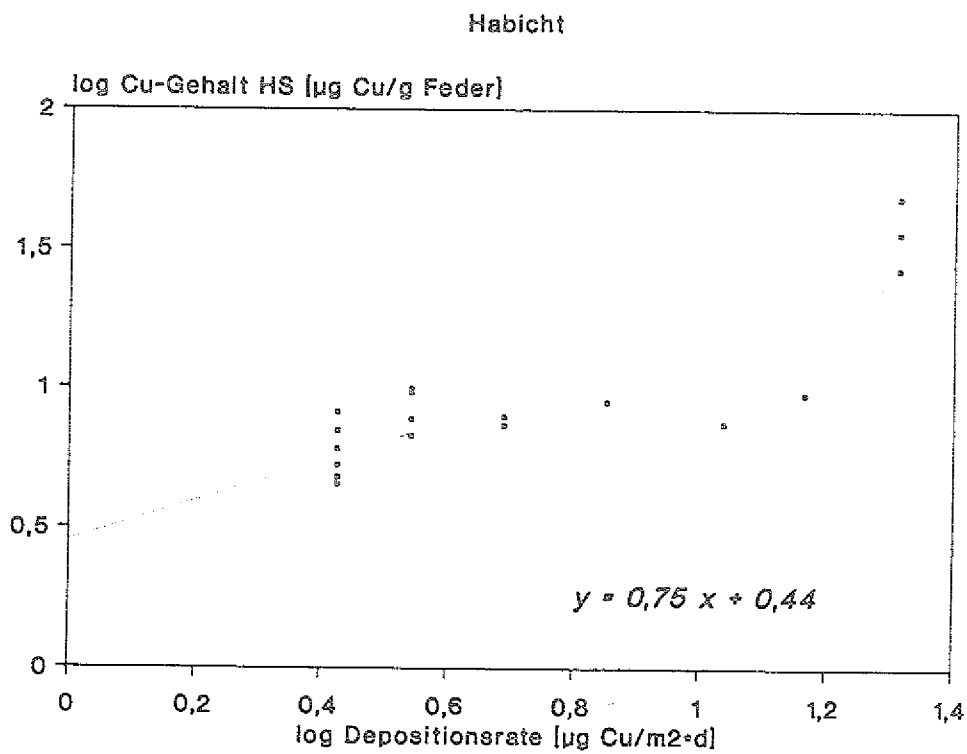
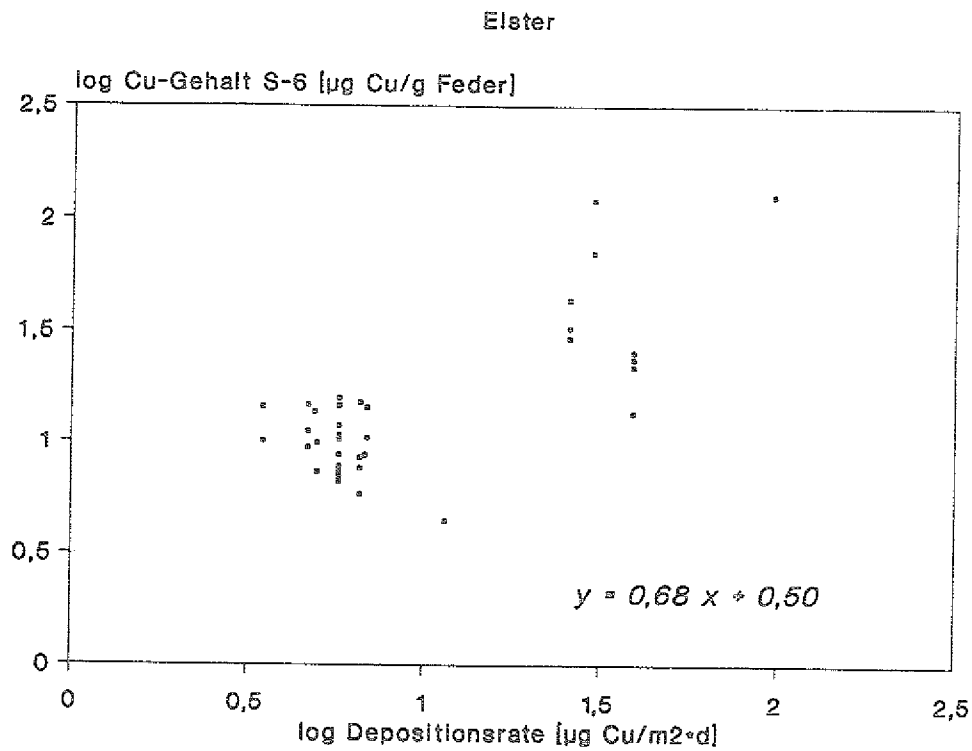


Abb. 7.10.: Regressionsgeraden aus den Kupfergehalten standardisierter Elstersteuerfedern (oben) bzw. Habichthandschwingen (unten) und Raten der Cu-Naßdeposition. Datensätze aus den Jahren 1984, 85 und 87 (Elster) bzw. 1987, 88 (Habicht).

### 7.5. Zusammenfassende Diskussion und Bewertung

Bereits ELLENBERG & DIETRICH (1984) berechneten signifikante Korrelationen zwischen Blei- und Cadmiumgehalten standardisierter Habichtfedern und Naßdepositionsraten. Ziel ihrer Untersuchungen war, mit Hilfe von Habicht-Mauserfedern als hochintegrierenden Umweltproben die Schadstoffbelastung von Landschaftsausschnitten zu erfassen. Dabei gingen sie davon aus, daß die Schadstoffgehalte in Federn die Gesamtbelastung des Individuums zum Zeitpunkt des Federwachstums (endogen) konservieren und daß Habichte als Endglieder von Nahrungsketten für Schadstoffbelastungen besonders exponiert sind. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen die von ELLENBERG & DIETRICH gefundenen Korrelationen für die Elemente Cadmium und Blei in Habicht-Mauserfedern, belegen aber eindeutig, daß diese Korrelationen auf exogenen Auflagerungen atmosphärischer Schwermetallbelastungen auf die Federn beruhen. Korrelationen lassen sich nur für die Elemente Cadmium, Blei und Kupfer berechnen, nicht dagegen für Zink, Nickel und Kobalt, die einerseits essentiell, zum anderen in weitaus geringeren Konzentrationen in der Atmosphäre vorkommen und keine ausgeprägten Immissionsgradienten in den Untersuchungsgebieten zeigen. Ein direkter Vergleich der o.g. Regressionsgleichungen mit den von ELLENBERG & DIETRICH veröffentlichten Gleichungen ist nicht möglich, da in ihren Untersuchungen nur Teilproben der Federn analysiert und abweichende Waschverfahren benutzt wurden.

Die signifikanten Korrelationen zwischen den Cadmium-, Blei- und Kupfergehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern und den Naßdepositionsraten gleicher Bezugsstandorte belegen die hervorragende Eignung von ausgewählten Vogelfedern als Bioindikatoren zur Erfassung der atmosphärischen Schwermetallbelastung. Beim Bezug auf Raten der trockenen Deposition müßten noch höhere Korrelationen erzielt werden (vgl. 7.2.).

Bei dem dargestellten Zusammenhang zwischen Metallgehalten der Federn und den Depositionsraten handelt es sich um eine Abhängigkeit bei der folgende Faktoren eine Streuung der Punkte bzw. ihre Abweichungen von der Regressionsgeraden verursachen:

- die mit Regensammlern ermittelten Naßdepositionsraten geben punktuelle Schwermetalleinträge an, während Vogelfedern, nach den vorliegenden Ergebnissen, luftgetragene schwermetallhaltige Partikel über den (Aktions-) Raum der untersuchten Individuen integrierend sammeln,
- die Tatsache, daß pro Standort Federn mehrerer Individuen gezogen wurden und deren Aktionsräume in unterschiedlichen Entfernungen (bzw. Richtungen) zum Regensammler lagen;
- die biologische Schwankungsbreite der Meßgröße Vogelfeder, verursacht durch individuelle Unterschiede in der Raum-Zeit-Nutzung ihres Aktionsraumes.

Die biologische Schwankungsbreite, d.h. Unterschiede in den Schwermetallgehalten standardisierter Federn verschiedener Individuen aufgrund individueller Raum-Zeit-Nutzung ist innerhalb einer Art (intraspezifisch) vernachlässigbar, da diese Schwankungsbreite die räumlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Belastungsgebieten nicht übersteigt. Dagegen machen sich die unterschiedlichen Raum-Zeit-Nutzungen verschiedener Arten (interspezifisch) deutlich bemerkbar, wie der Vergleich von Schwermetallgehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern zeigt. Standardisierte Elsterfedern weisen an allen Standorten deutlich höhere Cadmium-, Blei- und Kupfergehalte als Habichtfedern auf (vgl. auch ELLENBERG & KÜHNAST 1988). Diese Unterschiede lassen sich nicht dadurch erklären, daß Steuerfedern (Elster) mit Handschwingen (Habicht) verglichen werden. Höhere Cadmium-, Blei- und Kupfergehalte in Elsterfedern sind nach den hier vorgestellten Ergebnissen wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß Elstern bei Nahrungssuche und Territorialität ganzjährig eine hohe lokomotorische Aktivität zeigen und sich damit stark in der Umwelt exponieren. Habichte sind dagegen weit weniger flugaktiv. Nach erfolgreicher Predation folgen lange Phasen ohne lokomotorische Aktivität (BRÜLL 1984). Territorien werden nur während der Fortpflanzungsperiode durch Signalflüge angezeigt (LINK 1986).

Die errechneten Regressionsgeraden können als Eichgeraden benutzt werden, um aus den Cadmium-, Blei- und Kupfergehalten standardisierter Elster- und Habichtfedern von Standorten, an denen keine Naßdepositionsmeßsysteme installiert sind, Naßdepositionsraten abzuschätzen. Dabei sind die Eichgeraden nur auf Gebiete mit ähnlichen klimatischen Parametern anwendbar, in denen die Naßdeposition den Haupteintragspfad für die genannten Elemente darstellt. Es lassen sich also mit Hilfe von Federn ausgewählter Vogelarten Schwermetalleinträge in Landschaften großflächig ohne aufwendige technische Meßsysteme erfassen.

Darüber hinaus integrieren die Federn retrospektiv Belastungen über ein Jahr bzw. den Zeitraum ihrer "Verwendungsdauer". Im Vergleich zum Aufwand für Installation und Betrieb von physikalisch-technischen Meßnetzen zur Erfassung der luftgetragenen Schwermetallbelastung ist der Aufwand bei Bioindikationsverfahren mit Federn als relativ gering anzusehen, so daß sich mit dieser Methode kostengünstig großflächige Monitoringprogramme durchführen lassen.

## 8. Zusammenfassung

Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, eine Methode zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten mit Hilfe von Federn ausgewählter Vogelarten zu entwickeln und in der Praxis zu erproben, werden nachfolgend die Ergebnisse dargestellt.

### Auswahl geeigneter Bioindikatoren, Probennahme von Federn und Standardisierung

Die für einen Bioindikator geforderten Eigenschaften wie Standorttreue, flächendeckendes und häufiges Vorkommen, Integration von Schadstoffen über repräsentative Zeit- und Bezugsräume und ausreichende Schadstofftoleranz erfüllen Elster (*Pica pica*) und Habicht (*Accipiter gentilis*) in hohem Maße. Kenntnisse zur Biologie der beiden Arten mit Blick auf die ausgewählten Federproben sowie die Erfüllung weiterer Kriterien führten zur Bearbeitung des über Bezugsräume in der Größenordnung mehrerer km<sup>2</sup> aktiven Beutegreifers Habicht und der im Vergleich dazu kleinräumig organisierten, menschnah lebenden Elster.

Schwermetalle lassen sich in Federn sicher bestimmen. Die Probennahme von Federn ist bei den beiden Arten durch erprobte Fang- bzw. Sammelmethoden unter vertretbarem Aufwand möglich und empfiehlt sich darüber hinaus unter Natur- und Tierschutzaspekten aufgrund der minimalen Beeinträchtigungen der untersuchten Individuen.

Eine Standardisierung der Federproben nach Alter und Position im Gefieder ist Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten.

### Analytische Methoden

Die Bestimmung der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Nickel und Kobalt erfolgt mit der Voltammetrie nach vorherigem Naßaufschluß der Federproben mit Salpetersäure. Blei- und Cadmiumgehalte in Mikroproben der Federfahnen wurden mit ZEEMAN SS-GFAAS bestimmt.

### Federn als Akkumulationsindikatoren für luftgetragene Blei-, Cadmium- und Kupferbelastungen

Die Ergebnisse der Analyse von Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Nickel und Kobalt in den standardisierten Federproben von Elster und Habicht sowie ausgewählten Federn weiterer Vogelarten zeigen, daß:

- die Gehalte der sechs untersuchten Elemente vom Alter der Feder abhängig sind; die bei frisch gewachsenen Federn noch geringen Schwermetallgehalte steigen mit der Zeit stetig an, ein Jahr alte Federn haben in Abhängigkeit von der Belastungssituation des Untersuchungsgebietes bis zu maximal 40fach höhere Bleigehalte als frisch gewachsene Federn vom selben Individuum;
- charakteristische Verteilungsmuster von Blei und Cadmium über die Fahnen von unvermauserten Schwungfedern existieren: ein Anstieg der Gehalte von der Federbasis zur Spitze und von den kielnahen Bereichen zu den Außenrändern der Fahnen, unabhängig von Vogelart und Federposition;
- analog zu diesen Verteilungsmustern in Einzelfedern auch in den Gefiederpartien wie Stoß und Schwinge exponiertere Federn höhere Blei-, Cadmium und Kupfergehalte aufweisen als vergleichsweise geschützte Federn;
- die untersuchten Schwermetalle überwiegend an Federfahnen gebunden sind;
- durch Waschen mit Wasser, Aceton und Detergenzien Schwermetallanteile in der Größenordnung von nur 10% von den Federn entfernt werden können;
- frei exponierte Federn, die allein atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind, eine von der Expositionszeit und Belastungssituation (Deposition) abhängige Schwermetallakkumulation zeigen.

Aus diesen Ergebnissen folgt, daß die endogenen, d.h. während des Federwachstums eingelagerten Schwermetalle durch von außen auf die Federn deponierten Metallfrachten um ein Vielfaches überlagert werden. Dabei sind die Gehalte der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Schwermetalle in Federn abhängig von:

- dem Alter der Federn, d.h. der Zeit, über die die Federn atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind;
- dem Anteil der Feder (Federfläche) und der Intensität mit der sie diesen Einwirkungen exponiert sind;
- der lokalen Schwermetallbelastung des Untersuchungsraumes.

Die Feinstruktur von Federn, sowie Partikelgrößen, an die Schwermetalle, im besonderen Blei und Cadmium in den Aerosolen gebunden sind und die Strömungsgeschwindigkeiten an den Gefiederpartien Flügel und Stoß ermöglichen eine Impaktion (Abscheidung) partikelgetragener Schwermetalle in Federn und bieten so ein Erklärungsmodell für die dargestellten Verteilungsmuster von Schwermetallen in Vogelfedern.

Zwischen den einzelnen untersuchten Elementen bestehen Unterschiede, die sich aus ihrer physiologischen Bedeutung und ihrer Verteilung in der Atmosphäre erklären lassen. Am deutlichsten zeigen sich die exogenen Schwermetalleinträge in die Federn bei den Elementen Blei, Cadmium und Kupfer, die aus anthropogenen Quellen in relevanten Mengen in die Atmosphäre emittiert werden. Nickel und Kobalt werden in weitaus geringeren Konzentrationen in die Atmosphäre freigesetzt und lassen sich daher auch in Federn in geringerem Umfang wiederfinden. Zink wird als essentielles Element bei der Federbildung

endogen in Konzentrationen von 100-200 mg/kg in die Federn eingelagert. Die Zinkgehalte in Federn werden nur in Regionen mit hoher Zinkdeposition durch atmosphärischen Eintrag überlagert.

Die dargestellten Ergebnisse unterstreichen, daß die Interpretation und Bewertung von Schwermetallgehalten in Federn nur nach einer differenzierten Betrachtung der einzelnen Elemente möglich ist. Die physiologische Bedeutung, die chemische Erscheinungsform (Speciation) und die Konzentration, in denen sie in der Umwelt vorkommen, muß für jedes Element einzeln berücksichtigt werden.

#### Abschätzung der atmosphärischen Schwermetallbelastung mit Federn ausgewählter Vogelarten

Für die Schwermetalle Blei, Cadmium und Kupfer lassen sich signifikante Korrelationen mit im gleichen Untersuchungsgebiet gemessenen Naßdepositionsraten dieser Elemente aufzeigen. Die dabei errechneten Regressionsgeraden ermöglichen eine Abschätzung von Naßdepositionsraten aufgrund der in Federn gemessenen Schwermetallgehalte. Nach Alter und Position im Gefieder standardisierte Federn ausgewählter Vogelarten lassen sich also als Bioindikatoren zur Erfassung der atmosphärischen Schwermetallbelastung einsetzen. Sie integrieren Belastungen retrospektiv über ihre Funktionszeit am Vogel.

## 9. Literatur

- ADRIANO, D.C. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York: 522pp.
- ARNDT, U., W. NOBEL & B. SCHWEIZER (1987): Bioindikatoren - Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 388 S.
- BÄHRMANN, U. (1968): Die Elster. NBB. A. Ziemsen Verlag Wittenberg Lutherstadt.
- BAEYENS, G. (1981a): Magpie breeding success and Carrion Crow interference. *Ardea* 69: 125-139.
- BAEYENS, G. (1981b): The role of sexes in territory defence in the Magpie (*Pica pica*). *Ardea* 69: 69-82.
- BAUMGART, B. (1982): Inversvoltammetrische Bestimmung von Elementspuren in organischer Matrix - Untersuchungen am Beispiel der Schwermetallkontamination von Kohlmeisenfedern. Diplomarbeit, Univ. Bochum, 113 S.
- BECKER, P., H. BUB & W. HANSEN (1985): Eine Terminologie der Abnutzungsgrade an Vogelfedern. In: Kennzeichen und Mauser europäischer Singvögel. H.Bub (Hrsg.) NBB, A.Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt: 96-104.
- BERTHOLD, P. (1965): Über nicht durch Pigment bedingte Rostfärbung bei Vögeln. *Naturwiss.* 52: 400-401.
- BEZZEL, E. (1977): Ornithologie. Ulmer Stuttgart S. 303.
- BICK, H. (1982): Bioindikatoren und Umweltschutz. In: Bioindikatoren. Ergebnisse des Symposiums "Tiere als Indikatoren für Umweltbelastungen" 8.-12.März 1981, Köln, Bick, H. u. D. Neumann (Hrsg.), Decheniana-Beih. 26:2-5.
- BIRKHEAD, T.R. (1979): Mate guarding in the Magpie (*Pica pica*). *Animal Behaviour* 27: 866-874.
- BOCK, R. (1972): Aufschlußmethoden der anorganischen und organischen Chemie. Verlag Chemie, Weinheim.
- BOND, A.M. (1980): Polarographic methods in analytical chemistry. Verlag M. Dekker, New York, Basel.
- BORTOLOTTI, G.R. & J.C. BARLOW (1985): Neutron activation analysis of bald eagle feathers: analytical precision and sources of sampling variation. *Can. J. Zool.* 63: 2702-2718.
- BREITSCHWERDT, G. (1984): Die Kohlmeise als Biomonitor für die Schwermetallbelastung der Umwelt. Diplomarbeit, J.-W. Goethe Univ. Frankfurt.
- BROWN, R.H.J. (1963): The flight of birds. *Biol.Rev.* 38: 460-489.
- BROWN, R., J. FERGUSON, M. LAWRENCE & D. LEES (1987): Tracks and signs of the birds of Britain and Europe. An identification guide. Christopher Helm (Publ.), London: 232.S.
- BRÜLL, H. (1984): Das Leben europäischer Greifvögel. 4. Aufl. G. Fischer Verlag: 119 S.
- BRUSH, A.H. (1978): Feather keratins. In: Chemical Zoology, Vol.10, Aves, M.Florkin & B.T. Scheer (ed.), Academic Press, New York: 117-139.
- BUB, H. (1984): Vogelfang und Vogelberingung. Teil II: Fang mit großen Reusen, Fangkäfigen, Stellnetzen und Decknetzen. NBB A.Ziemsen Verlag Wittenberg Lutherstadt. 4. Aufl.: 182 S.

- BUB, H. (1985): Kennzeichen und Mauser europäischer Singvögel. Allgemeiner Teil. NBB, A. Ziemsen Verlag Wittenberg Lutherstadt, 211 S.
- BURTON, R. (1985): Das Leben der Vögel. Franckh'sche Verlagshandl. Stuttgart: 224 S.
- BUSSE, P. (1984): Key to sexing and aging of european passerines. Beitr. Naturkd. Niedersachsens, Bd. 57.
- CREUTZ, G. (1967): Badende Vögel. Der Falke 14: 2-7.
- DANNECKER, W., K. NAUMANN & J. BERGMANN (1982): Untersuchungen zur Korngrößenverteilung von Schwebstäuben sowie des Eluationsverhaltens darin enthaltener umweltrelevanter Elemente. Staub Reinh. Luft 42: 176-182.
- DECKERT, G. (1980): Siedlung, Dichte und Nahrungssuche bei Elster (*Pica pica*) und Nebelkrähe (*Corvus corone cornix*). Beitr.z. Vogelk. 26: 305-334.
- DIETRICH, J. (1982): Zur Ökologie des Habichts (*Accipiter gentilis*) im Stadtverband Saarbrücken. Diplomarbeit, Univ. d. Saarlandes 175.
- DIETRICH, J. & H. ELLENBERG (1986): Habicht-Mauserfedern als hochintegrierende, standardisierte Umweltproben. Verh. Ges. Ökol. Bd. 14: 413-426.
- DMOWSKI, K. & M. A. KAROLEWSKI (1979): Cumulation of zinc, cadmium and lead in invertebrates and in some vertebrates according to the degree of an area contamination. Ekol. pol. 27: 33-349.
- DOI, R. & Y. FUKUYAMA (1983): Metal content in feathers of wild and zoo-kept birds from Hokkaido, 1976-78. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 31: 1-8.
- DREIFKE, R. (1990): Ursachen für Verteilung und Häufigkeit von Elstern (*Pica pica*). Eine Untersuchung auf zwei Probeflächen in Schleswig-Holstein. Diplomarbeit, Forstl. Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen: 137 S.
- DRESCHER-KADEN, U., J. BRÜGGEMANN & F.P. MÜLLER (1979): Möglichkeiten und Probleme des Einsatzes freilebender Tierspezies als Indikatoren für die Rückstandsbelastung mit Umweltchemikalien. Ber. ANL 3: 64-72.
- DÜRBECK, H.W., M. FRONING, E. HAHN, K. HAHN, P. KRUMPEN, H.D. NARRES, V.D. NGUYEN, H.W. NÜRNBERG, P. OSTAPCZUK, H. PRAST, H.W. SALGERT & P. VALENTA (1989): Monitoringverfahren zur Bestimmung der Deposition von starken Säuren und Schwermetallen mit Niederschlägen in der Bundesrepublik Deutschland. Vortrag: Tagung der Arbeitsgemeinschaft d. Großforschungseinrichtungen, AGF, 7.-9. Dez. 1989, Bonn.
- EDWARDS, W.R. & K.E. SMITH (1984): Exploratory experiments on the stability of mineral profiles of feathers. J. Wildl. Manag. 48(3): 853-866.
- ELLENBERG, H. (1980): Über Bioindikatoren und Bioindikation. Nationalpark 29: 10-16.
- ELLENBERG, H. (1981): Großtiere in urbanen Ökosystemen - ein Projekt. Verh. Ges. Ökol. Berlin 1980, Bd. IX: 291-295.
- ELLENBERG, H. & J. DIETRICH (1984): Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten mit Hilfe von Habicht-Mauserfedern als hochintegrierende Biomonitoren. Abschlußbericht KFA-Jülich. 55 S.
- ELLENBERG, H., J. DIETRICH, F. GAST, E. HAHN & R. MAY (1985): Vögel als Biomonitoren für die Schadstoffbelastung von Landschaftsausschnitten - ein Überblick. Zeitschr. Jagdwiss. 31/1: 22-33.

- ELLENBERG, H., J. DIETRICH, M. STOEPLER & H.W. NÜRNBERG (1986): Habicht-Mauserfedern als hochintegrierende Biomonitore für die Schadstoffbelastung von Landschaftsausschnitten. *Allg. Forstz.* 1/2: 23-25.
- ELLENBERG, H. & O. KÜHNAST (1988): Biomonitoring als Ansatz zur flächendeckenden Schadstoff-erfassung: Schwermetalle von Federproben der standorttreuen Vogelarten Elster (*Pica pica*) und Habicht (*Accipiter gentilis*) im Immissionsgradienten Hamburg-Ost. In: Das Forschungsprogramm Waldschäden am Standort "Postturm", Forstamt Farchau/ Ratzeburg. J. Bauch & W. Michaelis (Hrsg.), GKSS Forschungszentrum Geesthacht: 81-98.
- ERPINO, M.J. (1968): Age determination in the black-billed Magpie. *Condor* 70: 91-92.
- EVANS, P.R., J.D. UTTLEY, N.C. DAVIDSON & P. WARD (1987): Shorebirds (S. Os *Charadrii* and *Scolopaci*) as agents of heavy metals within and between estuarine ecosystems. In: Pollutant transport and fate in ecosystems. P.J. Coughtrey, M.H. Martin & M.H. Unsworth (Eds.). Blackwell Sci. Publ.: 337-352.
- FISCHER, W. (1983): Habichte. 2.Aufl. NBB. A.Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt: 188 S.
- 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. Univers. d. Saarlandes, Saarbrücken: 207 S.
- GEORGI, H.-W. & J. PANKRATH (eds.) (1982): Deposition of Atmospheric pollutants. Reidel Publishing Company: 217 S.
- GEORGI, H.-W., C. PERSEKE & E. ROHBOCK (1982): Feststellung der Deposition von sauren und langzeitwirksamen Luftverunreinigungen aus Belastungsgebieten. Abschlußbericht. Umweltbundesamt, Berlin: 205 S.
- GOEDE, A.A. (1985): Mercury, selenium, arsenic and zinc in waders from the Dutch Wadden Sea. *Environ. Pollut. (Series A)* 37: 287-309.
- GOEDE, A.A. & M. DE BRUIN (1984): The use of bird feather parts as a monitor for metal pollution. *Environ. Pollut. (Series B)* 8: 281-298.
- GOEDE, A.A. & P. de VOOGT (1985): Lead and cadmium in waders from the Dutch Wadden Sea. *Environ. Pollut. (Series A)* 37: 311-322.
- GOEDE, A.A. & M. DE BRUIN (1986) The use of bird feathers for indicating heavy metal pollution. *Environ. Monitoring and assessment* 7: 249-256.
- GRAVENHORST, G., C. PERSEKE & E. ROHBOCK (1980): Untersuchungen über die trockene und feuchte Deposition von Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht UBA, 50 S.
- HAAFKE, J. (1987): Zur Siedlungsdichte der Elster (*Pica pica*) in Abhängigkeit unterschiedlicher Habitate. *Charadrius* 23: 141-150.
- HAHN, E. (1984): Welche der mitteleuropäischen Eulenarten eignet sich als Biomonitor? Diplomarbeit, Univ. Saarbrücken: 249 S.
- HAHN, E. (1985): Elsterfedern als hochintegrierende Umweltproben zur Erfassung der Schwermetallbelastung von Landschaftsausschnitten. Abschlußbericht KFA-Jülich, 57 S.
- HAHN, E., K. HAHN, C. MOHL & M. STOEPLER (1990): Zecman SS-GFAAS - an ideal method for the evaluation of lead and cadmium profiles in bird's feathers. *Fresenius J. Anal. Chem.* 337: 306-309.

- HANSON H.C. & R.L. JONES (1976): The biogeochemistry of Blue, Snow and Ross' Geese. Ill.nat. Hist. Surv., Spec. Publ. No. 1, Southern Ill. Univ. Press, Urbana: 281 pp.
- HAARAKANGAS, H., H. HYVÄRINEN & M. OJANEN (1974): Seasonal variations and the effects of nesting and moulting on liver mineral content in the House Sparrow (*Passer domesticus* L.). Comp. Biochem. Physiol. 47A: 153-163.
- HENTSCHEL, P. (1985): Beizjagd. Eine praktische Anleitung zur Haltung, zum Abtragen und zur Jagd mit dem Habicht (*Accipiter gentilis*). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. 216 S.
- HOFFMAN, D.J., B.A. RATTNER & R.J. HALL (1990): Wildlife toxicology. Environ. Sci. Technol., Vol. 24, No. 3: 276-283.
- HONDA, K., B.Y. MIN & R.TATSUKAWA (1985): Heavy metal distribution in organs and tissues of the Eastern Great White Egret *Egretta alba modesta*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 35: 781-789.
- HONDA, K., B.Y. MIN & R. TATSUKAWA (1986a): Distribution of heavy metals and their age-related changes in the eastern Great White Egret, *Egretta alba modesta*, in Korea. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 15: 185-197.
- HONDA, K., Y. YAMAMOTO, H. HIDAKA & R. TATSUKAWA (1986b): Heavy metal accumulations in Adélie Penguin, *Pygoscelis adeliae*, and their variations with the reproductive processes. Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue 40: 443-453.
- HONDA, K., H. ICHIHASHI & R. TATSUKAWA (1987): Tissue distribution of heavy metals and their variation with age, sex and habitat in Japanese Serows (*Capricornis crispus*). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 16: 551-561.
- HUEBER, N. (1987): Untersuchungen über die Eignung der Vogelfeder als Umweltindikator. Diplomarb. Univers. Stuttgart-Hohenheim: 75 S.
- JACOB, J. (1977): Bürzeldrüsenlipide. Fortschr. Chem. Org. Naturst. 34: 373-438.
- KÄGI, J.H.R. & M. NORDBERG (Eds.) (1979): Metallothionein. Birkhäuser, Basel, Boston, New York.
- KELSALL, J.P. (1984): The use of chemical profiles from feathers to determine the origins of birds. Proc. V. Pan-Afr. Orn. Congr.: 501-516.
- KELSALL, J.P. & R. BURTON (1977): Identification of origins of lesser snow geese by X-ray spectrometry. Can. J. Zool. 55: 718-732.
- KELSALL, J.P. & W.J. PANNEKOEK (1976): The mineral profile of plumage in captive lesser snow geese. Can. J. Zool. 54: 301-305.
- KING, A.S. & J.McLELLAND (1978): Anatomie der Vögel. Ulmer Stuttgart S. 231.
- KOOIKER G. (1984): Schwermetalluntersuchungen in Eiern und Federn von Elstern (*Pica pica*) im Bezug zu Landnutzungsparametern. Diplomarbeit, Uni. Osnabrück, 112. S.
- KOOIKER G. (1986): Schwermetalle in Federn von Elstern (*Pica pica*). J.Orn. 127: 25-36.
- LANGMYHR, F.J. (1985): The solid sampling technique of atomic absorption spectrophotometry - what can the method do? Fresenius Z. Anal. Chem. 322: 654-656.
- LEH, H.-O. (1986): Modellversuch zur Verminderung der Aufnahme toxischer Schwermetalle durch Pflanzen auf Standorten mit Immissions- und Bodenbelastung. Forschungsbericht UBA, Berlin.

- LEWIS, R.A. & C.W. LEWIS (1979): Terrestrial vertebrate animals as biological monitors of pollution. In: N.P.Luepke (Hrsg.), Monitoring Environmental Materials and Specimen Banking. Martinus Nijhoff Publ., Den Haag.
- LILIENTHAL, O. (1889): Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst. Gaertners Verlagsbuchhandl. Berlin 187 S.
- LINDBERG, P. (1984): Mercury in feathers of Swedish Gyrfalcons (*Falco rusticolus*) in relation to diet. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 32: 453-459.
- LINK, H. (1986): Untersuchungen am Habicht (*Accipiter gentilis*). DFO Schriftenreihe Heft 2. 95 S.
- LUCAS, A.M. & P.R. STETTENHEIM (1972): Avian anatomy: Integument, Part II. Washington D.C. US Depart. of Agric.: 750 S.
- MEINERTZHAGEN, R. (1955): The speed and the altitude of bird flight. Ibis 97:81-117.
- MOORE, N.W. (1966): A pesticides monitoring system with special reference to the selection of indicatorspecies. J. appl. Ecol. 3: 261-269.
- MÜLLER, J. (1977): Messung der Größenverteilung von schwebstaubgebundenen Schwermetallen. Gesellsch. Aerosolforsch. Aerosole in Naturwissenschaft, Medizin und Technik, Okt.1977, Karlsruhe: 335-339.
- MÜLLER, J. (1979): Korngrößenverteilung von Metallen im Schwebstaub der Außenluft. Wasserlösliche Anteile im Schwebstaub und Niederschlagswasser. Gesellsch. Aerosolf. 7 (1979). Aerosols in science, medicine and technology. Okt. 79, Düsseldorf.
- MÜLLER, P., K. DMOWSKI, F. GAST, E. HAHN & G. WAGNER (1984): Zum Problem der Bioindikation von standortspezifischen Schwermetallbelastungen mit Vogelfedern. Wissenschaft u. Umwelt 3: 139-144.
- MUIRHEAD, S.J. & R.W. FURNESS (1988): Heavy metal concentrations in the tissues of seabirds from Gough Island, South Atlantic Ocean. Marine Pollution Bulletin, Vol. 19, 6: 278-283.
- NACHTIGALL, W. (1975): Vogelflügel und Gleitflug. J.Orn. 116: 1-38.
- NACHTIGALL, W. (1985): Warum die Vögel fliegen. Rasch & Röhrig, Hamburg, Zürich: 223 S.
- NACHTIGALL, W. (1987): Vogelflug und Vogelzug. Rasch & Röhrig, Hamburg, Zürich: 206 S.
- NARRES, H.D. (1989): Ein neuer schwermetallhaltiger Aerosol-Tracer für Ausbreitungs- und Depositionsexperimente. Diss. Uni. Bonn, 189 S.
- NEEB, R. (1969): Inverse Polarographie und Voltammetrie. Verlag Chemie, Weinheim.
- NEWTON, I. (1986): The sparrowhawk. T.& A.D. Poyser Ltd., Calton, England:pp. 396.
- NICOLAI, J. (1962): Über Regen-, Sonnen- und Staubbaden bei Tauben (*Columbidae*), J.Orn. 103: 125-139.
- NÜRNBERG, H.W. (1982): Voltammetric trace analysis in ecological chemistry of toxic metals. Pure & Appl. Chem. 54: 853-878.
- NÜRNBERG, H.W. (1985): In: Achema Jahrbuch 1985, Bd. 1: Forschung und Lehre des Chemie-Ingenieur-Wesens: 345-361.

- NÜRNBERG, H.W., P. VALENTA & V.D. NGUYEN (1980): Ein neuer Weg zur Messung toxischer Elemente im Regen. Jahresbericht 1979/80, KFA-Jülich: 47-54.
- NÜRNBERG, H.W., P. VALENTA & V.D. NGUYEN (1983): Schwermetallbelastungen der Umwelt im Raum Stolberg durch Feuchtdeposition. In: Umweltprobleme durch Schwermetalle im Raum Stolberg 1983, Ministerium f. Arbeit, Gesundheit und Soziales (MAGS), NRW (Hrsg.), Düsseldorf, Anhang: 1-11.
- 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.* 317: 314-323.
- OPDAM, P. & G. MÜSKENS (1976): Use of shed feathers in population studies of Accipiter hawks (*Aves, Accipitriformes, Accipitridae*). *Beaufortia* 24: 55-62.
- OSBORN, D. (1979): Seasonal changes in the fat, protein and metal content of the liver of the starling *Sturnus vulgaris*. *Environ. Pollut.* 19: 145-155.
- OSBORN, D., M.P. HARRIS & J.K. NICHOLSON (1979): Comparative tissue distribution of mercury, cadmium and zinc in three species of pelagic seabirds. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol.64C: 61-67.
- OSTAPCZUK, P., M. GOEDDE, M. STOEPLER & H.W. NÜRNBERG (1984): Kontroll- und Routinebestimmungen von Zn, Cd, Pb, Cu, Ni und Co mit Differentieller Pulsvoltammetrie in Materialien der Deutschen Umweltprobenbank. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 317: 252-256.
- PALMER, R.S. (1972): Pattern of moulting. In: *Avian Biology*, D.S. Farner, J.R. King & K.C. Parkers (ed.), Academic Press, New York, London: 65-102.
- PARKER, G.H. (1985): Copper, nickel and iron in plumage of three upland gamebird species from non-contaminated environments. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 35: 776-780.
- PARRISH, J.R., D.T. ROGERS Jr. & F. P. WARD (1983): Identification of natal locales of peregrine falcons (*Falco peregrinus*) by trace-element analysis of feathers. *Auk* 100: 560-567.
- PAYNE, R. (1972): Mechanism and control of moult. In: *Avian Biology*, D.S. Farner, J.R. King & K.C. Parkers (ed.), Academic Press, New York, London: 101-105.
- PERSEKE, C. & H.W. GEORGI (1979): Probleme und Stand der Kenntnisse auf dem Gebiet der "trockenen" und "nassen" Deposition. *Berichte d. Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main*. Nr.38: 589 S.
- PORTMANN, A. (1984): *Vom Wunder des Vogellebens*. Piper, München, Zürich: 218 S.
- PRANDTL, L. (1984): *Führer durch die Strömungslehre*. Verlag Vieweg, Braunschweig.
- PUXBAUM, H. (1984): Analyse von Schwebstaub. In: *Metalle in der Umwelt*, E. Merian (Hrsg.), Verlag Chemie, Weinheim: 105-115.
- RANTA, W.B., F.D. TOMASSINI & F. NIEBOER (1978): Elevation of copper and nickel levels in primaries from black and mallard ducks collected in the sudbury district, Ontario. *Can. J. Zool.* 56: 581-586.
- RHEINWALD, G. (1982): *Brutvogelatlas der Bundesrepublik Deutschland - Kartierung 1980 -*. Schriftenreihe des DDA Nr. 6, S. 128.
- RÖELL, A. & I. BOSSEMA (1982): A comparison of nest defence by Jackdaws, Rooks, Magpies and Crows. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 11: 1-6.

- ROLEV, A.M. (1983): Zinc, kobber, bly og cadmium i fjer fra danske Fiskehejrer *Ardea cinerea*. Dansk Orn. Tidsskr. 77: 13-24.
- ROSE, G.A. & G.H. PARKER (1982): Effects of smelter emissions on metal levels in the plumage of ruffed grouse near Sudbury, Ontario, Canada. Can. J. Zool. 60: 2659-2667.
- RÜPPELL, G. (1980): Vogelflug, Rowohlt, Hamburg.
- RÜPPELL, G. (1981): Analyse des Beutefangs des Fischadlers (*Pandion haliaetus*), J. Orn. 122: 285-305.
- RUTSCHKE, E. (1960): Untersuchungen über Wasserfestigkeit und Struktur des Gefieders von Schwimmvögeln. Zool. Jahrb. (Syst.) 87: 441-506.
- RUTSCHKE, E. (1965): Funktionell-morphologische Studien an der Außenfahne von Schwungfedern. Mitt. Zool. Mus. Berlin 41: 59-80.
- RUTSCHKE, E. (1970): Morphologisch-funktionelle Untersuchungen über Reibungsstrukturen an Schwanzfedern. Z. Wiss. Zool. 181: 331-352.
- SACHS, L. (1984): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 6.Aufl., Springer Verlag: 552 S.
- SACHS, L. (1988): Statistische Methoden: Planung und Auswertung. 6. Aufl., Springer Verlag: 298 S.
- SANSONI, B. & V. IYENGAR (1978): Sampling and sample preparation methods for the analyses of trace elements in biological materials. Jül.-Spez. 13.
- SCANLON, P.F., T.G. O'BRIEN, N.L. SCHAUER, J.L. COGGIN & D.E. STEFFEN (1979a): Heavy metal levels in feathers of wild turkeys from Virginia. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 21: 591-595.
- SCANLON, P.F., T.G. O'BRIEN, N.L. SCHAUER & R.G. ODERWALD (1979b): Lead levels in primary feathers of american woodcocks harvested by hunters throughout the United States Range. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 21: 683-688.
- SCHLADOT, J.D. & H.W. NÜRNBERG (1982): Atmosphärische Belastung durch toxische Metalle in der Bundesrepublik Deutschland. Emission und Deposition. Jül. Bericht 1776: 80 S.
- SCHROEDER, W.A. & L.M. KAY (1955): The amino acid composition of certain morphologically distinct parts of white turkey feathers, and goose feather barbs and goose down. J.Am.Chem.Soc. 77: 3901-3908.
- SCHUBERT, R. (1985): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. G.Fischer Verlag, Stuttgart.
- SCHULZ-BALDES, M. (1982): Tiere als Monitororganismen für Schwermetalle im Meer. Ein Überblick. In: Bioindikatoren, Symposium 1981, Köln, H. Bick & D. Neumann (Hrsg.), Decheniana, Beiheft 26: 43-54.
- SICK, H. (1937): Morphologisch-funktionelle Untersuchungen über die Feinstruktur der Vogelfeder. J.Orn. 85: 206-372.
- SPEARMAN, R.I.C. (1980): The avian skin in relation to surface ecology. Proceedings of the Royal Society of Edingburgh 79B: 57-74.
- SPEARMAN, R.I.C. & J.A. HARDY (1985): Integument. In: Form and function in birds. A.S.King & J. McLelland, Academic Press, Vol. 3: 1-56.
- SPRONK, N. & G.C. HARTOG (1970): Mercury in birds of prey. Ardea 59: 34-37.

- STIEFEL, A. (1985): Zur Schreckmauser. In: Kennzeichen und Mauser europäischer Singvögel. H. BUB (Hrsg.) S. 91-96. NBB Ziemsen Verlag Wittenberg Lutherstadt.
- STOEPLER, M., J.D. SCHLADOT & G. KLOSTER (1990): Aufbau und Betrieb der Bank für Umweltproben. Jahresbericht 1989.
- STRESEMANN, E. & V. STRESEMANN (1966): Die Mauser der Vögel. J.Orn. 107: Sonderheft, 445 S.
- SUNDE, M.L. (1972): Zinc requirement for the normal feathering of commercial leghorn-type pullets. Poultry Sci. 51: 1316-1322.
- TATARUCH, F. & R. LIDAUER (1984): Die Amsel (*Turdus merula* L.) als Bioindikator für die Umweltbelastung mit Blei, Cadmium und Quecksilber. Ökol.Vögel 6, Heft 2: 185-194.
- UNDERWOOD, E. (1977): Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, New York: 545 pp.
- VALENTA, P. & V.D. NGUYEN (1986): Trends of heavy metal pollution by wet deposition in the Federal Republik of Germany during 1980 - 1984. H.W.Georgii (Ed.): Atmospheric pollutants in forest areas. D.Reidel Publishing Company: 69-78.
- Van AALST, R.M. (1986): Dry deposition of aerosol particles. In: S.D. Lee, T. Schneider, L.D. Grant & P.J. Verkerk (Ed.): Aerosols. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, USA: 933-947.
- VOITKEVICH, A.A. (1966): Feather and plumage of birds. Sidgwick & Jackson, London: 335 S.
- VINES, G. (1981): A socio-ecosystem of Magpie (*Pica pica*). Ibis 123: 190-202.
- VOOUS, K.H. (1962): Die Vogelwelt Europas und ihre Verbreitung. P.Parey Verlag Hamburg u. Berlin.
- WALLER, R. (1982): Der wilde Falk ist mein Gesell. 4.Aufl. Neumann-Neudamm, Melsungen.
- WASSMANN, R. (1987): Zur Fluggeschwindigkeit der Elster (*Pica pica*). Ökol. Vögel Bd. 9,2: 165-166.
- WEDEPOHL, K.H. (1984): Die Zusammensetzung der oberen Erdkruste und der natürliche Kreislauf ausgewählter Metalle. Ressourcen. In: Metalle in der Umwelt. E. Merian (Hrsg) S.1-10, Verlag Chemie, Weinheim.
- WEYERS, B., E. GLÜCK & M. STOEPLER (1988): Investigation of the significance of heavy metal contents in Blackbird feathers. Sci. Tot. Environ. 77: 61-67.
- WIDEN, P. (1984): Activity pattern and timebudget in the Goshawk (*Accipiter gentilis*) in a boreal forest area Sweden. Ornis fennica. 61: 109-112.
- WINKLER, P., S. JOBST & C. HARDER (1989): Meteorologische Prüfung und Beurteilung von Sammlern für die nasse Deposition. BPT-Bericht 1/89 GSF-München. 315 S.
- WÜRFELS, M. (1988): Über den Rückstand biologischer Materialien nach Druckaufschluß mit Salpetersäure - Identifizierung der Reaktionsprodukte und deren Einfluß auf die inversvoltammetrische Elementbestimmung. Diss., Ruhr-Universität Bochum: 213 S.
- ZIESEMER, F. (1983): Untersuchungen zum Einfluß des Habichts (*Accipiter gentilis*) auf Populationen seiner Beute. Beitr. z. Wildbiologie. Heft 2.

**10. Anhang**

**Tab. 10.1.:** Angaben zu Herkunft, Alter, Gewicht, Geschlecht, Mauser und Gefiederzustand der zur Probennahme herangezogenen Elstern

| Nr. | Ort   | Fangdatum | Alter  | Sex | Gewicht<br>(g) | Fang/<br>Schuß | Hausen       |   |   |   |   |   |        |   |   |   |   |   | analysierte Federn |   |   |   |   |  |        |  |  |  |  |  | Gefiederrzustand |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----|-------|-----------|--------|-----|----------------|----------------|--------------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|--------------------|---|---|---|---|--|--------|--|--|--|--|--|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|     |       |           |        |     |                |                | Steuerfedern |   |   |   |   |   |        |   |   |   |   |   | Steuerfedern       |   |   |   |   |  |        |  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|     |       |           |        |     |                |                | links        |   |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   |   | links              |   |   |   |   |  | rechts |  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6   | 5     | 4         | 3      | 2   | 1              | 1              | 2            | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5      | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2                  | 3 | 4 | 5 | 6 |  |        |  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1   | Inden | 10.05.84  | mehrj. | ?   | 205            | F              | 0            | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 |  |        |  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

♂ = männlich  
♀ = weiblich

juv. = Jungvogel  
 einj. = Jungvogel aus dem letzten Jahr  
 mehrj. = mind. 2 Jahre alt

0 = alt      1 = Keim      2 = Pinzel      3 = gut 1/2      4 = noch wachsend      5 = neu      f = fehlt

Tab. 10.2.: Schwermetallgehalte in den Waschlösungen der mit Aceton abgespülten Habicht- und Elsterfedern

|                      | Federgewicht | Zn           | Cd         | Pb           | Cu          | Ni        | Co        |
|----------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------|-----------|
| <b>Habicht:</b>      |              |              |            |              |             |           |           |
| Schönböken/C-1       |              |              |            |              |             |           |           |
| HS-2 rechts          | 0,1257 g     | 85,45 µg/g   | 0,19 µg/g  | 8,64 µg/g    | 7,36 µg/g   | 1,55 µg/g | 0,42 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 10.741,07 ng | 23,88 ng   | 1.086,05 ng  | 925,15 ng   | 194,84 ng | 52,79 ng  |
| Waschlösung          |              | 886,40 ng    | 5,22 ng    | 136,86 ng    | 152,86 ng   | 88,60 ng  | 6,87 ng   |
| abgewaschener Anteil |              | 8%           | 18%        | 11%          | 14%         | 31%       | 12%       |
| Schönböken/C-4       |              |              |            |              |             |           |           |
| HS-2 links           | 0,1093 g     | 78,73 µg/g   | 0,15 µg/g  | 8,46 µg/g    | 7,86 µg/g   | 1,83 µg/g | 0,25 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 8.605,19 ng  | 16,40 ng   | 924,68 ng    | 859,10 ng   | 200,02 ng | 27,33 ng  |
| Waschlösung          |              | 1.113,1 ng   | 6,16 ng    | 95,66 ng     | 122,34 ng   | 207,50 ng | 3,13 ng   |
| abgewaschener Anteil |              | 11%          | 27%        | 9%           | 13%         | 51%       | 10%       |
| Aachen/Stadtwald     |              |              |            |              |             |           |           |
| HS-2 links           | 0,1268 g     | 107,1 µg/g   | 0,45 µg/g  | 19,59 µg/g   | 7,15 µg/g   | 1,59 µg/g | 0,44 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 13.580,28 ng | 57,06 ng   | 2.484,01 ng  | 906,62 ng   | 201,61 ng | 55,79 ng  |
| Waschlösung          |              | 1.105,6 ng   | 5,05 ng    | 378,08 ng    | 131,58 ng   | 104,70 ng | 3,57 ng   |
| abgewaschener Anteil |              | 8%           | 8%         | 13%          | 13%         | 34%       | 6%        |
| <b>Elster:</b>       |              |              |            |              |             |           |           |
| Jülich-Güsten/101    |              |              |            |              |             |           |           |
| S-6 links            | 0,0432 g     | 276,03 µg/g  | 1,71 µg/g  | 51,91 µg/g   | 13,85 µg/g  | 3,71 µg/g | 1,64 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 11.924,50 ng | 73,87 ng   | 2.242,51 ng  | 598,32 ng   | 160,27 ng | 70,85 ng  |
| Waschlösung          |              | 659,1 ng     | 3,51 ng    | 191,20 ng    | 138,00 ng   | 175,38 ng | 14,58 ng  |
| abgewaschener Anteil |              | 5%           | 5%         | 8%           | 19%         | 52%       | 17%       |
| Jülich-Güsten/101    |              |              |            |              |             |           |           |
| S-6 rechts           | 0,0423 g     | 276,03 µg/g  | 1,89 µg/g  | 53,90 µg/g   | 14,82 µg/g  | 2,73 µg/g | 1,11 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 11.676,07 ng | 79,95 ng   | 2.279,97 ng  | 626,89 ng   | 115,48 ng | 46,95 ng  |
| Waschlösung          |              | 878,59 ng    | 71,31 ng   | 266,10 ng    | 486,90 ng   | 269,10 ng | 28,74 ng  |
| abgewaschener Anteil |              | 7%           | 47%        | 11%          | 44%         | 70%       | 38%       |
| Stolberg-Werth/111   |              |              |            |              |             |           |           |
| S-6 links            | 0,0534 g     | 389,50 µg/g  | 10,65 µg/g | 460,68 µg/g  | 124,09 µg/g | 4,81 µg/g | 2,44 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 20.799,30 ng | 568,71 ng  | 24.600,31 ng | 6.626,41 ng | 256,85 ng | 130,30 ng |
| Waschlösung          |              | 2.017,73 ng  | 35,67 ng   | 2.388,30 ng  | 2.012,70 ng | 363,10 ng | 35,20 ng  |
| abgewaschener Anteil |              | 9%           | 6%         | 9%           | 23%         | 59%       | 21%       |
| Stolberg-Werth/111   |              |              |            |              |             |           |           |
| S-6 rechts           | 0,0565 g     | 400,35 µg/g  | 11,32 µg/g | 434,50 µg/g  | 118,30 µg/g | 3,73 µg/g | 1,10 µg/g |
| Metallgehalt Feder   |              | 22.619,78 ng | 639,58 ng  | 24.549,25 ng | 6.683,95 ng | 210,75 ng | 62,15 ng  |
| Waschlösung          |              | 2.517,70 ng  | 48,80 ng   | 3.106,10 ng  | 2.843,10 ng | 327,60 ng | 45,20 ng  |
| abgewaschener Anteil |              | 10%          | 7%         | 11%          | 30%         | 61%       | 42%       |
| Blindwertbelastung:  |              |              |            |              |             |           |           |
| 30 ml Aceton         |              | 524,00 ng    | <0,1 ng    | <0,1 ng      | <0,1 ng     | 35,20 ng  | 1,00 ng   |

| Ort                | Elster-Nr. | Feder | Zn    |       |      |     | Cd    |      |      |     | Pb     |       |      |    | Cu    |      |     |    | Ni   |      |      |    | Co   |      |      |    |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|------|-----|-------|------|------|-----|--------|-------|------|----|-------|------|-----|----|------|------|------|----|------|------|------|----|
|                    |            |       | F     | X     | F    | K % | F     | K    | F    | K % | F      | K     | F    | K  | F     | X %  | F   | K  | F    | K %  | F    | K  | F    | K %  |      |    |
| Stb.-Münsterb.     | E-8        | S-1   | 312.0 | 64.0  | 83   | 17  | 12.20 | 0.51 | 96   | 4   | 405.1  | 15.90 | 97   | 3  | 142.0 | 13.5 | 91  | 9  | 8.16 | 0.60 | 93   | 7  | 2.26 | 0.12 | 95   | 5  |
|                    |            | S-6   | 415.2 | 70.9  | 85   | 15  | 6.66  | 0.51 | 93   | 7   | 183.0  | 13.90 | 93   | 7  | 55.3  | 8.0  | 87  | 13 | 3.72 | 0.43 | 90   | 10 | 1.29 | 0.09 | 93   | 7  |
|                    |            | S-6   | 521.2 | 104.4 | 83   | 17  | 9.88  | 1.16 | 89   | 11  | 407.9  | 37.20 | 92   | 8  | 43.6  | 11.5 | 79  | 21 | 3.90 | 0.46 | 89   | 11 | 0.97 | 0.14 | 87   | 13 |
| Stb.-Werth         | E-5        | S-1   | 471.2 | 85.7  | 85   | 15  | 20.20 | 1.58 | 93   | 7   | 1619.0 | 72.20 | 96   | 4  | 166.7 | 11.5 | 94  | 6  | 4.33 | 0.50 | 90   | 10 | 0.79 | 0.16 | 83   | 17 |
|                    |            | S-6   | 456.0 | 82.8  | 85   | 15  | 11.20 | 1.28 | 90   | 10  | 410.6  | 53.20 | 89   | 11 | 29.5  | 9.9  | 75  | 25 | 4.23 | 0.38 | 92   | 8  | 1.11 | 0.16 | 87   | 13 |
| Prenz              | E-7        | S-1   | 549.5 | 71.3  | 89   | 11  | 7.00  | 0.44 | 94   | 6   | 252.5  | 16.90 | 94   | 6  | 33.7  | 10.5 | 76  | 24 | 7.81 | 1.51 | 84   | 16 | 1.73 | 0.24 | 88   | 12 |
|                    |            | S-6   | 328.8 | 69.0  | 83   | 17  | 2.91  | 0.34 | 90   | 10  | 89.3   | 0.02  | 92   | 8  | 14.3  | 6.3  | 69  | 31 | 4.53 | 1.83 | 71   | 29 | 1.69 | 0.12 | 93   | 7  |
| Lanersdorf         | E-4        | S-1   | 397.6 | 71.9  | 85   | 15  | 5.06  | 0.29 | 95   | 5   | 196.3  | 7.44  | 96   | 4  | 28.6  | 6.7  | 81  | 19 | 6.91 | 0.45 | 94   | 6  | 2.24 | 0.14 | 94   | 6  |
|                    |            | S-6   | 268.7 | 55.2  | 83   | 17  | 2.76  | 0.30 | 90   | 10  | 73.8   | 4.98  | 94   | 6  | 10.5  | 8.5  | 55  | 45 | 2.41 | 0.37 | 87   | 13 | 0.72 | 0.12 | 86   | 14 |
| Inden              | E-1        | S-1   | 298.8 | 72.4  | 80   | 20  | 6.53  | 0.34 | 95   | 5   | 130.6  | 11.90 | 92   | 8  | 19.3  | 7.2  | 73  | 27 | 9.13 | 0.87 | 91   | 9  | 4.65 | 0.38 | 92   | 8  |
|                    |            | S-6   | 204.3 | 71.1  | 74   | 26  | 1.15  | 0.16 | 88   | 12  | 22.3   | 5.99  | 79   | 21 | 5.8   | 6.1  | 49  | 51 | 2.08 | 0.57 | 78   | 22 | 1.52 | 0.26 | 85   | 15 |
|                    |            | E-3   | S-6   | 488.1 | 81.1 | 86  | 14    | 5.80 | 0.49 | 92  | 8      | 67.8  | 5.45 | 93 | 7     | 15.0 | 6.5 | 70 | 30   | 4.49 | 0.49 | 90 | 10   | 1.72 | 0.16 | 91 |
| Jul.-Haanbach      | E-2        | S-1   | 429.6 | 72.9  | 85   | 15  | 2.09  | 0.21 | 91   | 9   | 151.8  | 5.13  | 97   | 3  | 21.2  | 7.3  | 74  | 26 | 6.53 | 0.64 | 91   | 9  | 1.63 | 0.08 | 95   | 5  |
|                    |            | S-6   | 247.8 | 74.2  | 77   | 23  | 1.53  | 0.05 | 97   | 3   | 59.9   | 6.16  | 91   | 9  | 14.7  | 5.7  | 72  | 28 | 2.34 | 0.41 | 85   | 15 | 0.77 | 0.13 | 86   | 14 |
|                    | E-12       | S-1   | 357.9 | 78.9  | 82   | 18  | 1.17  | 0.05 | 96   | 4   | 48.3   | 3.58  | 93   | 7  | 11.5  | 7.5  | 61  | 39 | 3.31 | 0.15 | 96   | 4  | 1.16 | 0.06 | 95   | 5  |
|                    |            | S-6   | 258.9 | 70.2  | 79   | 21  | 0.93  | 0.10 | 90   | 10  |        |       |      |    | 10.4  | 9.2  | 53  | 47 | 3.91 | 0.28 | 93   | 7  | 1.09 | 0.13 | 89   | 11 |
| Mittelwert         |            |       |       |       | 83   | 17  |       |      | 92   | 8   |        |       | 92   | 8  |       |      | 72  | 28 |      |      | 88   | 12 |      |      | 90   | 10 |
| Standardabweichung |            |       |       |       | 4    | 4   |       |      | 3    | 3   |        |       | 4    | 4  |       |      | 13  | 13 |      |      | 6    | 6  |      |      | 4    | 4  |

Tab. 10.4: Schwermetallgehalte in Innen- und Außenfläche einer mehrjährigen Elster. Angaben in mg/kg.

| Feder        | Zink   |        |       |       | Cadmium |       |       |       | Blei   |        |       |       | Kupfer |       |       |       | Nickel |       |       |       | Kobalt |       |       |       |
|--------------|--------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|              | Außen  | Innen  | Außen | Innen | Außen   | Innen | Außen | Innen | Außen  | Innen  | Außen | Innen | Außen  | Innen | Außen | Innen | Außen  | Innen | Außen | Innen | Außen  | Innen | Außen | Innen |
| S-1          | 367,10 | 489,90 | 42,04 | 57,16 | 6,85    | 6,40  | 51,70 | 48,30 | 279,30 | 344,75 | 44,76 | 55,24 | 30,04  | 27,40 | 52,30 | 47,70 | 9,30   | 7,35  | 55,06 | 44,14 | 3,47   | 3,70  | 48,40 | 51,60 |
| S-2          | 410,70 | 445,05 | 47,99 | 52,01 | 2,68    | 2,86  | 48,36 | 51,62 | 157,11 | 111,55 | 58,48 | 41,52 | 19,27  | 13,30 | 59,16 | 40,84 | 7,56   | 5,45  | 56,11 | 41,89 | 3,31   | 2,66  | 55,44 | 44,56 |
| S-3          | 348,60 | 339,10 | 50,69 | 49,31 | 2,90    | 3,10  | 46,33 | 53,67 | 114,60 | 71,30  | 61,65 | 38,35 | 15,05  | 5,97  | 71,60 | 28,40 | 13,00  | 10,70 | 54,85 | 45,15 | 2,41   | 0,99  | 70,88 | 29,12 |
| S-4          | 271,90 | 229,40 | 54,24 | 45,76 | 3,10    | 2,45  | 55,86 | 44,14 | 90,70  | 67,60  | 57,30 | 42,70 | 18,30  | 11,10 | 62,24 | 37,76 | 4,44   | 3,51  | 55,85 | 44,15 | 1,02   | 0,77  | 56,98 | 43,02 |
| S-5          | 268,95 | 298,80 | 47,37 | 52,63 | 2,55    | 2,50  | 50,50 | 49,50 | 88,65  | 56,95  | 60,89 | 39,11 | 8,40   | 7,80  | 51,85 | 48,15 | 13,63  | 5,09  | 72,81 | 27,19 | 2,18   | 1,18  | 64,88 | 35,12 |
| S-6          | 361,20 | 304,80 | 54,23 | 45,77 | 4,00    | 3,25  | 55,17 | 44,83 | 120,85 | 72,55  | 62,49 | 37,51 | 18,80  | 6,15  | 75,35 | 24,65 | 6,78   | 4,71  | 59,01 | 40,99 | 2,16   | 1,80  | 54,55 | 45,45 |
| Mittelwert*  |        |        | 50,91 | 49,09 |         |       | 51,65 | 48,35 |        |        | 60,16 | 39,84 |        |       | 64,04 | 35,96 |        |       | 60,13 | 39,87 |        |       | 60,55 | 39,45 |
| Standardabw. |        |        | 2,94  | 2,94  |         |       | 3,26  | 3,26  |        |        | 1,96  | 1,96  |        |       | 0,49  | 0,49  |        |       | 6,52  | 6,52  |        |       | 6,33  | 6,33  |

\* Berechnungen ohne S-1

Tab. 10.5: Schwermetallgehalte in den Steuerfedern einer Rabenkrähe aus Berchtesgaden im Vergleich zu den Federlängen. Angaben in mg/kg.

|                    | l i n k s |        |        |        |        |        | r e c h t s |        |        |        |        |        |
|--------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | S-6       | S-5    | S-4    | S-3    | S-2    | S-1    | S-1         | S-2    | S-3    | S-4    | S-5    | S-6    |
| Federlänge<br>(cm) | 18.10     | 17.80  | 18.00  | 18.90  | 19.00  | 19.10  | 19.10       | 18.90  | 18.80  | 18.70  | 18.60  | 18.00  |
| Zink               | 176.27    | 176.58 | 165.85 | 188.77 | 210.76 | 198.37 | 206.46      | 185.46 | 206.31 | 192.75 | 188.04 | 163.32 |
| Cadmium            | 0.49      | 0.16   | 0.13   | 0.59   | 0.29   | 0.49   | 0.64        | 0.50   | 0.48   | 0.34   | 0.29   | 0.45   |
| Blei               | n.a.      | 4.03   | 4.53   | 20.04  | 12.55  | 17.15  | 35.73       | 19.28  | 18.38  | 12.27  | 10.52  | 15.13  |
| Kupfer             | 3.75      | 3.35   | 3.08   | 4.07   | 3.62   | 3.77   | 4.24        | 3.89   | 4.07   | 4.14   | 3.76   | 4.16   |
| Nickel             | 0.39      | 0.71   | 0.72   | 1.57   | 1.92   | 2.40   | 1.79        | 1.17   | 1.03   | 0.82   | 0.68   | 0.83   |
| Kobalt             | 0.14      | 0.04   | 0.05   | 0.30   | 0.43   | 0.31   | 0.45        | 0.41   | 0.34   | 0.14   | 0.18   | 0.20   |

Tab. 10.6.1.: Zinkgehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Hauser Steuerfedern |   |   |   |   |        |   |   |   |   | analysierte Federn Steuerfeder-Nr. |         |       |       |       |        |       |        |        |       | Gefiederzustand |       |       |   |                                    |
|-----|--------------------------|---------------------|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|------------------------------------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-----------------|-------|-------|---|------------------------------------|
|     |                          | links               |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   | links                              |         |       |       |       | rechts |       |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
|     |                          | 6                   | 5 | 4 | 3 | 2 | 1      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5                                  | 6       | 6     | 5     | 4     | 3      | 2     | 1      | 1      | 2     |                 | 3     | 4     | 5 | 6                                  |
| 1   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | abgenutzt                          |
| 2   | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 3   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 4   | Lessersdorf              | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 5   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 414.8   | 411.4 | 514.2 | 513.4 | 481.2  | 481.9 | 471.2  | 474.4  | 494.1 | 495.6           | 437.0 | 456.0 |   |                                    |
| 6   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 521.2                              |
| 7   | Prens                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 328.8   | 320.4 | 378.4 | 317.4 | 360.2  | 549.5 |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 8   | Stb.-Büschbach I         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 415.2   |       |       |       |        |       | 312.0  | 524.4  |       |                 |       |       |   | 459.1                              |
| 9   | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 281.9   |       |       |       |        |       | 526.5  |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 10  | Stb.-Bauschenberg        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 5 | 1 | 0 | 0 | 0                                  | 575.7   |       |       |       |        |       | 651.2  | 335.0  |       |                 |       |       |   | 657.0                              |
| 11  | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 323.1   |       |       |       |        |       | 564.6  |        |       |                 |       |       |   | stark abgenutzt                    |
| 12  | Hanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                                  |         |       |       |       |        |       | 357.9  |        |       |                 |       |       |   | 258.9                              |
| 13  | Prens                    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 241.5   |       |       |       |        |       | 212.6  | 279.1  |       |                 |       |       |   | 268.2                              |
| 14  | Allendorf                | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 243.8   |       |       |       |        |       | 243.1  | 286.0  |       |                 |       |       |   | 229.0                              |
| 15  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 441.8   |       |       |       |        |       | 333.9  | 325.3  |       |                 |       |       |   | 263.1                              |
| 16  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 2 | 5      | 2 | 2 | 0 | 0 | 0                                  | 199.0   |       |       |       |        |       | 550.8  | 574.5  |       |                 |       |       |   | 217.3                              |
| 17  | Stb.-Büschbach           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 270.7   |       |       |       |        |       | 652.1  | 565.2  |       |                 |       |       |   | 456.8                              |
| 18  | Deuselbach/Hünser        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 19  | Schönecken/Eifel         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 321.7   |       |       |       |        |       | 529.2  | 463.3  |       |                 |       |       |   | 352.1                              |
| 20  | Lochvogel                | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 4 | 0 | 0                                  | 11718.8 |       |       |       |        |       | 7636.1 | 8692.7 |       |                 |       |       |   | 14590.2                            |
| 30  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 5                                  |         |       |       |       |        |       | 149.7  |        |       |                 |       |       |   | 226.7                              |
| 31  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 5                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 207.6                              |
| 32  | Dadweiler/Saar           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 193.2   |       |       |       |        |       | 202.9  | 216.9  |       |                 |       |       |   | 146.5                              |
| 33  | Solferabein/Saar         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 163.9   |       |       |       |        |       | 217.0  | 246.7  |       |                 |       |       |   | 183.3                              |
| 34  | Inden                    | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                                  | 286.6   |       |       |       |        |       | 290.7  | 294.2  |       |                 |       |       |   | 314.4                              |
| 35  | Hanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                                  | 255.5   |       |       |       |        |       | 307.4  | 330.2  |       |                 |       |       |   | 202.4                              |
| 50  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 567.2   |       |       |       |        |       | 817.4  | 909.1  |       |                 |       |       |   | 539.3                              |
| 51  | Wesseling, StB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 271.1   |       |       |       |        |       | 267.2  | 611.5  |       |                 |       |       |   | 289.7                              |
| 52  | Wesseling, StB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 439.2   |       |       |       |        |       | 247.2  | 548.8  |       |                 |       |       |   | 536.9                              |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 300.3   |       |       |       |        |       | 427.9  | 458.9  |       |                 |       |       |   | 305.4                              |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 629.2   |       |       |       |        |       | 1579.2 | 1350.3 |       |                 |       |       |   | 567.2                              |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 239.8   |       |       |       |        |       | 344.2  | 403.5  |       |                 |       |       |   | 207.4                              |
| 56  | Jülich/Kerpburginsel     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 201.0   |       |       |       |        |       | 289.1  | 329.9  |       |                 |       |       |   | 184.4                              |
| 57  | Jülich/Lehfeld           | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 157.7   | 154.9 |       |       |        |       | 145.9  | 186.9  |       |                 |       | 269.2 |   | 283.0                              |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 317.1   |       |       |       |        |       | 166.7  | 108.0  |       |                 |       |       |   |                                    |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       | 437.5  |        |       |                 |       |       |   | 400.4                              |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 248.6   |       |       |       |        |       | 443.9  | 469.3  |       |                 |       |       |   | 298.6                              |
| 61  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 559.6   |       |       |       |        |       | 593.0  | 608.4  |       |                 |       |       |   | 563.8                              |
| 62  | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 271.3   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 284.2                              |
| 63  | Lochvogel                | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  |         |       |       |       |        |       | 301.1  | 261.7  |       |                 |       |       |   | sandiges Gefieder<br>irreg. Hauser |
| 64  | Jülich/Merscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 166.9   |       |       |       |        |       | 180.5  | 211.1  |       |                 |       |       |   | 176.4                              |
| 65  | Jülich/Merscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 229.1   |       |       |       |        |       | 343.6  |        |       |                 |       |       |   |                                    |
| 66  | Jülich/Merscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 373.2   |       |       |       |        |       | 435.9  | 475.4  |       |                 |       |       |   | 437.9                              |
| 67  | Jülich/Merscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 341.9   |       |       |       |        |       | 415.3  | 449.1  |       |                 |       |       |   | 310.0                              |
| 68  | Jülich/Merscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 168.1   |       |       |       |        |       | 201.9  | 219.1  |       |                 |       |       |   | 185.2                              |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 5                                  | 183.3   |       |       |       |        |       | 231.0  | 242.8  |       |                 |       |       |   | 153.3                              |
| 70  | Jülich/Merscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 247.0   | 174.3 | 197.1 | 189.5 | 228.6  |       | 268.3  | 290.2  | 330.9 | 256.6           | 246.7 | 184.7 |   | 262.2                              |
| 71  | Jülich-Wellendorf        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 235.6   |       |       |       |        |       | 304.0  | 383.5  |       |                 |       |       |   | 212.0                              |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 248.3   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 213.9                              |
| 73  | Jülich/Merscher Höhe     | 5                   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  |         |       |       |       |        |       | 519.4  | 476.3  |       |                 |       |       |   | 244.5                              |
| 74  | Jülich/Merscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 318.1   |       |       |       |        |       | 200.5  | 213.7  |       |                 |       |       |   |                                    |
| 75  | Jülich/Lehfeld           | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                                  | 243.6   |       |       |       |        |       | 494.0  | 476.6  |       |                 |       |       |   |                                    |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 276.0   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 278.6                              |
| 102 | Jülich-Wellendorf        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 286.7   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | sehr gut                           |
| 103 | Jülich-Wellendorf        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 5                                  | 217.2   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 300.7                              |
| 104 | Schönböden/Schl.-Holst.  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 254.1   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 221.3                              |
| 105 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 424.6   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 224.9                              |
| 106 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 1 | 0 | 0 | 0                                  | 442.3   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 434.7                              |
| 107 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  |         |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 478.5                              |
| 108 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 404.1   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 254.2                              |
| 109 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 5                                  | 315.1   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 316.9                              |
| 110 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5                                  | 425.7   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 295.7                              |
| 111 | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0                                  | 389.5   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 371.4                              |
| 112 | Stb.-Industriehäufung    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 236.8   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 400.4                              |
| 113 | Stb.-Industriehäufung    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 3      | 3 | 4 | 4 | 4 | 4                                  | 312.9   |       |       |       |        |       |        |        |       |                 |       |       |   | 244.3                              |

0 = alt    1 = kein    2 = Pinzel    3 = gut 1/2    4 = noch wachsend    5 = neu    f = fehlt

Tab. 10.6.2.: Cadmiumgehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Käuser Steuerfedern |   |   |   |   |        |   |   |   |   | analysierte Federn Steuerfeder-Nr. |       |       |       |       |        |      |      |      |      | Gefiederzustand |   |   |                 |
|-----|--------------------------|---------------------|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|-----------------|---|---|-----------------|
|     |                          | links               |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   | links                              |       |       |       |       | rechts |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
|     |                          | 6                   | 5 | 4 | 3 | 2 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6                                  | 6     | 5     | 4     | 3     | 2      | 1    | 1    | 2    | 3    |                 | 4 | 5 | 6               |
| 1   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | abgenutzt       |
| 2   | Kanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.53            |
| 3   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 5.82            |
| 4   | Lamerdorf                | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.76            |
| 5   | Stb.-Werth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.60                              | 10.70 | 12.60 | 10.80 | 12.50 | 11.10  |      |      |      |      |                 |   |   | 11.20           |
| 6   | Stb.-Werth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 9.88            |
| 7   | Prenz                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.91                               | 1.72  | 3.26  | 2.66  | 3.08  | 7.00   |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 8   | Stb.-Bischof 1           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 6.18            |
| 9   | Kanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.86                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 10  | Stb.-Bauschenberg        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 5 | 1 | 0 | 0 | 25.20                              |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 19.15           |
| 11  | Kanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.91                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | stark abgenutzt |
| 12  | Kanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 13  | Prenz                    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 1.21                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.93            |
| 14  | Altdorf                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 0.63                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.24            |
| 15  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 0 | 0 | 0.83                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.90            |
| 16  | Stb.-Werth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 2 | 5      | 2 | 2 | 0 | 0 | 10.63                              |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.11            |
| 17  | Stb.-Bischof             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.98                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 9.03            |
| 18  | Deuselbach/Hunsr.        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.92            |
| 19  | Schönecken/Eifel         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.07                               | 1.65  | 1.48  | 0.63  |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.59            |
| 20  | Lochvogel                | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 4 | 0 | 2.25                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.80            |
| 30  | Stb.-Werth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 3.73                               | 2.34  | 2.20  | 3.02  | 1.90  |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.38            |
| 31  | Stb.-Werth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 4.56                               | 2.60  | 3.27  | 2.67  | 2.55  | 1.39   | 1.56 | 2.23 | 3.75 | 3.59 | 2.89            |   |   | 2.51            |
| 32  | Düweiler/Saar            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.33                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.26            |
| 33  | Wolferstein/Saar         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.54                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.32            |
| 34  | Inden                    | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 2.64                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.69            |
| 35  | Kanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.90                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.62            |
| 50  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.19                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.60            |
| 51  | Resseling, BAD Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.44                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 6.08            |
| 52  | Resseling, BAD Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.41                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.32            |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.65                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.48            |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.65                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.74            |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.46                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.44            |
| 56  | Jülich/Weyburginsel      | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.63                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.82            |
| 57  | Jülich/Lothfeld          | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.15                               | 0.06  |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.10            |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.22                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.02            |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.22                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.61            |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.76                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 61  | Stb.-Werth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.87                              |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.51            |
| 62  | Kanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.53                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.07            |
| 63  | Lochvogel                | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 13.62           |
| 64  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.61                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.13            |
| 65  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.17                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.19            |
| 66  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.59                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 67  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.55                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.57            |
| 68  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.14                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.31            |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 | 0.63                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.26            |
| 70  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.70                               | 0.20  | 0.38  | 0.25  | 0.21  | 0.21   | 0.22 | 0.23 | 0.20 | 0.24 | 0.26            |   |   | 0.24            |
| 71  | Jülich/Welldorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.08                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.40            |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.80                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.27            |
| 73  | Jülich/Werscher Höhe     | 5                   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.73            |
| 74  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.49                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 0.41            |
| 75  | Jülich/Lothfeld          | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.75                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   |                 |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.71                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.89            |
| 102 | Jülich/Welldorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.33                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.31            |
| 103 | Jülich/Welldorf          | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 1.20                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.17            |
| 104 | Schönböken/Schl.-Holst.  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.28                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.03            |
| 105 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.34                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 4.25            |
| 106 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 5.51                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 6.04            |
| 107 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.75            |
| 108 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.05                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 3.48            |
| 109 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 5.25                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 5.06            |
| 110 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 14.34                              |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 12.41           |
| 111 | Stb.-Werth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.65                              |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 11.32           |
| 112 | Stb.-Industriegelände    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 2.09                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 1.91            |
| 113 | Stb.-Industriegelände    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 3      | 3 | 4 | 4 | 4 | 2.37                               |       |       |       |       |        |      |      |      |      |                 |   |   | 2.17            |

0 = alt    1 = Keils    2 = Pinsel    3 = gut 1/2    4 = noch wachsend    5 = neu    f = fehlt

Tab. 10.6.3.: Bleigehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Kaiser<br>Steuerfedern |   |   |   |   |        |   |   |   |   | analysierte Federn<br>Steuerfeder-Nr. |       |       |       |       |        |       |      |      |      | Gefiederzustand |      |
|-----|--------------------------|------------------------|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-----------------|------|
|     |                          | links                  |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   | links                                 |       |       |       |       | rechts |       |      |      |      |                 |      |
|     |                          | 5                      | 4 | 3 | 2 | 1 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6                                     | 5     | 4     | 3     | 2     | 1      | 1     | 2    | 3    | 4    |                 | 5    |
| 1   | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 2   | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 3   | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 4   | Laersdorf                | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 5   | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 468.5                                 | 454.4 | 459.3 | 473.0 | 877.0 | 1229.0 |       |      |      |      |                 |      |
| 6   | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 7   | Frenz                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 89.3                                  | 72.2  | 97.3  | 97.9  | 99.2  | 252.5  |       |      |      |      |                 |      |
| 8   | Stb.-Büsbach I           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 183.0                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 9   | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 54.7                                  |       |       |       |       |        | 102.0 |      |      |      |                 |      |
| 10  | Stb.-Bauschenberg        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 5 | 1 | 0 | 0 | 836.4                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 11  | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 72.9                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 12  | Hambach                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 13  | Frenz                    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 17.9                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 14  | Alldorf                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | f | f | 5 | 5 | 16.2                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 15  | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 0 | 0 | 16.2                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 16  | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 2 | 5      | 2 | 2 | 0 | 0 | 372.5                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 17  | Stb.-Büsbach             | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 101.4                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 18  | Deuselbach/Hunstr.       | 0                      | 0 | 0 | 0 | f | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.4                                  | 51.4  | 54.3  | 18.8  |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 19  | Schöneck/Elfel           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.0                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 20  | Lockvogel                | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 4 | 0 | 157.4                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 30  | Stb.-Werth               | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 183.4                                 | 100.9 | 78.9  | 73.7  | 55.2  |        |       |      |      |      |                 |      |
| 31  | Stb.-Werth               | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 111.3                                 | 103.9 | 124.6 | 140.9 | 91.3  | 104.8  | 98.2  | 86.6 | 88.9 | 87.8 | 90.4            | 87.7 |
| 32  | Düvelier/Saar            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | f | f | 130.1                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 33  | Wolfsersheim/Saar        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | f | 11.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 34  | Inden                    | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 27.6                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 35  | Hambach                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 37.5                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 50  | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 133.8                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 51  | Pesseling, BAB Köln-Bonn | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 217.9                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 52  | Pesseling, BAB Köln-Bonn | 0                      | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 | 198.1                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 39.3                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 66.6                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.8                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 56  | Jülich/Weyburginsel      | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.7                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 57  | Jülich/Lohfeld           | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 1 | 0 | 0 | 0 | 3.8                                   | 2.5   |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 61.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 61  | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 689.9                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 62  | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 96.0                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 63  | Lockvogel                | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 64  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 10.8                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 65  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | f | 30.3                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 66  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 0 | 0 | 0 | 0 | 114.4                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 67  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.6                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 68  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 15.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 15.8                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 70  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 38.6                                  | 8.4   | 10.2  | 9.6   | 7.6   |        |       |      |      |      |                 |      |
| 71  | Jülich-Welldorf          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.2                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 | 48.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 73  | Jülich/Berscher Höhe     | 5                      | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 74  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 19.3                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 75  | Jülich/Lohfeld           | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 31.8                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                      | f | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.9                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 102 | Jülich-Welldorf          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.1                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 103 | Jülich-Welldorf          | 5                      | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 5 | 5 | 5 | 5 | 11.1                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 104 | Schöneck/Schl.-Holst.    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 | 59.1                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 105 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 162.0                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 106 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 204.0                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 107 | Stb.-Hastenrath          | f                      | 0 | 0 | 0 | f | 0      | f | 0 | 0 | 0 |                                       |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 108 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 156.8                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 109 | Stb.-Bauschenberg        | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 128.9                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 110 | Stb.-Bauschenberg        | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 325.0                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 111 | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 460.7                                 |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 112 | Stb.-Industriegelände    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 36.4                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |
| 113 | Stb.-Industriegelände    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 3 | 3      | 4 | 4 | 4 | 4 | 57.2                                  |       |       |       |       |        |       |      |      |      |                 |      |

0 = alt    1 = Keila    2 = Pinzel    3 = gut 1/2    4 = noch wachsend    5 = neu    f = fehlt

Tab. 10.6.4.: Kupfergehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Kaiser<br>Steuerfedern |   |   |   |   |   |        |   |   |   |    |   | analysierte Federn<br>Steuerfeder-Nr. |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | Gefiederzustand |
|-----|--------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|----|---|---------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----------------|
|     |                          | links                  |   |   |   |   |   | rechts |   |   |   |    |   | links                                 |      |      |      |      |       | rechts |      |      |      |      |      |                 |
|     |                          | 6                      | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5  | 6 | 6                                     | 5    | 4    | 3    | 2    | 1     | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |                 |
| 1   | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   |                                       |      |      |      |      | 19.3  |        |      |      |      |      | 5.8  | ad; genutzt     |
| 2   | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   |                                       |      |      |      |      | 21.2  |        |      |      |      |      |      | 14.7            |
| 3   | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   |                                       |      |      |      |      | 21.5  |        |      |      |      |      |      | 15.0            |
| 4   | Lamersdorf               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   |                                       |      |      |      |      | 20.6  |        |      |      |      |      |      | 10.4            |
| 5   | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   | 29.2                                  | 34.2 | 43.9 | 44.2 | 69.8 | 126.3 | 166.7  | 62.2 | 47.9 | 41.0 | 33.2 | 29.5 |                 |
| 6   | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   |                                       |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      | 43.6 |                 |
| 7   | Prems                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   | 14.3                                  | 6.7  | 12.6 | 14.5 | 9.0  | 33.7  |        |      |      |      |      |      |                 |
| 8   | Stb.-Büsbach I           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  |   | 55.8                                  |      |      |      |      | 142.0 | 27.7   |      |      |      |      |      | 48.3            |
| 9   | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0  | f |                                       |      |      |      |      | 26.0  |        |      |      |      |      |      |                 |
| 10  | Stb.-Bauschenberg        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5      | 1 | 0 | 0 | 0  |   | 130.1                                 |      |      |      |      | 153.7 | 156.9  |      |      |      |      |      | 124.2           |
| 11  | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0  | f | 9.4                                   |      |      |      |      | 38.3  |        |      |      |      |      |      |                 |
| 12  | Hambach                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  |   |                                       |      |      |      |      | 11.5  |        |      |      |      |      |      | 10.4            |
| 13  | Prems                    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  |   | 9.3                                   |      |      |      |      | 4.0   | 4.2    |      |      |      |      |      | 7.7             |
| 14  | Altdorf                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | f | f | 5 | 5  | 5 | 3.8                                   |      |      |      |      | 5.7   | 5.7    |      |      |      |      |      | 4.8             |
| 15  | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0  |   | 7.8                                   |      |      |      |      | 4.7   | 7.9    |      |      |      |      |      | 9.2             |
| 16  | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2      | 2 | 0 | 0 | 88 | 0 | 36.1                                  |      |      |      |      | 20.6  | 4.5    |      |      |      |      |      | 29.1            |
| 17  | Stb.-Büsbach             | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0  | 0 | 16.6                                  |      |      |      |      | 70.7  | 107.6  |      |      |      |      |      |                 |
| 18  | Deuselbach/Hunsr.        | 0                      | 0 | 0 | 0 | f | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 |                                       | 8.9  |      | 7.7  |      | 16.8  | 16.2   |      | 8.6  | 7.6  | 9.7  | 8.7  |                 |
| 19  | Schönecken/Elftel        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 6.4                                   |      |      |      |      | 19.2  | 10.0   |      |      |      |      |      | 8.0             |
| 20  | Lockvogel                | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 4 | 0 | 4  | 0 | 18.2                                  |      |      |      |      | 23.5  |        |      |      |      |      |      |                 |
| 30  | Stb.-Werth               | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5  | 5 | 22.1                                  | 7.9  | 6.8  | 6.7  | 7.6  |       | 8.6    | 8.2  | 8.0  | 9.7  | 11.2 | 12.7 |                 |
| 31  | Stb.-Werth               | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5  | 5 |                                       | 10.1 | 13.2 | 8.6  | 8.4  | 8.4   | 8.1    | 3.8  | 5.8  | 9.9  | 8.8  |      | 9.5             |
| 32  | Dadweiler/Saar           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | f | f | 2  |   | 17.4                                  |      |      |      |      | 25.5  | 20.7   |      |      |      |      |      | 4.4             |
| 33  | Wolfsheide/Saar          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | f  | 0 | 7.8                                   |      |      |      |      | 16.1  | 15.2   |      |      |      |      |      | 10.4            |
| 34  | Inden                    | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  | 5 |                                       |      |      |      |      | 6.3   | 13.3   |      |      |      |      |      | 10.3            |
| 35  | Hambach                  | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  | 5 | 11.9                                  |      |      |      |      | 7.9   | 7.4    |      |      |      |      |      | 5.5             |
| 50  | Inden                    | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 7.6                                   |      |      |      |      | 27.2  | 27.8   |      |      |      |      |      |                 |
| 51  | Kesseling, BAB Köln-Bonn | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 19.0                                  |      |      |      |      | 47.5  | 54.0   |      |      |      |      |      | 16.4            |
| 52  | Kesseling, BAB Köln-Bonn | 0                      | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 67.4                                  |      |      |      |      | 3.1   | 86.8   |      |      |      |      |      | 44.1            |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 7.1                                   |      |      |      |      | 11.4  | 12.6   |      |      |      |      |      | 7.3             |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 |                                       | 9.4  |      |      |      | 20.1  | 15.3   |      |      |      |      |      | 5.7             |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 8.1                                   |      |      |      |      | 11.4  | 15.3   |      |      |      |      |      | 7.4             |
| 56  | Jülich/Beyburginsel      | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 7.9                                   |      |      |      |      | 16.2  | 16.0   |      |      |      |      |      | 6.2             |
| 57  | Jülich/Lohfeld           | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 3.0                                   | 2.7  |      |      |      | 4.4   | 3.6    |      |      |      | 5.0  |      | 7.5             |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 10.7                                  |      |      |      |      | 4.2   | 3.2    |      |      |      |      |      |                 |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 |                                       |      |      |      |      | 27.5  |        |      |      |      |      |      | 11.8            |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 5.1                                   |      |      |      |      | 14.5  | 15.1   |      |      |      |      |      | 7.1             |
| 61  | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 75.1                                  |      |      |      |      | 252.2 | 204.0  |      |      |      |      |      | 65.5            |
| 62  | Hambach                  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 7.3                                   |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 15.0            |
| 63  | Lockvogel                | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 |                                       |      |      |      |      | 4.2   | 3.3    |      |      |      |      |      |                 |
| 64  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 6.8                                   |      |      |      |      | 6.1   | 4.1    |      |      |      |      |      | 7.4             |
| 65  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0  | f | 7.3                                   |      |      |      |      | 28.2  |        |      |      |      |      |      |                 |
| 66  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 17.2                                  |      |      |      |      | 15.9  | 38.0   |      |      |      |      |      | 14.3            |
| 67  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 15.0                                  |      |      |      |      | 30.3  | 27.3   |      |      |      |      |      | 14.2            |
| 68  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 3.2                                   |      |      |      |      | 4.2   | 4.2    |      |      |      |      |      | 5.2             |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                      | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5  | 5 | 4.6                                   |      |      |      |      | 9.3   | 7.0    |      |      |      |      |      | 6.5             |
| 70  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 8.1                                   | 5.2  | 6.4  | 5.4  | 4.6  | 3.4   | 4.3    | 5.6  | 5.5  | 5.2  | 5.9  |      | 5.4             |
| 71  | Jülich-Wellhof           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 8.3                                   |      |      |      |      | 34.7  | 32.4   |      |      |      |      |      | 11.5            |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 9.3                                   |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 8.1             |
| 73  | Jülich/Werscher Höhe     | 5                      | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 |                                       |      |      |      |      | 4.9   | 4.8    |      |      |      |      |      | 6.4             |
| 74  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 27.1                                  |      |      |      |      | 14.5  | 14.9   |      |      |      |      |      |                 |
| 75  | Jülich/Lohfeld           | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  | 5 |                                       |      |      |      |      | 11.7  | 12.7   |      |      |      |      |      |                 |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                      | f | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 13.9                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 14.8            |
| 102 | Jülich-Wellhof           | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 10.0                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 10.1            |
| 103 | Jülich-Wellhof           | 5                      | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  | 5 | 7.6                                   |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 7.1             |
| 104 | Schönböken/Schl.-Holst.  | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 13.6                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 8.2             |
| 105 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 23.7                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 17.2            |
| 106 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0  | 0 | 22.2                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 21.6            |
| 107 | Stb.-Hastenrath          | f                      | 0 | 0 | 0 | f | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0  | 0 |                                       |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 25.4            |
| 108 | Stb.-Hastenrath          | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 13.5                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 9.6             |
| 109 | Stb.-Bauschenberg        | 5                      | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5  | 5 | 20.7                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 21.5            |
| 110 | Stb.-Bauschenberg        | 5                      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5  | 5 | 42.9                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 32.6            |
| 111 | Stb.-Werth               | 0                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 124.1                                 |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 118.4           |
| 112 | Stb.-Industriegelände    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 7.9                                   |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 7.9             |
| 113 | Stb.-Industriegelände    | 4                      | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3      | 4 | 4 | 4 | 4  | 4 | 10.4                                  |      |      |      |      |       |        |      |      |      |      |      | 10.1            |

0 = alt    1 = Keia    2 = Pinzel    3 = gut 1/2    4 = noch wachsend    5 = neu    f = fehlt

Tab. 10.6.5.: Nickelgehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Mauser Steuerfedern |   |   |   |   |   |        |   |   |   |   |   | analysierte Federn Steuerfeder-Nr. |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      | Gefiederzustand |                 |
|-----|--------------------------|---------------------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|------------------------------------|------|------|------|-------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----------------|-----------------|
|     |                          | links               |   |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   |   | links                              |      |      |      |       |       | rechts |      |      |      |      |      |                 |                 |
|     |                          | 6                   | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6                                  | 5    | 4    | 3    | 2     | 1     | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |                 |                 |
| 1   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 2   | Hasbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 3   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 4   | Lamersdorf               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 5   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   | 3.39                               | 3.35 | 3.77 | 3.23 | 4.44  | 5.55  |        | 4.33 | 4.83 | 3.84 | 3.45 | 3.78 | 4.22            | abgenutzt       |
| 6   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 7   | Prenz                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   | 4.53                               | 2.01 | 2.60 | 4.41 | 3.87  | 7.81  |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 8   | Stb.-Bisbach f           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   | 3.72                               |      |      |      |       | 8.16  | 9.83   |      |      |      |      |      |                 | 3.95            |
| 9   | Hasbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0 | f | 5.28                               |      |      |      |       | 11.05 |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 10  | Stb.-Bauschenberg        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5      | 1 | 0 | 0 | 0 |   | 5.89                               |      |      |      |       | 8.62  | 9.51   |      |      |      |      |      |                 | 4.43            |
| 11  | Hasbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0 | f | 7.83                               |      |      |      |       | 15.76 |        |      |      |      |      |      |                 | stark abgenutzt |
| 12  | Hasbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 |   |                                    |      |      |      |       |       | 3.31   |      |      |      |      |      |                 | 3.91            |
| 13  | Prenz                    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |   | 1.37                               |      |      |      |       | 1.36  | 1.62   |      |      |      |      |      |                 | 1.76            |
| 14  | Alldorf                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | f      | f | f | 5 | 5 | 5 | 1.56                               |      |      |      |       | 1.65  | 1.80   |      |      |      |      |      |                 | 1.40            |
| 15  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 |   | 1.58                               |      |      |      |       | 1.10  | 2.04   |      |      |      |      |      |                 | 1.55            |
| 16  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2      | 2 | 0 | 0 | 0 |   | 5.81                               |      |      |      |       | 2.17  | 1.48   |      |      |      |      |      |                 | 4.40            |
| 17  | Stb.-Bisbach             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 |   | 1.28                               |      |      |      |       | 8.39  | 5.12   |      |      |      |      |      |                 | 2.25            |
| 18  | Deuselbach/Hunsr.        | 0                   | 0 | 0 | 0 | f | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 19  | Schöneck/Elfel           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |   | 3.06                               |      |      |      |       | 6.13  | 5.25   |      |      |      |      |      |                 | 4.00            |
| 20  | Lockvogel                | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 4 | 0 | 0 |   | 84.30                              |      |      |      |       | 7.69  | 60.58  |      |      |      |      |      |                 | 5.12            |
| 30  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |                                    |      |      |      |       | 1.25  |        |      |      |      |      |      |                 | 1.41            |
| 31  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 0.90            |
| 32  | Dudweiler/Saar           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | f | f | 2 | 1.15                               |      |      |      |       | 4.97  | 4.19   |      |      |      |      |      |                 | 0.63            |
| 33  | Kolfersheim/Saar         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | f | 0 | 0.89                               |      |      |      |       | 4.52  | 4.36   |      |      |      |      |      |                 | 2.04            |
| 34  | Inden                    | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3.13                               |      |      |      |       | 2.10  | 2.51   |      |      |      |      |      |                 | 2.68            |
| 35  | Hasbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.94                               |      |      |      |       | 2.46  | 2.54   |      |      |      |      |      |                 | 1.84            |
| 50  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.53                               |      |      |      |       | 6.65  | 8.71   |      |      |      |      |      |                 | 4.95            |
| 51  | Kesseling, BAB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.53                               |      |      |      |       | 9.81  | 10.45  |      |      |      |      |      |                 | 3.19            |
| 52  | Kesseling, BAB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.34                               |      |      |      |       | 1.05  | 7.07   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.33                               |      |      |      |       | 6.58  | 7.92   |      |      |      |      |      |                 | 3.33            |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.04                               |      |      |      |       | 7.44  | 8.93   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.02                               |      |      |      |       | 2.90  | 6.82   |      |      |      |      |      |                 | 2.45            |
| 56  | Jülich/Weyburginsel      | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.36                               |      |      |      |       | 5.53  | 7.35   |      |      |      |      |      |                 | 2.25            |
| 57  | Jülich/Lobfeld           | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.64                               | 0.35 |      |      |       | 0.74  | 0.59   |      |      |      | 2.82 | 2.31 |                 |                 |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.06                               |      |      |      |       | 2.53  | 0.78   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |      |      |      | 12.48 |       |        |      |      |      |      |      |                 | 6.39            |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.15                               |      |      |      |       | 10.76 | 8.68   |      |      |      |      |      |                 | 2.78            |
| 61  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.53                               |      |      |      |       | 7.90  | 7.03   |      |      |      |      |      |                 | 3.83            |
| 62  | Hasbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.01                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 6.80            |
| 63  | Lockvogel                | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |                                    |      |      |      |       | 2.89  | 1.85   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 64  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.98                               |      |      |      |       | 0.42  | 0.46   |      |      |      |      |      |                 | 0.80            |
| 65  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | f      | 0 | 0 | 0 | 0 | f | 0.75                               |      |      |      |       |       |        | 1.46 |      |      |      |      |                 |                 |
| 66  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.52                               |      |      |      |       | 6.94  | 17.62  |      |      |      |      |      |                 | 4.97            |
| 67  | Jülich/Werscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.19                               |      |      |      |       | 7.56  | 6.58   |      |      |      |      |      |                 | 3.21            |
| 68  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2.28                               |      |      |      |       | 0.80  | 0.46   |      |      |      |      |      |                 | 0.48            |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 0.73                               |      |      |      |       | 1.03  | 1.28   |      |      |      |      |      |                 | 0.69            |
| 70  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2.54                               | 1.12 | 2.66 | 0.67 | 0.74  | 0.56  | 0.51   | 0.90 | 0.86 | 0.51 | 0.68 |      |                 | 3.03            |
| 71  | Jülich-Welldorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.09                               |      |      |      |       | 11.61 | 10.74  |      |      |      |      |      |                 | 3.56            |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 3.09            |
| 73  | Jülich/Werscher Höhe     | 5                   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |                                    |      |      |      |       | 2.94  | 2.26   |      |      |      |      |      |                 | 1.94            |
| 74  | Jülich/Werscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1.54                               |      |      |      |       | 5.92  | 0.59   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 75  | Jülich/Lobfeld           | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.74                               |      |      |      |       | 5.08  | 4.45   |      |      |      |      |      |                 |                 |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                   | f | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.71                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 2.73            |
| 102 | Jülich-Welldorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.14                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 2.40            |
| 103 | Jülich-Welldorf          | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.80                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 1.98            |
| 104 | Schönböden/Schl.-Holst.  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.29                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 3.03            |
| 105 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.63                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 3.94            |
| 106 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.75                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 6.08            |
| 107 | Stb.-Hastenrath          | f                   | 0 | 0 | 0 | f | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 0 |                                    |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 5.08            |
| 108 | Stb.-Hastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.49                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 2.04            |
| 109 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.64                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 2.32            |
| 110 | Stb.-Bauschenberg        | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.52                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 3.80            |
| 111 | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.81                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 3.73            |
| 112 | Stb.-Industrieregeln     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1.78                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 1.49            |
| 113 | Stb.-Industrieregeln     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3      | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1.94                               |      |      |      |       |       |        |      |      |      |      |      |                 | 1.56            |

0 = alt    1 = kein    2 = Pinzel    3 = gut 1/2    4 = noch vorhanden    5 = neu    f = fehlt

Tab. 10.6.6.: Kobaltgehalte in Steuerfedern von Elstern. Angaben in mg/kg

| Nr. | Ort                      | Hauser Steuerfedern |   |   |   |   |        |   |   |   |   | analytisierte Federn Steuerfeder-Nr. |      |      |      |      |        |      |      |      |      | Gefiederzustand |      |      |                   |                 |
|-----|--------------------------|---------------------|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|--------------------------------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-----------------|------|------|-------------------|-----------------|
|     |                          | links               |   |   |   |   | rechts |   |   |   |   | links                                |      |      |      |      | rechts |      |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
|     |                          | 6                   | 5 | 4 | 3 | 2 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6                                    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2      | 1    | 1    | 2    | 3    |                 | 4    | 5    | 6                 |                 |
| 1   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.65 | 1.52              | abgenutzt       |
| 2   | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.63 | 0.77              |                 |
| 3   | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 2.82 | 1.72              |                 |
| 4   | Lassersdorf              | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 2.24 | 0.73              |                 |
| 5   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.74                                 | 1.34 | 1.59 | 1.19 | 1.16 | 1.19   | 0.79 | 1.17 | 1.16 | 0.92 | 1.14            | 1.10 | 0.97 | 1.10              | abgenutzt       |
| 6   | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 7   | Prens                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.69                                 | 1.42 | 1.72 | 2.29 | 2.31 | 1.73   |      |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 8   | Stb.-Büsbach I           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.29                                 |      |      |      |      | 2.26   | 4.59 |      |      |      |                 |      | 1.33 |                   |                 |
| 9   | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 2.73                                 |      |      |      |      | 4.19   |      |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 10  | Stb.-Baumschenberg       | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 5 | 1 | 0 | 0 | 1.54                                 |      |      |      |      | 2.09   | 2.29 |      |      |      |                 | 1.18 |      |                   |                 |
| 11  | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 2.75                                 |      |      |      |      | 5.58   |      |      |      |      |                 |      |      |                   | stark abgenutzt |
| 12  | Hanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 |                                      |      |      |      |      |        | 1.16 |      |      |      |                 |      | 1.09 |                   |                 |
| 13  | Prens                    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.63                                 |      |      |      |      | 0.57   | 0.81 |      |      |      |                 |      | 0.73 |                   |                 |
| 14  | Altdorf                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | f | f | 5 | 5 | 0.83                                 |      |      |      |      | 0.80   | 0.77 |      |      |      |                 |      | 0.95 |                   |                 |
| 15  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 0 | 0 | 0.75                                 |      |      |      |      | 0.87   | 0.82 |      |      |      |                 |      | 0.90 |                   |                 |
| 16  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 2 | 5      | 2 | 2 | 0 | 0 | 1.65                                 |      |      |      |      | 0.66   | 0.15 |      |      |      |                 |      | 1.92 |                   |                 |
| 17  | Stb.-Büsbach             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 0.49                                 |      |      |      |      | 1.91   | 2.17 |      |      |      |                 |      | 0.78 |                   |                 |
| 18  | Deuselbach/Hunser        | 0                   | 0 | 0 | 0 | f | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 19  | Schönacken/Elfel         | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.05                                 |      |      |      |      | 1.66   | 1.52 |      |      |      |                 |      | 1.33 |                   |                 |
| 20  | Lochvogel                | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 4      | 4 | 0 | 4 | 0 | 11.83                                |      |      |      |      | 5.81   | 6.68 |      |      |      |                 |      | 5.89 | irreg. Hauser     |                 |
| 30  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 |                                      |      |      |      |      |        | 0.38 |      |      |      |                 |      | 0.40 |                   |                 |
| 31  | Stb.-Berth               | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 5 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.36 |                   |                 |
| 32  | Dudweiler/Saar           | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | f | f | 3.49                                 |      |      |      |      | 1.55   | 1.24 |      |      |      |                 |      | 0.14 | S-1 l abgebr.     |                 |
| 33  | Kolfsarschein/Saar       | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | f | 0.76                                 |      |      |      |      | 1.87   | 1.66 |      |      |      |                 |      | 0.97 | S-6 l ( S-6 r     |                 |
| 34  | Inden                    | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.61                                 |      |      |      |      | 1.25   | 1.21 |      |      |      |                 |      | 1.01 |                   |                 |
| 35  | Hanbach                  | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 1.04                                 |      |      |      |      | 1.25   | 1.32 |      |      |      |                 |      | 0.93 |                   |                 |
| 50  | Inden                    | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.90                                 |      |      |      |      | 2.47   | 3.15 |      |      |      |                 |      | 1.90 |                   |                 |
| 51  | Fesseling, BAB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.17                                 |      |      |      |      | 1.87   | 1.44 |      |      |      |                 |      | 1.73 |                   |                 |
| 52  | Fesseling, BAB Köln-Bonn | 0                   | 0 | 0 | 0 | 4 | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.23                                 |      |      |      |      | 0.38   | 1.78 |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 53  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.66                                 |      |      |      |      | 1.47   | 1.74 |      |      |      |                 |      | 0.89 |                   |                 |
| 54  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.02                                 |      |      |      |      | 1.54   | 1.69 |      |      |      |                 |      | 0.75 | S-6 r ) S-6 l     |                 |
| 55  | Jülich/Extra             | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.02                                 |      |      |      |      | 0.54   | 1.28 |      |      |      |                 |      | 0.82 | S-6 l abgebr.     |                 |
| 56  | Jülich/Heyburg/Insel     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.74                                 |      |      |      |      | 1.53   | 1.25 |      |      |      |                 |      | 0.72 | S-1 l abgebr.     |                 |
| 57  | Jülich/Lochfeld          | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.11                                 |      |      |      |      | 0.20   | 0.17 |      |      |      |                 | 0.72 | 0.62 |                   |                 |
| 58  | Jülich/Zoo               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.73                                 |      |      |      |      | 1.15   | 0.43 |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 59  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 0 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      | 4.66   |      |      |      |      |                 |      | 3.30 |                   |                 |
| 60  | Jülich-Güsten            | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.72                                 |      |      |      |      | 5.61   | 3.89 |      |      |      |                 |      | 1.45 |                   |                 |
| 61  | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.98                                 |      |      |      |      | 2.12   | 2.39 |      |      |      |                 |      | 1.23 |                   |                 |
| 62  | Hanbach                  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.40                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 3.60 | sandiges Gefieder |                 |
| 63  | Lochvogel                | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                      |      |      |      |      | 0.57   | 0.33 |      |      |      |                 |      |      | irreg. Hauser     |                 |
| 64  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                      |      |      |      |      | 0.16   | 0.16 |      |      |      |                 |      | 0.25 |                   |                 |
| 65  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | f | 0 | 0 | 0 | 0.19                                 |      |      | 0.34 |      | 0.78   |      | 0.42 |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 66  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 5      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.25                                 |      |      |      |      | 2.01   | 5.54 |      |      |      |                 |      | 2.01 | S-1 r ) S-1 l     |                 |
| 67  | Jülich/Berscher Höhe     | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.57                                 |      |      |      |      | 2.47   | 2.57 |      |      |      |                 |      | 1.29 |                   |                 |
| 68  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.23                                 |      |      |      |      | 0.27   | 0.27 |      |      |      |                 |      | 0.18 |                   |                 |
| 69  | Jülich/Wasserwerk        | 5                   | 5 | 5 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 5 | 5 | 0.44                                 |      |      |      |      | 0.45   | 0.53 |      |      |      |                 |      | 0.31 |                   |                 |
| 70  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.15                                 | 0.45 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | 0.15   | 0.21 | 0.13 | 0.13 | 0.16 | 0.22            | 0.67 |      |                   |                 |
| 71  | Jülich-Beildorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.92                                 |      |      |      |      | 1.57   | 1.55 |      |      |      |                 |      | 1.05 |                   |                 |
| 72  | Jülich/Wasserwerk        | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.30 |                   |                 |
| 73  | Jülich/Berscher Höhe     | 5                   | 5 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 |                                      |      |      |      |      | 1.06   | 0.74 |      |      |      |                 |      | 0.60 |                   |                 |
| 74  | Jülich/Berscher Höhe     | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.54                                 |      |      |      |      | 0.25   | 0.22 |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 75  | Jülich/Lochfeld          | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 |                                      |      |      |      |      | 1.74   | 1.62 |      |      |      |                 |      |      |                   |                 |
| 101 | Jülich-Güsten            | 0                   | f | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.64                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.11 |                   |                 |
| 102 | Jülich-Beildorf          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.28                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.23 | sehr gut          |                 |
| 103 | Jülich-Beildorf          | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 4      | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.75                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.99 |                   |                 |
| 104 | Schönböken/Schl.-Holst.  | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.75                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.45 | S-6 l ) S-6 r     |                 |
| 105 | Stb.-Kastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.53                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 2.02 | S-6 l ) S-6 r     |                 |
| 106 | Stb.-Kastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 0 | 0 | 0 | 3.04                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 3.51 |                   |                 |
| 107 | Stb.-Kastenrath          | f                   | 0 | 0 | 0 | f | 0      | 0 | f | 0 | 0 |                                      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.96 |                   |                 |
| 108 | Stb.-Kastenrath          | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.99                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.17 | S-6 l ) S-6 r     |                 |
| 109 | Stb.-Baumschenberg       | 5                   | 5 | 5 | 5 | 4 | 4      | 4 | 5 | 5 | 5 | 0.38                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.36 |                   |                 |
| 110 | Stb.-Baumschenberg       | 5                   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5      | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.68                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.54 |                   |                 |
| 111 | Stb.-Berth               | 0                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.44                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 1.97 |                   |                 |
| 112 | Stb.-Industriegelände    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 4      | 4 | 4 | 4 | 4 | 0.83                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.77 |                   |                 |
| 113 | Stb.-Industriegelände    | 4                   | 4 | 4 | 4 | 4 | 3      | 3 | 4 | 4 | 4 | 1.05                                 |      |      |      |      |        |      |      |      |      |                 |      | 0.84 |                   |                 |

0 = alt      1 = kein      2 = Pinsel      3 = gut 1/2      4 = noch wachsend      5 = neu      f = fehlt

Tab. 10.7: Schwermetallgehalte in Handschwingen von Habicht, Elster und Rabenkrähe.  
Angaben in mg/kg.

|                                       | HS-1   | HS-2   | HS-3   | HS-4   | HS-5   | HS-6   | HS-7   | HS-8   | HS-9   | HS-10  |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. Habicht (♂) im Jugendstadium       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rechter Flügel                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Blech                                 | 118,63 | 115,88 | 127,18 | 130,08 | 115,50 | 125,93 | 124,47 | 113,35 | 99,40  | 94,70  |
| Cadmium                               | 0,05   | 0,19   | 0,09   | 0,07   | 0,14   | 0,21   | 0,23   | 0,25   | 0,20   | 0,10   |
| Blei                                  | 2,20   | 3,10   | 3,33   | 5,41   | 7,21   | 11,26  | 11,30  | 9,58   | 7,66   | 4,86   |
| Kupfer                                | 5,60   | 5,55   | 6,06   | 5,66   | 7,08   | 9,64   | 8,63   | 6,62   | 6,57   | 6,34   |
| Nickel                                | 0,37   | 0,64   | 0,56   | 0,64   | 1,08   | 1,34   | 1,45   | 1,05   | 0,86   | 0,90   |
| Kobalt                                | 0,09   | 0,13   | 0,13   | 0,16   | 0,16   | 0,23   | 0,33   | 0,16   | 0,12   | 0,07   |
| 2. Habicht (♀) im Adultstadium        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| linker Flügel                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Schwanz-Holzstern                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Zinn                                  | 129,10 | 137,22 | 142,06 | 131,98 | 125,99 | 127,29 | 128,31 | 102,26 | 113,28 | 119,33 |
| Cadmium                               | 0,27   | 0,28   | 0,23   | 0,39   | 0,66   | 0,56   | 0,51   | 0,37   | 0,25   | 0,21   |
| Blei                                  | 7,44   | 8,97   | 9,40   | 12,60  | 15,92  | 20,19  | 18,17  | 15,98  | 12,12  | 7,68   |
| Kupfer                                | 6,94   | 7,19   | 6,77   | 6,93   | 8,27   | 9,40   | 7,30   | 6,51   | 6,12   | 6,14   |
| Nickel                                | 1,27   | 1,95   | 2,04   | 2,64   | 2,30   | 2,28   | 2,15   | 1,81   | 1,70   | 1,53   |
| Kobalt                                | 0,27   | 0,40   | 0,47   | 0,62   | 0,65   | 0,63   | 0,56   | 0,43   | 0,37   | 0,21   |
| 3. Elstereibschchen (E-5), mehrjährig |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rechter Flügel                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Stoßberg-Berth                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Zinn                                  | 249,90 | 174,30 | 209,20 | 222,40 | 338,80 | 233,40 | 236,10 | 216,10 | 237,50 | 264,80 |
| Cadmium                               | 10,69  | 11,60  | n.a.   | 12,15  | 13,96  | 13,50  | 14,50  | 11,00  | 11,45  | 9,80   |
| Blei                                  | 234,00 | 217,90 | n.a.   | 325,20 | 338,40 | 342,90 | 340,00 | 277,50 | 323,30 | 345,20 |
| Kupfer                                | 21,22  | 33,70  | 53,67  | 52,37  | 45,16  | 42,57  | 44,14  | 31,32  | 21,10  | 29,29  |
| Nickel                                | n.a.   | 2,13   | 4,35   | 3,97   | 2,75   | 3,17   | 3,14   | 2,26   | 4,96   | 1,87   |
| Kobalt                                | 0,56   | 0,59   | 0,60   | 0,54   | 0,55   | 0,57   | 0,46   | 0,55   | 0,45   | 0,66   |
| 4. Elster, (E-31), flügel Jungvogel   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rechter Flügel                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Stoßberg-Berth                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Zinn                                  | 140,30 | 247,10 | 245,80 | 239,90 | 125,10 | 145,40 | 160,70 | 150,30 | 150,10 | 160,30 |
| Cadmium                               | 1,85   | 3,57   | 4,11   | 3,56   | 1,78   | 1,75   | 4,67   | 1,01   | 1,14   | 1,19   |
| Blei                                  | 126,80 | 184,30 | 209,80 | 177,10 | 89,00  | 82,50  | 66,90  | 59,40  | 61,20  | 61,20  |
| Kupfer                                | 12,40  | 26,25  | 26,60  | 27,60  | 12,50  | 11,10  | 10,00  | 9,43   | 6,09   | 6,09   |
| Nickel                                | 2,01   | 1,72   | 1,34   | 1,56   | 1,05   | 0,79   | 0,86   | 0,76   | 0,65   | 1,22   |
| Kobalt                                | 0,32   | 0,53   | 0,51   | 0,44   | 0,66   | 0,46   | 0,26   | 0,32   | 0,37   | 0,33   |
| 5. Rabenkrähe                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Blech                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Stoßberg-Berth                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Zinn                                  | 175,38 | 168,33 | 167,80 | 136,16 | 147,68 | 157,41 | 155,50 | 145,86 | 147,22 | 156,92 |
| Cadmium                               | 0,15   | 0,15   | 0,16   | 0,21   | 0,21   | 0,26   | 0,33   | 0,24   | 0,22   | 0,20   |
| Blei                                  | 7,42   | 6,75   | 9,52   | 9,95   | 12,11  | 12,62  | 11,79  | 12,21  | 10,14  | 7,59   |
| Kupfer                                | 4,10   | 3,52   | 3,97   | 3,42   | 3,44   | 4,04   | 4,80   | 4,71   | 4,18   | 4,12   |
| Nickel                                | 0,56   | 0,41   | 0,50   | 1,78   | 1,21   | 1,07   | 0,98   | 0,84   | 0,70   | 1,51   |
| Kobalt                                | 0,17   | 0,17   | 0,22   | 0,13   | 0,17   | 0,18   | 0,19   | 0,19   | 0,19   | 0,10   |

Tab. 10.8.: Schwermetallgehalte in wachsenden Steuerfedern juveniler Elstern. Angaben in mg/kg.

| Vogel-Nr. | Fangdatum | Feder               | a<br>[cm] | b<br>[cm] | Zn             | Cd            | Pb             | Cu             | Ni            | Co            |
|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| E-64      | 30.06.85  | 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          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 18.1      | 4.1       | 195.8<br>±15.3 | 0.18<br>±0.09 | 5.73<br>±0.57  | 5.17<br>±1.04  | 0.47<br>±0.01 | 0.16<br>±0.00 |
| E-68      | 30.06.85  | S-1 l               | 18.5      | 4.5       | 201.9          | 0.17          | 7.92           | 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          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 18.6      | 4.5       | 210.5<br>±8.6  | 0.17<br>±0.00 | 7.01<br>±0.91  | 4.15<br>±0.00  | 0.63<br>±0.17 | 0.27<br>±0.00 |
| E-70      | 15.07.85  | 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          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 21.5      | 4.3       | 279.3<br>±11.0 | 0.22<br>±0.01 | 7.60<br>±0.16  | 3.67<br>±0.44  | 0.54<br>±0.03 | 0.18<br>±0.03 |
| E-74      | 08.07.85  | S-1 l               | 21.5      | 3.0       | 200.5          | 0.48          | 11.20          | 14.54          |               | 0.25          |
|           |           | S-1 r               | 21.5      | 3.1       | 213.7          | 0.40          | 10.50          | 14.85          | 0.59          | 0.21          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 21.5      | 3.1       | 207.1<br>±6.6  | 0.44<br>±0.04 | 10.85<br>±0.35 | 14.70<br>±0.16 | 0.59<br>±0.00 | 0.23<br>±0.02 |
| E-69      | 04.07.85  | S-1 l               | 21.7      | 0.2       | 231.0          | 0.33          | 13.59          | 9.33           | 1.03          | 0.44          |
|           |           | S-1 r               | 21.7      | 0.1       | 242.8          | 0.32          | 13.55          | 6.96           | 1.28          | 0.53          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 21.7      | 0.2       | 236.9<br>±5.9  | 0.33<br>±0.01 | 13.57<br>±0.02 | 8.15<br>±1.19  | 1.16<br>±0.13 | 0.49<br>±0.05 |
| E-73      | 15.07.85  | S-1 l               | 22.3      | 0.1       | 519.4          | 0.79          | 20.02          | 4.89           | 2.94          | 1.07          |
|           |           | S-1 r               | 22.2      | 0.0       | 476.3          | 0.63          | 15.85          | 4.84           | 2.26          | 0.74          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 22.3      | 0.1       | 497.9<br>±21.6 | 0.71<br>±0.08 | 17.94<br>±2.09 | 4.87<br>±0.03  | 2.60<br>±0.34 | 0.91<br>±0.17 |
| E-75      | 11.10.85  | S-1 l               | 23.1      | 0.0       | 494.0          | 1.50          | 84.20          | 11.70          | 5.08          | 1.74          |
|           |           | S-1 r               | 23.1      | 0.0       | 476.6          | 1.46          | 75.80          | 12.70          | 4.45          | 1.62          |
|           |           | Mittelw.<br>Stdabw. | 23.1      | 0.0       | 485.3<br>±8.7  | 1.48<br>±0.02 | 80.00<br>±4.20 | 12.2<br>±0.50  | 4.77<br>±0.32 | 1.68<br>±0.06 |

a = Gesamtlänge der Feder  
b = Länge der Federscheide

Mittelw. = Mittelwert  
Stdabw. = Standardabweichung

Tab. 10.9.: Informationen zu den exponierten Elster-Armschwingen und Zuordnung im Versuch

| Ringnr. | Elster-Nr. | Flügel | Fangort     | Fangdatum | Bemerkung             |
|---------|------------|--------|-------------|-----------|-----------------------|
| A       | E-64       | links  | Jülich      | 30.06.85  | Steuerfedern wachsend |
| B       | E-64       | rechts | Jülich      | 30.06.85  | Steuerfeder wachsend  |
| C       | E-68       | links  | Jülich      | 30.06.85  | Steuerfeder wachsend  |
| D       | E-68       | rechts | Jülich      | 30.06.85  | Steuerfeder wachsend  |
| E       | E-69       | links  | Jülich      | 04.07.85  | Steuerfeder wachsend  |
| G       | E-13       | links  | Frenz       | 21.06.84  | Steuerfeder wachsend  |
| H       | E-13       | rechts | Frenz       | 21.06.84  | Steuerfeder wachsend  |
| I       | E-103      | links  | Jül.-Weild. | 06.07.87  | Steuerfeder wachsend  |
| J       | E-103      | rechts | Jül.-Weild. | 06.07.87  | Steuerfeder wachsend  |

**Tab. 10.10.: Schwermetallgehalte in Elster-Armschwingen nach unterschiedlich langen Expositionszeiten  
an drei Standorten mit unterschiedlicher Belastungssituation. Angaben in mg/kg.**

| Expositions-<br>dauer |        | Stolbg.-Bischofshausen |         |          |         | Stolberg-Werth |         |         |          | Jülich-Garten |        |        |        |        |           |          |
|-----------------------|--------|------------------------|---------|----------|---------|----------------|---------|---------|----------|---------------|--------|--------|--------|--------|-----------|----------|
| Datum                 | [Tage] | D                      | E       | Mittelw. | Stdabw. | A              | B       | C       | Mittelw. | Stdabw.       | G      | H      | I      | J      | Mittelw.* | Stdabw.* |
| 1. Zink               |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | 161.5                  | 157.7   | 159.6    | 1.9     | 152.0          | 111.2   | 151.8   | 138.3    | 23.5          | 130.1  | 147.5  | 132.8  | 140.1  | 136.8     | 9.4      |
| 26.08.88              | 36     | 239.3                  | 208.4   | 223.9    | 15.5    | 231.3          | 249.7   | 256.5   | 245.8    | 13.0          | 264.9  | 336.7  | 257.1  | 267.7  | 266.2     | 43.9     |
| 14.10.88              | 85     | 323.7                  | 382.1   | 352.9    | 29.2    | 422.0          | 356.2   | 581.8   | 453.3    | 116.0         | 379.4  | 391.6  | 339.6  | 469.6  | 370.2     | 27.2     |
| 07.12.88              | 139    | 657.1                  | 648.4   | 652.8    | 4.4     | 944.2          | 859.8   | 1042.0  | 948.7    | 91.2          | 554.7  | 596.2  | n.a.   | 646.2  | 575.45    | 20.75    |
| 14.01.89              | 177    | 569.8                  | 645.0   | 607.4    | 37.6    | 792.0          | 813.8   | 883.5   | 829.8    | 47.8          | 537.7  | 588.8  | 582.6  | 859.8  | 569.7     | 27.9     |
| 05.03.89              | 232    | 759.9                  | 775.5   | 767.7    | 7.8     | 1040.8         | 945.8   | 1110.3  | 1032.3   | 82.6          | 555.2  | 586.1  | 737.9  | 1042.8 | 626.4     | 97.8     |
| 31.03.89              | 258    | 803.6                  | 752.6   | 778.1    | 25.5    | 1219.1         | 924.3   | 1073.1  | 1072.2   | 147.4         | 704.0  | 703.5  | 840.8  | 1470.2 | 776.1     | 68.7     |
| 2. Cadmium            |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | 0.14                   | 0.13    | 0.14     | 0.01    | 0.18           | 0.08    | 0.19    | 0.15     | 0.06          | 0.47   | 0.65   | 0.46   | 0.38   | 0.53      | 0.11     |
| 26.08.88              | 36     | 4.87                   | 4.61    | 4.74     | 0.13    | 6.16           | 2.07    | 6.30    | 4.84     | 2.40          | 1.01   | 1.17   | 0.76   | 1.10   | 0.98      | 0.21     |
| 14.10.88              | 85     | 29.07                  | 34.17   | 31.62    | 2.55    | 24.50          | 13.21   | 16.09   | 17.93    | 5.87          | 1.52   | 1.81   | 1.11   | 1.56   | 1.48      | 0.35     |
| 07.12.88              | 139    | 38.88                  | 58.93   | 48.91    | 10.02   | 51.98          | 42.05   | 50.92   | 48.32    | 5.45          | 3.40   | 3.19   | n.a.   | 4.77   | 3.30      | 0.11     |
| 14.01.89              | 177    | 46.88                  | 41.13   | 44.01    | 2.88    | 64.02          | 57.96   | 68.41   | 63.46    | 5.25          | 4.09   | 4.09   | 4.29   | 5.71   | 4.16      | 0.12     |
| 05.03.89              | 232    | 48.29                  | 57.09   | 52.69    | 4.40    | 72.97          | 63.18   | 83.34   | 73.16    | 10.08         | 4.61   | 3.35   | 4.32   | 6.65   | 4.09      | 0.66     |
| 31.03.89              | 258    | 70.74                  | 48.11   | 59.43    | 11.32   | 89.56          | 63.65   | 76.76   | 76.66    | 12.96         | 4.66   | 5.17   | 4.86   | 7.32   | 4.90      | 0.28     |
| 3. Blei               |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | 11.59                  | 28.42   | 20.01    | 8.42    | 12.29          | 11.30   | 8.27    | 10.62    | 2.09          | 8.03   | 11.72  | 8.95   | 8.10   | 9.57      | 1.92     |
| 26.08.88              | 36     | 90.70                  | 106.74  | 98.72    | 8.02    | 93.30          | 54.84   | 91.08   | 79.74    | 21.59         | 31.63  | 33.52  | 25.98  | 29.86  | 30.38     | 3.92     |
| 14.10.88              | 85     | 382.35                 | 509.92  | 446.14   | 63.78   | 440.33         | 302.37  | 406.32  | 383.01   | 71.87         | 80.20  | 77.23  | 57.97  | 99.32  | 71.80     | 12.07    |
| 07.12.88              | 139    | 783.52                 | 931.90  | 857.71   | 74.19   | 1078.64        | 1001.15 | 1299.20 | 1126.33  | 154.64        | 140.69 | 181.69 | n.a.   | 303.76 | 165.19    | 16.50    |
| 14.01.89              | 177    | 910.41                 | 892.89  | 901.65   | 8.76    | 1370.57        | 1466.27 | 1578.45 | 1471.76  | 104.05        | 163.18 | 164.85 | 195.66 | 352.30 | 174.56    | 18.29    |
| 05.03.89              | 232    | 1118.54                | 1200.49 | 1159.52  | 40.97   | 2028.55        | 2070.89 | 2797.28 | 2298.91  | 432.12        | 243.78 | 199.80 | 261.26 | 574.02 | 234.95    | 31.67    |
| 31.03.89              | 258    | 1540.31                | 1299.37 | 1419.84  | 120.47  | 2509.20        | 2084.90 | 2330.89 | 2308.33  | 213.05        | 270.33 | 292.82 | 276.10 | 696.98 | 279.75    | 11.68    |
| 4. Kupfer             |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | 7.85                   | 6.70    | 7.28     | 0.58    | 10.81          | 9.27    | 7.53    | 9.20     | 1.64          | 5.06   | 5.63   | 9.31   | 8.73   | 6.67      | 2.31     |
| 26.08.88              | 36     | 61.06                  | 65.04   | 63.05    | 1.99    | 64.53          | 24.06   | 55.10   | 48.16    | 20.72         | 10.38  | 9.16   | 9.21   | 10.00  | 9.58      | 0.69     |
| 14.10.88              | 85     | 199.71                 | 210.77  | 205.24   | 5.53    | 147.24         | 97.07   | 141.79  | 128.70   | 27.53         | 21.77  | 22.34  | 15.00  | 23.77  | 19.70     | 4.08     |
| 07.12.88              | 139    | 563.10                 | 714.10  | 638.60   | 75.50   | 346.11         | 320.27  | 549.62  | 405.33   | 125.62        | 37.11  | 42.60  | n.a.   | 62.11  | 39.86     | 2.74     |
| 14.01.89              | 177    | 603.85                 | 811.66  | 707.76   | 103.90  | 443.61         | 479.01  | 422.22  | 448.28   | 28.68         | 36.78  | 41.61  | 36.33  | 81.88  | 38.24     | 2.93     |
| 05.03.89              | 232    | 805.75                 | 716.99  | 761.37   | 44.38   | 893.32         | 848.75  | 1034.15 | 1025.41  | 268.31        | 53.65  | 54.11  | 55.05  | 106.14 | 54.54     | 1.16     |
| 31.03.89              | 258    | 868.82                 | 1128.80 | 998.81   | 129.99  | 1426.97        | 1012.47 | 1255.49 | 1231.64  | 208.28        | 61.10  | 60.57  | 61.14  | 126.68 | 63.60     | 4.30     |
| 5. Nickel             |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | n.a.                   | n.a.    | 0.00     |         | n.a.           | n.a.    | n.a.    | 0.00     |               | 1.01   | 1.67   | n.a.   | n.a.   | 1.34      | 0.33     |
| 26.08.88              | 36     | 3.23                   | 2.86    | 3.05     | 0.19    | 4.18           | 2.37    | 4.07    | 3.54     | 1.01          | 3.13   | 2.72   | 2.61   | 3.91   | 2.82      | 0.27     |
| 14.10.88              | 85     | 5.91                   | 5.86    | 5.89     | 0.03    | 7.59           | 4.83    | 6.97    | 6.46     | 1.45          | 8.00   | 9.10   | 8.14   | 11.27  | 8.41      | 0.60     |
| 07.12.88              | 139    | 10.21                  | 12.02   | 11.12    | 0.90    | 17.13          | 17.57   | 23.10   | 19.27    | 3.33          | 16.45  | 17.75  | n.a.   | 33.48  | 17.10     | 0.65     |
| 14.01.89              | 177    | 19.56                  | 16.58   | 18.07    | 1.49    | 28.43          | 30.79   | 38.62   | 32.61    | 5.33          | 18.37  | 23.83  | 21.37  | 35.78  | 21.19     | 2.73     |
| 05.03.89              | 232    | 22.08                  | 28.29   | 25.19    | 3.11    | 32.08          | 33.58   | 41.47   | 35.71    | 5.04          | 22.42  | 18.39  | 23.09  | 40.37  | 21.30     | 2.54     |
| 31.03.89              | 258    | 26.94                  | 23.38   | 25.16    | 1.78    | 42.17          | 32.33   | 38.68   | 37.73    | 4.99          | 28.10  | 30.80  | 31.88  | 45.52  | 30.25     | 1.94     |
| 6. Kobalt             |        |                        |         |          |         |                |         |         |          |               |        |        |        |        |           |          |
| 21.07.88              | 0      | n.a.                   | n.a.    | 0.00     |         | n.a.           | n.a.    | n.a.    | 0.00     |               | 0.34   | 0.48   | n.a.   | n.a.   | 0.41      | 0.07     |
| 26.08.88              | 36     | 0.42                   | 0.38    | 0.40     | 0.02    | 0.44           | 0.38    | 0.45    | 0.42     | 0.04          | 0.89   | 0.88   | 0.66   | 0.99   | 0.81      | 0.13     |
| 14.10.88              | 85     | 0.70                   | 0.84    | 0.77     | 0.07    | 0.96           | 0.83    | 0.98    | 0.92     | 0.08          | 1.54   | 1.52   | 1.27   | 1.72   | 1.44      | 0.15     |
| 07.12.88              | 139    | 1.18                   | 1.38    | 1.28     | 0.10    | 1.76           | 1.77    | 2.23    | 1.92     | 0.27          | 3.16   | 3.36   | n.a.   | 5.82   | 3.26      | 0.10     |
| 14.01.89              | 177    | 1.90                   | 1.58    | 1.74     | 0.16    | 2.66           | 3.15    | 3.42    | 3.08     | 0.39          | 3.27   | 4.73   | 3.47   | 5.55   | 3.62      | 0.79     |
| 05.03.89              | 232    | 2.30                   | 2.47    | 2.39     | 0.08    | 2.35           | 2.97    | 3.51    | 2.94     | 0.58          | 4.05   | 2.89   | 3.98   | 5.55   | 3.64      | 0.65     |
| 31.03.89              | 258    | 2.93                   | 2.42    | 2.68     | 0.26    | 3.64           | 3.06    | 3.38    | 3.36     | 0.29          | 5.14   | 5.20   | 4.26   | 5.72   | 4.67      | 0.53     |

n.a. = nicht auswertbar

\* = Am Standort Jülich wurde der Ring J aus den Berechnungen ausgeschlossen

Tab. 10.11.: Schwermetallgehalte in Habicht-Handschwingen. Angaben in mg/kg.

| Ort                       | Jahr | Handschwinge | Zink  | Cadmium | Blei   | Kupfer | Nickel | Kobalt |
|---------------------------|------|--------------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Eschweiler                | 1987 | HS-2 l       | 75.8  | 0.84    |        |        | 4.41   | 0.50   |
|                           |      | HS-2 r       | 129.7 | 0.76    | 20.79  | 6.00   | 4.42   | 1.24   |
|                           |      | HS-3 l       | 81.0  | 0.87    |        |        | 6.94   | 1.22   |
|                           |      | HS-3 r       | 173.0 | 0.74    | 28.45  | 8.83   | 5.21   | 1.58   |
|                           |      | HS-4 l       | 156.3 | 0.74    | 30.40  | 9.45   | 5.49   | 1.70   |
|                           |      | HS-5 l       | 81.3  | 0.66    | 45.26  | 12.21  | 5.69   | 1.49   |
|                           |      | HS-5 r       | 83.4  | 0.97    | 56.32  | 10.05  | 5.67   | 1.05   |
|                           |      | HS-6 r       | 48.8  | 0.53    | 153.05 | 49.55  | 6.84   | 0.76   |
|                           | 1988 | HS-1 l       | 83.3  | 0.66    | 28.10  | 11.15  | 3.66   | 0.96   |
|                           |      | HS-1 r       | 111.1 | 0.52    | 22.38  | 10.15  | 3.25   | 0.97   |
|                           |      | HS-2 r       | 126.9 | 0.57    | 19.05  | 6.00   | 3.14   | 0.87   |
|                           |      | HS-3 l       | 132.4 | 0.56    | 24.74  | 7.08   | 4.22   | 1.21   |
|                           |      | HS-3 r       | 105.4 | 0.95    | 28.16  | 12.22  | 3.83   | 0.94   |
|                           |      | HS-4 l       | 86.9  | 0.77    | 34.71  | 9.65   | 4.69   | 1.23   |
|                           |      | HS-4 r       | 81.0  | 0.74    | 30.39  | 9.91   | 4.07   | 1.02   |
| Stolberg/<br>Gressenich I | 1987 | HS-2 r       | 87.9  | 1.13    | 64.91  | 64.28  | 4.45   | 0.61   |
|                           |      | HS-3 r       | 90.2  | 1.12    | 79.65  | 74.96  | 5.38   | 0.66   |
|                           |      | HS-5 r       | 58.9  | 0.95    | 111.81 | 108.79 | 5.98   | 0.66   |
|                           |      | HS-7 r       | 46.0  | 0.85    | 120.68 | 128.84 | 5.62   | 0.53   |
|                           | 1988 | HS-2 l       | 76.6  | 1.24    | 47.83  | 28.16  | 3.79   | 0.53   |
|                           |      | HS-3 l       | 81.6  | 1.31    | 64.08  | 44.50  | 3.79   | 0.62   |
|                           |      | HS-4 l       | 88.3  | 1.32    | 68.51  | 50.00  | 3.42   | 0.53   |
|                           |      | HS-4 r       | 60.7  | 1.01    | 57.99  | 50.43  | 4.53   | 0.53   |
|                           | 1987 | HS-2 l       | 122.6 | 0.76    | 52.69  | 26.88  | 1.97   | 0.38   |
|                           |      | HS-4 l       | 81.8  | 0.66    | 54.07  | 30.43  | 2.75   | 0.35   |
|                           |      | HS-4 r       | 116.7 | 0.91    | 75.43  | 30.21  | 2.52   | 0.54   |
|                           |      | HS-5 l       | 101.3 | 0.60    | 20.50  | 9.77   | 4.53   | 1.15   |
| Jülich/<br>Stettelnich    | 1987 | HS-1 l       | 109.9 | 0.29    | 14.39  | 6.55   | 2.18   | 0.85   |
|                           |      | HS-1 r       | 57.7  | 0.36    | 19.96  | 9.55   | 2.90   | 0.58   |
|                           |      | HS-2 l       | 104.7 | 0.35    | 19.74  | 7.06   | 2.54   | 0.97   |
|                           |      | HS-2 r       | 120.4 | 0.33    | 20.12  | 7.61   | 2.85   | 1.08   |
|                           | 1988 | HS-4 l       | 89.9  | 0.38    | 22.75  | 8.16   | 3.83   | 1.01   |
|                           |      | HS-1 l       | 96.7  | 0.33    | 18.04  | 6.69   | 2.37   | 0.51   |
|                           |      | HS-1 r       | 91.6  | 0.31    | 16.23  | 7.38   | 2.41   | 0.43   |
|                           |      | HS-4 l       | 82.0  | 0.27    | 17.86  | 6.31   | 2.76   | 0.42   |
|                           | 1987 | HS-4 r       | 77.0  | 0.34    | 20.02  | 8.16   | 2.81   | 0.51   |
|                           |      | HS-1 l       | 243.6 | 0.16    | 12.82  | 5.74   | 1.75   | 0.44   |
|                           |      | HS-2 l       | 164.5 | 0.25    | 18.52  | 7.13   | 2.71   | 0.45   |
|                           |      | HS-2 r       | 280.0 | 0.26    | 24.23  | 7.17   | 3.09   | 0.58   |
|                           | 1988 | HS-3 l       | 304.4 | 0.26    | 21.04  | 6.24   | 3.25   | 0.53   |
|                           |      | HS-3 r       | 438.2 | 0.33    | 30.06  | 7.44   | 3.66   | 0.49   |
|                           |      | HS-4 l       | 208.8 | 0.33    | 29.21  | 7.33   | 2.97   | 0.46   |
| Jülich/KFA                | 1987 | HS-1 l       | 93.8  | 0.32    | 13.08  | 5.14   | 2.48   | 0.39   |
|                           |      | HS-2 r       | 81.9  | 0.23    | 13.02  | 4.62   | 1.79   | 0.30   |
|                           |      | HS-3 l       | 105.8 | 0.25    | 12.41  | 4.59   | 2.27   | 0.44   |
|                           | 1988 | HS-1 r       | 83.3  | 0.46    | 21.83  | 9.71   | 4.50   | 0.96   |
|                           |      | HS-2 l       | 87.2  | 0.41    | 21.45  | 9.91   | 4.42   | 0.90   |
|                           |      | HS-2 r       | 68.1  | 0.48    | 23.41  | 10.17  | 3.92   | 0.78   |
|                           |      | HS-5 l       | 67.2  | 0.60    | 36.53  | 13.59  | 4.81   | 1.03   |
|                           | 1987 | HS-6 r       | 56.0  | 0.45    | 31.99  | 12.76  | 5.31   | 1.11   |
|                           |      | HS-2 l       | 123.9 | 0.50    | 14.51  | 6.33   | 2.46   | 0.45   |
|                           |      | HS-3 l       | 134.7 | 0.52    | 14.94  | 5.70   | 2.91   | 0.58   |
|                           |      | HS-5 l       | 107.1 | 0.70    | 24.64  | 7.55   | 5.33   | 1.13   |
|                           | 1988 | HS-5 r       | 79.2  | 0.70    | 26.04  | 7.03   | 5.31   | 1.13   |
|                           |      | HS-6 l       | 102.0 | 0.79    | 25.47  | 8.04   | 4.50   | 1.04   |
| Jülich/B-55 II            | 1988 | HS-1 l       | 93.8  | 0.21    | 11.38  | 4.33   | 2.42   | 0.58   |
|                           |      | HS-2 l       | 117.3 | 0.31    | 14.31  | 5.65   | 3.70   | 1.02   |
|                           |      | HS-3 r       | 86.3  | 0.35    | 15.17  | 5.84   | 3.21   | 0.78   |

Tab. 10.11.: Schwermetallgehalte in Habicht-Handschwingen. Angaben in mg/kg.

| Ort                         | Jahr | Handschwinge | Zink  | Cadmium | Blei    | Kupfer | Nickel | Kobalt |
|-----------------------------|------|--------------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Jülich/<br>Escher Gewähr    | 1987 | HS-1 r       | 59.7  | 0.44    | 21.25   | 10.77  | 5.36   | 0.70   |
|                             |      | HS-3 l       | 82.2  | 0.64    | 21.32   | 8.49   | 5.15   | 1.65   |
|                             |      | HS-4 r       | 61.5  | 0.56    | 23.66   | 10.11  | 7.30   | 1.17   |
|                             | 1988 | HS-1 r       | 99.9  | 0.57    | 22.62   | 8.13   | 3.99   | 0.96   |
|                             |      | HS-2 l       | 94.4  | 0.49    | 27.53   | 8.91   | 3.68   | 0.89   |
|                             |      | HS-3 l       | 98.2  | 0.49    | 25.01   | 7.46   | 3.76   | 0.93   |
|                             |      | HS-5 l       | 109.1 | 0.50    | 1786.00 | 6.89   | 2.89   | 0.73   |
| Jülich/<br>Hambach          | 1988 | HS-1 l       | 78.0  | 0.16    | 12.16   | 4.52   | 1.33   | 0.34   |
|                             |      | HS-1 r       | 77.8  | 0.14    | 12.07   | 4.50   | 1.45   | 0.29   |
|                             |      | HS-5 l       | 54.2  | 0.31    | 18.19   | 7.09   | 2.60   | 0.46   |
| Jülich/<br>Daubenrath       | 1988 | HS-1 r       | 103.8 | 0.20    | 11.72   | 4.53   | 1.53   | 0.33   |
|                             |      | HS-3 r       | 114.6 | 0.29    | 12.68   | 5.04   | 2.23   | 0.53   |
|                             |      | HS-5 l       | 94.5  | 0.37    | 19.82   | 6.52   | 2.68   | 0.52   |
|                             |      | HS-5 r       | 105.5 | 0.53    | 16.97   | 6.71   | 2.67   | 0.55   |
|                             |      | HS-6 l       | 73.5  | 0.45    | 23.39   | 8.04   | 3.37   | 0.92   |
| Schönböken I                | 1987 | HS-2 r       | 85.5  | 0.19    | 8.64    | 7.36   | 1.55   | 0.42   |
|                             |      | HS-4 l       | 64.4  | 0.39    | 17.11   | 7.53   | 2.57   | 0.45   |
|                             |      | HS-4 r       | 65.0  | 0.30    | 14.86   | 7.13   | 2.01   | 0.42   |
| Schönböken III              | 1987 | HS-2 l       | 78.7  | 0.15    | 8.40    | 7.86   | 1.83   | 0.25   |
|                             |      | HS-4 r       | 106.2 | 0.17    | 10.41   | 5.96   | 1.97   | 0.37   |
| Saarbrücken/<br>Klarenthal. | 1987 | HS-3 l       | 52.2  | 0.36    | 28.03   | 8.94   | 2.82   | 0.49   |
|                             |      | HS-5 l       | 55.5  | 0.38    | 33.02   | 10.63  | 3.51   | 0.53   |
|                             |      | HS-5 r       | 52.5  | 0.36    | 27.90   | 8.43   | 3.42   | 0.50   |

Tab. 10.12.1: Zinkgehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                      | Jahr | Naßer S-6 |   | Zn-Gehalt S-6 |         | Stärke, S-6 | Stärke, S-6 | Mittelwert S-6 | Depositionsrate | log Mittelwert S-6 (Y) | log Depositionsrate (X) |
|-----|--------------------------|------|-----------|---|---------------|---------|-------------|-------------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
|     |                          |      | 1         | 2 | 1             | 2       |             |             |                |                 |                        |                         |
| 104 | Schmalbären/Schl.-Holst. | 87   | 0         | 0 | 284,1         | (224,9) |             |             | 284,10         | 31,52           | 2,42                   | 1,50                    |
| 50  | Inden                    | 85   | 0         | 0 | 587,2         | 539,3   |             | 3           | 553,25         | 35,77           | 2,74                   | 1,55                    |
| 3   | Inden                    | 84   | 0         | 0 |               | 488,1   |             |             | 488,10         | 35,77           | 2,69                   | 1,55                    |
| 1   | Inden                    | 84   | 0         | 0 |               | 204,3   |             |             | 204,30         | 35,77           | 2,31                   | 1,55                    |
| 15  | Inden                    | 84   | 0         | 0 | 441,8         | 263,1   |             | 25          | 352,45         | 35,77           | 2,55                   | 1,55                    |
| 101 | Jülich-Güsten            | 87   | 0         | 0 | 276,0         | 278,6   |             | 0           | 277,34         | 44,91           | 2,44                   | 1,65                    |
| 102 | Jülich-Feildorf          | 87   | 0         | 0 | 286,7         | 300,7   |             | 2           | 293,72         | 44,91           | 2,47                   | 1,65                    |
| 65  | Jülich/Bersener Höhe     | 86   | 0         | 4 | 229,1         |         |             |             | 229,10         | 55,26           | 2,36                   | 1,74                    |
| 71  | Jülich-Feildorf          | 86   | 0         | 0 | 225,6         | 212,0   |             | 5           | 223,80         | 55,26           | 2,35                   | 1,74                    |
| 11  | Jülich-Habsbach          | 84   | 0         | 4 | 323,1         |         |             |             | 323,10         | 57,48           | 2,51                   | 1,76                    |
| 2   | Jülich-Habsbach          | 84   | 0         | 0 |               | 247,8   |             |             | 247,80         | 57,48           | 2,39                   | 1,76                    |
| 9   | Jülich-Habsbach          | 84   | 0         | 4 | 281,9         |         |             |             | 281,90         | 57,48           | 2,45                   | 1,76                    |
| 4   | Lamstedt                 | 84   | 0         | 0 |               | 268,7   |             |             | 268,70         | 58,66           | 2,43                   | 1,77                    |
| 7   | Freiz                    | 84   | 0         | 0 | 328,8         |         |             |             | 328,80         | 58,66           | 2,52                   | 1,77                    |
| 57  | Jülich/Lahnfeld          | 85   | 4         | 0 | (157,7)       | 283,0   |             | 2           | 283,00         | 65,87           | 2,45                   | 1,82                    |
| 62  | Jülich-Habsbach          | 85   | 0         | 0 | 271,3         | 284,2   |             |             | 277,75         | 65,87           | 2,44                   | 1,82                    |
| 66  | Jülich-Güsten            | 85   | 0         | 0 | 268,6         | 298,6   |             | 9           | 273,60         | 65,87           | 2,44                   | 1,82                    |
| 55  | Jülich/Zitfa             | 85   | 0         | 0 | 239,8         | 207,4   |             | 7           | 223,60         | 65,87           | 2,35                   | 1,82                    |
| 59  | Jülich-Güsten            | 85   | 0         | 0 |               | 400,4   |             |             | 400,40         | 65,87           | 2,60                   | 1,82                    |
| 53  | Jülich-Güsten            | 85   | 0         | 0 | 360,3         | 306,4   |             | 1           | 362,65         | 65,87           | 2,68                   | 1,82                    |
| 54  | Jülich-Güsten            | 85   | 0         | 0 | 639,2         | 587,2   |             | 5           | 599,20         | 65,87           | 2,78                   | 1,82                    |
| 58  | Jülich/Zoo               | 85   | 0         | 0 | 317,1         |         |             |             | 317,10         | 65,87           | 2,50                   | 1,82                    |
| 67  | Jülich/Bersener Höhe     | 85   | 0         | 0 | 341,9         | 310,0   |             | 5           | 325,95         | 65,87           | 2,51                   | 1,82                    |
| 72  | Jülich/Bersener Höhe     | 85   | 0         | 0 | 248,3         | 213,9   |             | 7           | 231,10         | 65,87           | 2,36                   | 1,82                    |
| 56  | Jülich/Bersener Höhe     | 85   | 0         | 0 | 201,0         | 184,4   |             | 4           | 192,70         | 65,87           | 2,28                   | 1,82                    |
| 66  | Jülich/Bersener Höhe     | 85   | 0         | 0 | 373,2         | 437,9   |             | 8           | 405,55         | 65,87           | 2,61                   | 1,82                    |
| 32  | Sar.-Dietweiler          | 84   | 0         | 2 | 193,2         | 146,5   |             | 24          | 193,20         | 88,31           | 2,29                   | 1,83                    |
| 107 | Stb.-Hasteneith          | 87   | 4         | 0 |               | 354,2   |             |             | 354,20         | 91,38           | 2,55                   | 1,96                    |
| 111 | Stb.-Berth               | 87   | 0         | 0 | 389,5         | 480,4   |             | 1           | 394,95         | 91,38           | 2,60                   | 1,96                    |
| 108 | Stb.-Hasteneith          | 87   | 0         | 0 | 404,1         | (434,7) |             |             | 404,10         | 91,38           | 2,61                   | 1,96                    |
| 105 | Stb.-Hasteneith          | 87   | 0         | 0 | 424,6         |         |             |             | 424,60         | 91,38           | 2,63                   | 1,96                    |
| 106 | Stb.-Hasteneith          | 87   | 0         | 0 | 442,3         | 478,5   |             | 4           | 460,40         | 91,38           | 2,66                   | 1,96                    |
| 16  | Stb.-Berth               | 84   | 0         | 0 | 199,0         | 217,3   |             | 4           | 208,15         | 103,48          | 2,32                   | 2,01                    |
| 5   | Stb.-Berth               | 84   | 0         | 0 | 414,8         | 456,0   |             | 5           | 435,40         | 103,48          | 2,64                   | 2,01                    |
| 6   | Stb.-Berth               | 84   | 0         | 0 |               | 521,2   |             |             | 521,20         | 103,48          | 2,72                   | 2,01                    |
| 61  | Stb.-Berth               | 85   | 0         | 0 | 559,6         | 563,8   |             | 0           | 561,70         | 119,26          | 2,75                   | 2,08                    |
| 10  | Stb.-Buchenberg          | 84   | 0         | 0 | 575,7         | 657,0   |             | 7           | 616,35         | 188,38          | 2,79                   | 2,28                    |

In Klammern gesetzte Werte wurden nicht in die Korrelationsberechnungen einbezogen, da bei diesen Federn aufgrund abweichender Federlängen eine geringere Expositionszahl angenommen wurde

Tab. 10.12.2.: Cadmiumgehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                     | Jahr | Bauser |   | Cd-Gehalt |        | Stdabv. | Stdabv. \$ | S-6 Mittelwert | Depositionsrate | log Mittelwert S-6 (7) | log Depositionsrate (8) |
|-----|-------------------------|------|--------|---|-----------|--------|---------|------------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
|     |                         |      | S-6    | t | S-6       | t      |         |            |                |                 |                        |                         |
| 104 | Schönbein/Schl.-Kollst. | 87   | 0      | 0 | 1.29      | (1.03) |         |            | 1.26           | 0.23            | 0.11                   | -0.64                   |
| 15  | Inden                   | 84   | 0      | 0 | 0.83      | 1.11   | 0.14    | 14         | 0.97           | 0.47            | -0.01                  | -0.33                   |
| 50  | Inden                   | 85   | 0      | 0 | 4.19      | 6.08   | 0.94    | 18         | 5.14           | 0.47            | 0.71                   | -0.33                   |
| 1   | Inden                   | 84   | 0      | 0 |           | 1.15   |         |            | 1.15           | 0.47            | 0.06                   | -0.33                   |
| 3   | Inden                   | 84   | 0      | 0 |           | 5.82   |         |            | 5.82           | 0.47            | 0.76                   | -0.33                   |
| 102 | Jülich-Belldorf         | 87   | 0      | 0 | 1.33      | 1.31   | 0.01    | 1          | 1.32           | 0.48            | 0.12                   | -0.32                   |
| 101 | Jülich-Güsten           | 87   | 0      | 0 | 1.71      | 1.89   | 0.09    | 5          | 1.80           | 0.48            | 0.26                   | -0.32                   |
| 65  | Jülich-Bersched Höhe    | 86   | 0      | f | 1.17      |        |         |            | 1.17           | 0.54            | 0.07                   | -0.27                   |
| 71  | Jülich-Belldorf         | 86   | 0      | 0 | 1.08      | 1.27   | 0.09    | 6          | 1.18           | 0.54            | 0.10                   | -0.27                   |
| 2   | Jülich-Belldorf         | 84   | 0      | 0 |           | 1.53   |         |            | 1.53           | 0.59            | 0.18                   | -0.23                   |
| 9   | Jülich-Habach           | 84   | 0      | f | 4.48      |        |         |            | 4.48           | 0.59            | 0.65                   | -0.23                   |
| 62  | Jülich-Habach           | 84   | 0      | 0 | 2.53      | 3.13   | 0.30    | 11         | 2.83           | 0.59            | 0.45                   | -0.23                   |
| 11  | Jülich-Habach           | 84   | 0      | f | 1.91      |        |         |            | 1.91           | 0.59            | 0.28                   | -0.23                   |
| 57  | Jülich-Löffeld          | 85   | 4      | 0 | (0.22)    | 0.61   |         |            | 0.61           | 0.63            | -0.21                  | -0.20                   |
| 60  | Jülich-Güsten           | 85   | 0      | 0 | 1.47      | 2.07   | 0.30    | 17         | 1.77           | 0.63            | 0.25                   | -0.20                   |
| 58  | Jülich-Zoo              | 85   | 0      | 0 | 0.76      |        |         |            | 0.76           | 0.63            | -0.12                  | -0.20                   |
| 67  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 1.55      | 1.31   | 0.12    | 8          | 1.43           | 0.63            | 0.16                   | -0.20                   |
| 54  | Jülich-Güsten           | 85   | 0      | 0 | 1.46      | 1.82   | 0.18    | 11         | 1.64           | 0.63            | 0.21                   | -0.20                   |
| 66  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 2.59      | 2.57   | 0.01    | 0          | 2.58           | 0.63            | 0.41                   | -0.20                   |
| 55  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 1.63      | 1.10   | 0.26    | 19         | 1.37           | 0.63            | 0.14                   | -0.20                   |
| 56  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 1.15      | 1.02   | 0.06    | 6          | 1.09           | 0.63            | 0.04                   | -0.20                   |
| 53  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 1.65      | 2.44   | 0.40    | 19         | 2.05           | 0.63            | 0.31                   | -0.20                   |
| 72  | Jülich-Bersched Höhe    | 85   | 0      | 0 | 0.80      | 0.73   | 0.04    | 5          | 0.77           | 0.63            | -0.12                  | -0.20                   |
| 59  | Jülich-Güsten           | 84   | 0      | 0 |           | 3.51   |         |            | 3.51           | 0.63            | 0.55                   | -0.20                   |
| 32  | Str.-Düveler            | 84   | 0      | 2 | 1.33      | 0.32   |         |            | 1.33           | 0.76            | 0.12                   | -0.12                   |
| 4   | Leusdorf                | 84   | 0      | 0 |           | 2.76   |         |            | 2.76           | 0.80            | 0.44                   | -0.10                   |
| 7   | Freuz                   | 84   | 0      | 0 | 2.91      |        |         |            | 2.91           | 0.80            | 0.46                   | -0.10                   |
| 18  | Deuselbach/Bersched.    | 84   | 0      | 0 | 1.07      | 1.59   | 0.26    | 20         | 1.33           | 0.86            | 0.12                   | -0.07                   |
| 106 | Stb.-Kastentab          | 87   | 0      | 0 | 5.51      | 6.04   | 0.26    | 5          | 5.78           | 1.69            | 0.76                   | 0.23                    |
| 105 | Stb.-Kastentab          | 87   | 0      | 0 | 5.34      | (4.25) |         |            | 5.34           | 1.69            | 0.73                   | 0.23                    |
| 108 | Stb.-Kastentab          | 87   | 0      | 0 | 5.05      | (3.48) |         |            | 5.05           | 1.69            | 0.70                   | 0.23                    |
| 107 | Stb.-Kastentab          | 87   | f      | 0 |           | 3.75   |         |            | 3.75           | 1.69            | 0.57                   | 0.23                    |
| 6   | Stb.-Bertb              | 84   | 0      | 0 |           | 9.88   |         |            | 9.88           | 2.10            | 0.99                   | 0.32                    |
| 16  | Stb.-Bertb              | 84   | 0      | 0 | 10.63     | 9.03   | 0.80    | 8          | 9.83           | 2.10            | 0.99                   | 0.32                    |
| 5   | Stb.-Bertb              | 84   | 0      | 0 | 12.60     | 11.20  | 0.70    | 6          | 11.80          | 2.10            | 1.08                   | 0.32                    |
| 61  | Stb.-Bertb              | 85   | 0      | 0 | 13.87     | 13.62  | 0.13    | 1          | 13.75          | 2.15            | 1.14                   | 0.33                    |
| 111 | Stb.-Bertb              | 87   | 0      | 0 | 10.65     | 11.32  | 0.33    | 3          | 10.99          | 2.15            | 1.04                   | 0.33                    |
| 10  | Stb.-Bauerberg          | 84   | 0      | 0 | 25.70     | 19.15  | 3.03    | 14         | 22.18          | 11.41           | 1.35                   | 1.06                    |

In Klammern gesetzte Werte wurden nicht in die Korrelationsberechnungen einbezogen, da bei diesen Federn aufgrund abweichender Federlängen eine geringere Depositionszeit angenommen wurde

Tab. 10.12.3: Bleigehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu Naßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                     | Jahr | Kaufer |   |   | Pb-Gehalt |   |         | Staubv. Staubv. |   |       | Eltteiwert |        |   | Depositions- |      |  | log  |     |      | log  |  |  |
|-----|-------------------------|------|--------|---|---|-----------|---|---------|-----------------|---|-------|------------|--------|---|--------------|------|--|------|-----|------|------|--|--|
|     |                         |      | S-6    | r | 1 | S-6       | r | 1       | %               | % |       | S-6        | r      | 1 | rate         | rate |  | S-6  | (7) | rate | (12) |  |  |
| 104 | Schönböden/Schl.-Holst. | 87   | 0      | 0 |   | 59.1      |   | (38.5)  |                 |   | 0.65  |            | 59.10  |   | 9.56         |      |  | 1.77 |     |      | 0.93 |  |  |
| 102 | Jülich-Bellforf         | 87   | 0      | 0 |   | 30.1      |   | 28.8    |                 |   |       |            | 29.45  |   | 14.45        |      |  | 1.47 |     |      | 1.15 |  |  |
| 101 | Jülich-Osten            | 87   | 0      | 0 |   | 51.9      |   | 53.9    |                 |   | 1.00  |            | 52.90  |   | 14.45        |      |  | 1.72 |     |      | 1.16 |  |  |
| 65  | Jülich/Berserfer Höhe   | 86   | 0      | f |   | 30.3      |   |         |                 |   |       |            | 30.30  |   | 19.19        |      |  | 1.68 |     |      | 1.26 |  |  |
| 71  | Jülich-Bellforf         | 86   | 0      | 0 |   | 51.2      |   | 58.1    |                 |   |       |            | 54.65  |   | 25.69        |      |  | 1.74 |     |      | 1.28 |  |  |
| 66  | Jülich/Berserfer Höhe   | 85   | 0      | 0 |   | 114.4     |   | 127.0   |                 |   | 6.30  |            | 120.70 |   | 25.69        |      |  | 2.08 |     |      | 1.41 |  |  |
| 56  | Jülich/Berserfer Höhe   | 85   | 0      | 0 |   | 44.7      |   | 43.4    |                 |   | 0.65  |            | 44.05  |   | 25.69        |      |  | 1.64 |     |      | 1.41 |  |  |
| 62  | Jülich/Berserfer        | 85   | 0      | 0 |   | 96.0      |   | 83.1    |                 |   | 6.45  |            | 89.55  |   | 25.69        |      |  | 1.95 |     |      | 1.41 |  |  |
| 72  | Jülich/Berserfer        | 85   | 0      | 0 |   | 40.4      |   | 45.1    |                 |   | 1.65  |            | 47.95  |   | 25.69        |      |  | 1.67 |     |      | 1.41 |  |  |
| 60  | Jülich-Osten            | 85   | 0      | 0 |   | 44.4      |   | 51.5    |                 |   | 3.55  |            | 46.75  |   | 25.69        |      |  | 1.68 |     |      | 1.41 |  |  |
| 54  | Jülich-Osten            | 85   | 0      | 0 |   | 68.6      |   | 53.3    |                 |   | 7.65  |            | 60.95  |   | 25.69        |      |  | 1.78 |     |      | 1.41 |  |  |
| 58  | Jülich/200              | 85   | 0      | 0 |   | 61.4      |   |         |                 |   |       |            | 61.40  |   | 25.69        |      |  | 1.79 |     |      | 1.41 |  |  |
| 67  | Jülich/Berserfer Höhe   | 85   | 0      | 0 |   | 92.6      |   | 91.7    |                 |   | 0.45  |            | 92.15  |   | 25.69        |      |  | 1.96 |     |      | 1.41 |  |  |
| 59  | Jülich-Osten            | 85   | 0      | 0 |   |           |   | 106.0   |                 |   |       |            | 106.00 |   | 25.69        |      |  | 2.03 |     |      | 1.41 |  |  |
| 53  | Jülich-Osten            | 85   | 0      | 0 |   | 39.3      |   | 38.0    |                 |   | 0.65  |            | 38.65  |   | 25.69        |      |  | 1.59 |     |      | 1.41 |  |  |
| 55  | Jülich/Btrie            | 85   | 0      | 0 |   | 50.8      |   | 44.8    |                 |   |       |            | 47.80  |   | 25.69        |      |  | 1.68 |     |      | 1.41 |  |  |
| 57  | Jülich/Lohfeld          | 85   | 4      | 0 |   | (3.8)     |   | 33.9    |                 |   | 3.00  |            | 33.90  |   | 25.69        |      |  | 1.53 |     |      | 1.41 |  |  |
| 9   | Jülich-Haabeck          | 84   | 0      | f |   | 64.7      |   |         |                 |   |       |            | 64.70  |   | 27.31        |      |  | 1.81 |     |      | 1.44 |  |  |
| 2   | Jülich-Haabeck          | 84   | 0      | 0 |   |           |   | 59.9    |                 |   |       |            | 59.90  |   | 27.31        |      |  | 1.78 |     |      | 1.44 |  |  |
| 11  | Jülich-Haabeck          | 84   | 0      | f |   | 72.9      |   |         |                 |   |       |            | 72.90  |   | 27.31        |      |  | 1.78 |     |      | 1.44 |  |  |
| 15  | Inden                   | 84   | 0      | 0 |   | 16.2      |   | 18.4    |                 |   | 1.10  |            | 17.30  |   | 28.89        |      |  | 1.86 |     |      | 1.46 |  |  |
| 3   | Inden                   | 84   | 0      | 0 |   |           |   | 22.3    |                 |   |       |            | 22.30  |   | 28.89        |      |  | 1.35 |     |      | 1.46 |  |  |
| 50  | Inden                   | 84   | 0      | 0 |   |           |   | 67.8    |                 |   |       |            | 67.80  |   | 28.89        |      |  | 1.83 |     |      | 1.46 |  |  |
| 18  | Deuselbach/Bischof      | 85   | 0      | 0 |   | 133.8     |   | 146.1   |                 |   | 6.15  |            | 139.95 |   | 28.89        |      |  | 2.15 |     |      | 1.46 |  |  |
| 7   | Ptern                   | 84   | 0      | 0 |   | 47.4      |   | 42.1    |                 |   | 2.65  |            | 44.75  |   | 29.15        |      |  | 1.65 |     |      | 1.46 |  |  |
| 4   | Laersdorf               | 84   | 0      | 0 |   | 89.3      |   |         |                 |   |       |            | 89.30  |   | 30.07        |      |  | 1.95 |     |      | 1.48 |  |  |
| 32  | Buchweiler/Saar         | 84   | 0      | 2 |   | 130.1     |   | 73.8    |                 |   |       |            | 73.80  |   | 30.07        |      |  | 1.87 |     |      | 1.48 |  |  |
| 107 | Stb.-Hastereith         | 87   | f      | 0 |   |           |   | 150.6   |                 |   |       |            | 150.60 |   | 56.09        |      |  | 2.18 |     |      | 1.75 |  |  |
| 111 | Stb.-Hastereith         | 87   | 0      | 0 |   | 460.7     |   | 434.5   |                 |   | 13.10 |            | 447.60 |   | 56.09        |      |  | 2.65 |     |      | 1.75 |  |  |
| 108 | Stb.-Hastereith         | 87   | 0      | 0 |   | 156.8     |   | (95.6)  |                 |   |       |            | 156.80 |   | 56.09        |      |  | 2.20 |     |      | 1.75 |  |  |
| 105 | Stb.-Hastereith         | 87   | 0      | 0 |   | 162.0     |   | (120.5) |                 |   |       |            | 162.00 |   | 56.09        |      |  | 2.21 |     |      | 1.75 |  |  |
| 106 | Stb.-Hastereith         | 87   | 0      | 0 |   | 204.0     |   | 208.2   |                 |   | 2.10  |            | 206.10 |   | 56.09        |      |  | 2.31 |     |      | 1.75 |  |  |
| 16  | Stb.-Hastereith         | 84   | 0      | 0 |   | 372.5     |   | 354.3   |                 |   | 9.10  |            | 363.40 |   | 87.81        |      |  | 2.56 |     |      | 1.94 |  |  |
| 5   | Stb.-Hastereith         | 84   | 0      | 0 |   | 468.5     |   | 410.6   |                 |   | 28.95 |            | 439.55 |   | 87.81        |      |  | 2.64 |     |      | 1.94 |  |  |
| 6   | Stb.-Hastereith         | 84   | 0      | 0 |   |           |   | 407.9   |                 |   |       |            | 407.90 |   | 87.81        |      |  | 2.61 |     |      | 1.94 |  |  |
| 61  | Stb.-Hastereith         | 85   | 0      | 0 |   | 689.9     |   | 708.9   |                 |   | 9.50  |            | 699.40 |   | 97.37        |      |  | 2.84 |     |      | 1.99 |  |  |
| 10  | Stb.-Beunenberg         | 84   | 0      | 0 |   | 636.4     |   | 913.6   |                 |   | 38.60 |            | 875.00 |   | 399.32       |      |  | 2.94 |     |      | 2.60 |  |  |

In Klammern gesetzte Werte wurden nicht in die Korrelationsberechnungen einbezogen, da bei diesen Federn aufgrund abweichender Federlängen eine geringere Expositionsdauer angenommen wurde

Tab. 10.12.4.: Kupfergehalte in standardisierten Steuerfedern von Elstern im Vergleich zu  
 Maßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Nr. | Ort                       | Jahr | Baumst.<br>S-6 | Q <sub>1</sub> -Gehalt<br>S-6 |        | Städteb.<br>S | Städteb.<br>Mittelwert<br>S-6 | Depositions-<br>rate | log<br>Mittelwert<br>S-6<br>(7) | log<br>Depositions-<br>rate<br>(8) |
|-----|---------------------------|------|----------------|-------------------------------|--------|---------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|     |                           |      |                | 1                             | 2      |               |                               |                      |                                 |                                    |
| 101 | Jütich-Quaten             | 87   | 0              | 13.9                          | 14.8   | 0.45          |                               | 3.48                 | 1.16                            | 0.54                               |
| 102 | Jütich-Beildorf           | 87   | 0              | 10.0                          | 10.1   | 0.05          | 3                             | 3.48                 | 1.00                            | 0.54                               |
| 62  | Jütich-Rabesch            | 84   | 0              | 7.3                           | 15.0   | 3.65          | 35                            | 4.68                 | 1.05                            | 0.67                               |
| 11  | Jütich-Rabesch            | 84   | 0              | 9.4                           |        |               |                               | 4.68                 | 0.97                            | 0.67                               |
| 2   | Jütich-Rabesch            | 84   | 0              |                               | 14.7   |               |                               | 4.68                 | 1.17                            | 0.67                               |
| 104 | Schaberschen/Schl.-Holst. | 87   | 0              | 13.6                          | (8.2)  | 1.60          | 16                            | 4.89                 | 1.13                            | 0.69                               |
| 71  | Jütich-Beildorf           | 86   | 0              | 8.3                           | 11.5   |               |                               | 9.80                 | 1.00                            | 0.70                               |
| 65  | Jütich-Beildorf Höhe      | 86   | 0              | 7.3                           |        |               |                               | 7.30                 | 0.86                            | 0.70                               |
| 72  | Jütich/Kasfeld            | 85   | 4              | (3.6)                         | 7.5    | 0.60          | 7                             | 7.50                 | 0.94                            | 0.75                               |
| 77  | Jütich/Rassersdorf        | 85   | 0              | 9.3                           | 8.1    |               |                               | 8.70                 | 0.88                            | 0.75                               |
| 59  | Jütich-Quaten             | 85   | 0              |                               | 11.8   |               |                               | 11.80                | 1.07                            | 0.75                               |
| 67  | Jütich/Rassersdorf Höhe   | 85   | 0              | 15.0                          | 14.2   | 0.40          | 3                             | 14.60                | 1.16                            | 0.75                               |
| 56  | Jütich/Rassersdorf        | 85   | 0              | 7.9                           | 6.2    | 0.65          | 12                            | 7.05                 | 0.85                            | 0.76                               |
| 53  | Jütich-Quaten             | 85   | 0              | 7.1                           | 7.3    | 0.10          | 1                             | 7.20                 | 0.86                            | 0.76                               |
| 55  | Jütich/Extra              | 85   | 0              | 8.1                           | 7.4    | 0.35          | 5                             | 7.75                 | 0.89                            | 0.76                               |
| 50  | Jütich/Do                 | 85   | 0              | 10.7                          |        |               |                               | 10.70                | 1.03                            | 0.76                               |
| 60  | Jütich-Quaten             | 85   | 0              | 6.1                           | 7.1    | 0.50          | 8                             | 6.60                 | 0.82                            | 0.76                               |
| 54  | Jütich-Quaten             | 85   | 0              | 9.4                           | 11.0   | 0.80          | 8                             | 10.20                | 1.01                            | 0.76                               |
| 66  | Jütich/Rassersdorf Höhe   | 85   | 0              | 17.2                          | 14.3   | 1.45          | 9                             | 15.75                | 1.20                            | 0.76                               |
| 1   | Jütich                    | 84   | 0              |                               | 5.8    |               |                               | 5.80                 | 0.76                            | 0.82                               |
| 50  | Jütich                    | 84   | 0              | 7.6                           |        |               |                               | 7.60                 | 0.88                            | 0.82                               |
| 3   | Jütich                    | 84   | 0              |                               | 15.0   |               |                               | 15.00                | 1.18                            | 0.82                               |
| 15  | Jütich                    | 84   | 0              | 7.8                           | 9.2    |               | 8                             | 8.50                 | 0.93                            | 0.82                               |
| 18  | Deusselbach/Runst.        | 84   | 0              |                               | 8.7    | 0.70          |                               | 8.70                 | 0.94                            | 0.83                               |
| 7   | Freis                     | 84   | 0              | 14.3                          |        |               |                               | 14.30                | 1.16                            | 0.84                               |
| 4   | Laerstedt                 | 84   | 0              |                               | 10.4   |               |                               | 10.40                | 1.02                            | 0.84                               |
| 32  | Sch.-Rabesch              | 84   | 0              | 17.4                          | (4.4)  |               |                               | 17.40                | 1.24                            | 1.06                               |
| 16  | Sib.-Rabesch              | 84   | 0              | 36.1                          | 29.1   | 3.50          | 11                            | 25.61                | 1.51                            | 1.41                               |
| 6   | Sib.-Rabesch              | 84   | 0              |                               | 43.6   |               |                               | 43.60                | 1.64                            | 1.41                               |
| 5   | Sib.-Rabesch              | 85   | 0              | 29.2                          | 29.5   | 0.15          | 1                             | 29.35                | 1.47                            | 1.41                               |
| 61  | Sib.-Rabesch              | 85   | 0              | 76.1                          | 65.5   | 5.30          | 7                             | 70.80                | 1.85                            | 1.47                               |
| 111 | Sib.-Rabesch              | 87   | 0              | 124.1                         | 116.4  | 2.87          | 2                             | 121.23               | 2.08                            | 1.59                               |
| 105 | Sib.-Rabesch              | 87   | 0              | 23.7                          | (17.2) |               |                               | 23.70                | 1.37                            | 1.59                               |
| 106 | Sib.-Rabesch              | 87   | 0              | 22.2                          | 21.6   | 0.30          | 1                             | 21.90                | 1.34                            | 1.59                               |
| 107 | Sib.-Rabesch              | 87   | 4              |                               | 25.4   |               |                               | 25.40                | 1.40                            | 1.59                               |
| 108 | Sib.-Rabesch              | 87   | 0              | 13.5                          | (9.6)  |               |                               | 13.50                | 1.13                            | 1.59                               |
| 10  | Sib.-Rabesch              | 84   | 0              | 130.1                         | 124.2  | 2.95          | 2                             | 127.15               | 2.10                            | 1.98                               |

In Klammern gesetzte Werte wurden nicht in die Korrelationsberechnungen einbezogen, da bei diesen Federn aufgrund abweichender Federlängen eine geringere Expositionszeit angenommen wurde

Tab. 10.13.1: Zinkgehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten.  
Angaben in mg/kg.

| Standort       | Jahr | H a n d s c h w i n g e n |        |        |        |        |        | Mittelwert | Stdabw. | Stdabw. % | Depositions-<br>rate | H a n d s c h w i n g e n |      |      |      |      |      | Mittel-<br>wert | Depo-<br>rate |
|----------------|------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|-----------------|---------------|
|                |      | HS-1                      |        | HS-2   |        | HS-3   |        |            |         |           |                      | HS-1                      |      | HS-2 |      | HS-3 |      |                 |               |
|                |      | li                        | re     | li     | re     | li     | re     |            |         |           |                      | li                        | re   | li   | re   | li   | re   |                 |               |
|                |      | logarithmisch             |        |        |        |        |        |            |         |           |                      |                           |      | (y)  | (x)  |      |      |                 |               |
| Schönböken I   | 1987 |                           |        |        | 85.45  |        |        | 85.45      |         |           | 31.52                |                           |      |      |      | 1.93 |      | 1.93            | 1.50          |
| Schönböken III | 1987 |                           |        | 78.73  |        |        |        | 78.73      |         |           | 31.52                |                           |      | 1.90 |      |      |      | 1.90            | 1.50          |
| Jül./B-55 I    | 1987 |                           | 83.29  | 87.21  | 68.05  |        |        | 79.52      | 8.26    | 10.4      | 44.91                |                           | 1.92 | 1.94 | 1.83 |      |      | 1.90            | 1.65          |
| Jül./Escher G. | 1987 |                           | 39.70  |        |        | 82.21  |        | 60.96      | 21.26   | 34.9      | 44.91                |                           | 1.60 |      |      | 1.91 |      | 1.79            | 1.65          |
| Jül./KFA       | 1987 | 243.56                    |        | 164.51 | 266.02 | 304.37 | 438.19 | 283.33     | 89.92   | 31.7      | 44.91                | 2.39                      |      | 2.22 | 2.42 | 2.48 | 2.64 | 2.45            | 1.65          |
| Jül./Stettern. | 1987 | 109.90                    | 57.67  | 104.67 | 120.36 |        |        | 98.15      | 24.04   | 24.5      | 44.91                | 2.04                      | 1.76 | 2.02 | 2.08 |      |      | 1.99            | 1.65          |
| Jül./B-55 I    | 1988 |                           |        | 123.94 |        | 134.72 |        | 129.33     | 5.39    | 4.2       | 45.65                |                           |      | 2.09 |      | 2.13 |      | 2.11            | 1.66          |
| Jül./B-55 II   | 1988 | 93.84                     |        | 117.29 |        |        | 86.27  | 99.13      | 13.21   | 13.3      | 45.65                | 1.97                      |      | 2.07 |      |      | 1.94 | 2.00            | 1.66          |
| Jül./Daubenr.  | 1988 |                           | 103.80 |        |        |        | 114.60 | 109.20     | 5.40    | 4.9       | 45.65                |                           | 2.02 |      |      |      | 2.06 | 2.04            | 1.66          |
| Jül./Escher G. | 1988 |                           | 99.89  | 94.37  |        | 98.23  |        | 97.50      | 2.31    | 2.4       | 45.65                |                           | 2.00 | 1.97 |      | 1.99 |      | 1.99            | 1.66          |
| Jül./Hamb.     | 1988 | 77.96                     | 77.82  |        |        |        |        | 77.89      | 0.07    | 0.1       | 45.65                | 1.89                      | 1.89 |      |      |      |      | 1.89            | 1.66          |
| Jül./KFA       | 1988 | 93.77                     |        |        | 81.89  | 105.84 |        | 93.83      | 9.78    | 10.4      | 45.65                | 1.97                      |      | 1.91 | 2.02 |      |      | 1.97            | 1.66          |
| Jül./Stettern. | 1988 | 96.67                     | 91.56  |        |        |        |        | 94.12      | 2.55    | 2.7       | 45.65                | 1.99                      | 1.96 |      |      |      |      | 1.97            | 1.66          |
| Stb./Eschw.    | 1987 |                           |        | 75.84  | 129.68 | 80.96  | 173.02 | 114.88     | 39.60   | 34.5      | 48.04                |                           |      | 1.88 | 2.11 | 1.91 | 2.24 | 2.06            | 1.68          |
| Stb./Eschw.    | 1988 | 83.29                     | 111.13 |        | 126.88 | 132.42 | 105.39 | 111.82     | 17.36   | 15.5      | 61.81                | 1.92                      | 2.05 | 2.10 | 2.12 | 2.02 |      | 2.05            | 1.79          |
| Stb./Gress. I  | 1988 |                           |        | 76.62  |        | 81.58  |        | 79.10      | 2.48    | 3.1       | 72.9                 |                           |      | 1.88 |      | 1.91 |      | 1.90            | 1.86          |
| Stb./Gress. I  | 1987 |                           |        |        | 87.85  |        | 90.19  | 89.02      | 1.17    | 1.3       | 72.9                 |                           |      |      | 1.94 |      | 1.96 | 1.95            | 1.86          |
| Stb./Gress. II | 1987 |                           |        | 122.56 |        |        |        | 122.56     |         |           | 72.9                 |                           |      | 2.09 |      |      |      | 2.09            | 1.86          |
| Saarbr. /Klar. | 1988 |                           |        |        |        | 52.24  |        | 52.24      |         |           | 72.99                |                           |      |      |      | 1.72 |      | 1.72            | 1.86          |

Tab. 10.13.2.: Cadmiumgehalte in standardisierten Habicht-Mauerfedern im Vergleich zu  
Naßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Standort       | Jahr | H a n d s c h w i n g e n |      |    |      |      |    |      |      | Mittelwert | Stdabw. | Stdabw.<br>% | Depositions-<br>rate | H a n d s c h w i n g e n |       |    |       |       |       |       |       | Mittel-<br>wert<br>( $\gamma$ ) | Depo.-<br>rate<br>( $\chi$ ) |       |       |
|----------------|------|---------------------------|------|----|------|------|----|------|------|------------|---------|--------------|----------------------|---------------------------|-------|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|------------------------------|-------|-------|
|                |      | HS-1                      |      |    |      | HS-2 |    |      |      |            |         |              |                      | HS-3                      |       |    |       |       |       |       |       |                                 |                              |       |       |
|                |      | ll                        | re   | ll | re   | ll   | re | ll   | re   |            |         |              |                      | ll                        | re    | ll | re    | ll    | re    | ll    | re    |                                 |                              |       |       |
|                |      | logarithmisch             |      |    |      |      |    |      |      |            |         |              |                      |                           |       |    |       |       |       |       |       |                                 |                              |       |       |
| Schönböken I   | 1987 |                           |      |    | 0.19 |      |    |      |      | 0.19       |         |              | 0.23                 |                           |       |    |       |       |       |       |       | -0.72                           |                              | -0.72 | -0.64 |
| Schönböken III | 1987 |                           |      |    | 0.15 |      |    |      |      | 0.15       |         |              | 0.23                 |                           |       |    | -0.82 |       |       |       |       |                                 | -0.82                        |       | -0.64 |
| Jül./Escher G. | 1988 |                           | 0.57 |    | 0.49 |      |    | 0.49 |      | 0.52       | 0.04    | 7.3          | 0.47                 |                           | -0.24 |    | -0.31 |       |       | -0.31 |       |                                 | -0.29                        |       | -0.33 |
| Jül./Stettern. | 1988 | 0.33                      | 0.31 |    |      |      |    |      |      | 0.32       | 0.01    | 3.1          | 0.47                 | -0.48                     | -0.51 |    |       |       |       |       |       |                                 | -0.49                        |       | -0.33 |
| Jül./B-55 II   | 1988 | 0.21                      |      |    | 0.31 |      |    |      | 0.35 | 0.29       | 0.06    | 20.3         | 0.47                 | -0.68                     |       |    | -0.51 |       |       | -0.46 |       |                                 | -0.54                        |       | -0.33 |
| Jül./Hamb.     | 1988 | 0.16                      | 0.14 |    |      |      |    |      |      | 0.15       | 0.01    | 6.7          | 0.47                 | -0.80                     | -0.85 |    |       |       |       |       |       |                                 | -0.82                        |       | -0.33 |
| Jül./Daubentr. | 1988 |                           | 0.20 |    |      |      |    |      | 0.29 | 0.25       | 0.05    | 18.4         | 0.47                 |                           | -0.70 |    |       |       |       | -0.54 |       |                                 | -0.61                        |       | -0.33 |
| Jül./B-55 I    | 1988 |                           |      |    | 0.50 |      |    | 0.52 |      | 0.51       | 0.01    | 2.0          | 0.47                 |                           |       |    | -0.30 |       | -0.28 |       |       |                                 | -0.29                        |       | -0.33 |
| Jül./KFA       | 1988 | 0.32                      |      |    | 0.23 |      |    | 0.25 |      | 0.27       | 0.04    | 14.5         | 0.47                 | -0.49                     |       |    | -0.64 |       | -0.60 |       |       |                                 | -0.57                        |       | -0.33 |
| Jül./B-55 I    | 1987 |                           | 0.46 |    | 0.41 | 0.48 |    |      |      | 0.45       | 0.03    | 6.5          | 0.48                 |                           | -0.34 |    | -0.39 | -0.32 |       |       |       |                                 | -0.35                        |       | -0.32 |
| Jül./Stettern. | 1987 | 0.29                      | 0.36 |    | 0.35 | 0.33 |    |      |      | 0.33       | 0.03    | 8.1          | 0.48                 | -0.54                     | -0.44 |    | -0.46 | -0.48 |       |       |       |                                 | -0.48                        |       | -0.32 |
| Jül./KFA       | 1987 | 0.16                      |      |    | 0.25 | 0.26 |    | 0.26 | 0.33 | 0.25       | 0.05    | 21.5         | 0.48                 | -0.80                     |       |    | -0.60 | -0.59 |       | -0.59 | -0.48 |                                 | -0.60                        |       | -0.32 |
| Jül./Escher G. | 1987 |                           | 0.44 |    |      |      |    | 0.64 |      | 0.54       | 0.10    | 18.5         | 0.48                 |                           | -0.36 |    |       |       | -0.19 |       |       |                                 | -0.27                        |       | -0.32 |
| Stb./Eschw.    | 1987 |                           |      |    | 0.84 | 0.76 |    | 0.87 | 0.74 | 0.80       | 0.05    | 6.7          | 0.67                 |                           |       |    | -0.08 | -0.12 |       | -0.06 | -0.13 |                                 | -0.10                        |       | -0.17 |
| Stb./Eschw.    | 1988 | 0.66                      | 0.52 |    |      | 0.57 |    | 0.56 | 0.95 | 0.65       | 0.16    | 23.9         | 0.88                 | -0.18                     | -0.28 |    | -0.24 | -0.25 |       | -0.02 |       |                                 | -0.19                        |       | -0.06 |
| Stb./Gress. II | 1987 |                           |      |    | 0.76 |      |    |      |      | 0.76       |         |              | 1.11                 |                           |       |    | -0.12 |       |       |       |       |                                 | -0.12                        |       | 0.05  |
| Stb./Gress. I  | 1987 |                           |      |    |      | 1.13 |    |      | 1.12 | 1.13       | 0.00    | 0.4          | 1.11                 |                           |       |    | 0.05  |       |       | 0.05  |       |                                 | 0.05                         |       | 0.05  |
| Stb./Gress. I  | 1988 |                           |      |    | 1.24 |      |    | 1.31 |      | 1.28       | 0.03    | 2.7          | 1.11                 |                           |       |    | 0.09  |       |       | 0.12  |       |                                 | 0.11                         |       | 0.05  |
| Saarbr./Klar.  | 1988 |                           |      |    |      |      |    | 0.36 |      | 0.36       |         |              | 1.35                 |                           |       |    |       |       |       | -0.44 |       |                                 | -0.44                        |       | 0.13  |

Tab. 10.13.3.: Bleigehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu Naßdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Standort       | Jahr | H a n d s c h w i n g e n |       |       |       |       |       |       |      | Mittelwert | Stdabh. | Stdabh. % | Depositions-<br>rate | H a n d s c h w i n g e n |      |      |      |      |  |  |  | Mittel-<br>wert<br>( $\gamma$ ) | Depo.-<br>rate<br>( $\alpha$ ) |
|----------------|------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------------|---------|-----------|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|--|--|--|---------------------------------|--------------------------------|
|                |      | HS-1                      |       | HS-2  |       | HS-3  |       | HS-1  |      |            |         |           |                      | HS-2                      |      | HS-3 |      |      |  |  |  |                                 |                                |
|                |      | ll                        | re    | ll    | re    | ll    | re    | ll    | re   |            |         |           |                      | ll                        | re   | ll   | re   |      |  |  |  |                                 |                                |
|                |      | logarithmisch             |       |       |       |       |       |       |      |            |         |           |                      |                           |      |      |      |      |  |  |  |                                 |                                |
| Schönböken III | 1987 |                           |       | 8.40  |       |       |       | 8.40  |      |            | 9.56    |           |                      | 0.92                      |      |      | 0.92 | 0.98 |  |  |  |                                 |                                |
| Schönböken I   | 1987 |                           |       |       | 8.64  |       |       | 8.64  |      |            | 9.56    |           |                      | 0.94                      |      |      | 0.94 | 0.98 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Escher G. | 1988 |                           | 22.62 | 27.53 |       | 25.01 |       | 25.05 | 2.00 | 8.0        | 12.67   | 1.35      | 1.44                 |                           | 1.40 |      | 1.40 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Stettern. | 1988 | 18.04                     | 16.23 |       |       |       |       | 17.14 | 0.90 | 5.3        | 12.67   | 1.26      | 1.21                 |                           |      |      | 1.23 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./B-55 I    | 1988 |                           |       | 14.51 |       | 14.94 |       | 14.73 | 0.22 | 1.5        | 12.67   |           |                      | 1.16                      |      | 1.17 | 1.17 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Hamb.     | 1988 | 12.16                     | 12.07 |       |       |       |       | 12.12 | 0.04 | 0.4        | 12.67   | 1.08      | 1.08                 |                           |      |      | 1.08 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Daubenr.  | 1988 |                           | 11.72 |       |       |       | 12.68 | 12.20 | 0.48 | 3.9        | 12.67   |           | 1.07                 |                           |      | 1.10 | 1.09 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./KFA       | 1988 | 13.08                     |       |       | 13.02 | 12.41 |       | 12.84 | 0.30 | 2.4        | 12.67   | 1.12      |                      | 1.11                      | 1.09 |      | 1.11 | 1.10 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./B-55 I    | 1987 |                           | 21.83 | 21.45 | 23.41 |       |       | 22.23 | 0.85 | 3.8        | 14.45   | 1.34      | 1.33                 | 1.37                      |      |      | 1.35 | 1.16 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Stettern. | 1987 | 14.39                     | 19.96 | 19.74 | 20.12 |       |       | 18.55 | 2.41 | 13.0       | 14.45   | 1.16      | 1.30                 | 1.30                      | 1.30 |      | 1.27 | 1.16 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./Escher G. | 1987 |                           | 21.25 |       |       | 21.32 |       | 21.29 | 0.04 | 0.2        | 14.45   |           | 1.33                 |                           |      | 1.33 | 1.33 | 1.16 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./KFA       | 1987 | 12.82                     |       | 18.52 | 24.23 | 21.04 | 30.06 | 21.33 | 5.74 | 26.9       | 14.45   | 1.11      | 1.27                 | 1.38                      | 1.32 | 1.48 | 1.33 | 1.16 |  |  |  |                                 |                                |
| Jül./B-55 II   | 1988 | 11.38                     |       | 14.31 |       |       | 15.17 | 13.62 | 1.62 | 11.9       | 14.45   | 1.06      |                      | 1.16                      |      | 1.18 | 1.13 | 1.16 |  |  |  |                                 |                                |
| Stb./Eschw.    | 1987 |                           |       |       | 28.79 |       | 28.45 | 28.62 | 0.17 | 0.6        | 21.22   |           |                      | 1.46                      |      | 1.45 | 1.46 | 1.33 |  |  |  |                                 |                                |
| Stb./Eschw.    | 1988 | 28.10                     | 22.38 |       | 19.05 | 24.74 | 28.16 | 24.49 | 3.48 | 14.2       | 27.69   | 1.45      | 1.35                 |                           | 1.28 | 1.39 | 1.39 | 1.44 |  |  |  |                                 |                                |
| Saarbr./Klar.  | 1988 |                           |       |       |       | 28.03 |       | 28.03 |      |            | 29.90   |           |                      |                           |      | 1.45 | 1.45 | 1.48 |  |  |  |                                 |                                |
| Stb./Gress.II  | 1987 |                           |       | 52.69 |       |       |       | 52.69 |      |            | 39.02   |           |                      | 1.72                      |      |      | 1.72 | 1.59 |  |  |  |                                 |                                |
| Stb./Gress.I   | 1987 |                           |       |       | 64.91 |       | 79.65 | 72.28 | 7.37 | 10.2       | 39.02   |           |                      | 1.81                      |      | 1.90 | 1.86 | 1.59 |  |  |  |                                 |                                |
| Stb./Gress.I   | 1988 |                           |       | 47.83 |       | 64.08 |       | 55.96 | 8.13 | 14.5       | 39.02   |           |                      | 1.68                      |      | 1.81 | 1.75 | 1.59 |  |  |  |                                 |                                |

Tab. 10.13.4.: Kupfergehalte in standardisierten Habicht-Mauserfedern im Vergleich zu  
Nabdepositionsraten. Angaben in mg/kg.

| Standort       | Jahr | H a n d s c h w i n g e n |       |       |       |       |       | Mittelwert | Stdabw. | Stdabw. % | Depositions-<br>rate | H a n d s c h w i n g e n |      |      |      |      |      | Mittel-<br>wert<br>(y) | Depo-<br>rate<br>(x) |
|----------------|------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-----------|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------------------------|----------------------|
|                |      | HS-1                      |       | HS-2  |       | HS-3  |       |            |         |           |                      | HS-1                      |      | HS-2 |      | HS-3 |      |                        |                      |
|                |      | li                        | re    | li    | re    | li    | re    |            |         |           |                      | li                        | re   | li   | re   | li   | re   |                        |                      |
|                |      | logarithmisch             |       |       |       |       |       |            |         |           |                      |                           |      |      |      |      |      |                        |                      |
| Jül./B-55 I    | 1988 |                           |       | 6.33  |       | 5.70  |       | 6.02       | 0.31    | 5.2       | 2.66                 |                           |      | 0.80 |      | 0.76 |      | 0.78                   | 0.42                 |
| Jül./B-55 II   | 1988 | 4.33                      |       | 5.65  |       |       | 5.84  | 5.27       | 0.67    | 12.7      | 2.66                 | 0.64                      |      | 0.75 |      | 0.77 |      | 0.72                   | 0.42                 |
| Jül./Daubenr.  | 1988 |                           | 4.53  |       |       |       | 5.04  | 4.79       | 0.25    | 5.3       | 2.66                 |                           | 0.66 |      |      | 0.70 |      | 0.68                   | 0.42                 |
| Jül./Escher G. | 1988 |                           | 8.13  | 8.91  |       | 7.46  |       | 8.17       | 0.59    | 7.3       | 2.66                 |                           | 0.91 | 0.95 |      | 0.87 |      | 0.91                   | 0.42                 |
| Jül./Hamb.     | 1988 | 4.52                      | 4.50  |       |       |       |       | 4.51       | 0.01    | 0.2       | 2.66                 | 0.66                      | 0.65 |      |      |      |      | 0.65                   | 0.42                 |
| Jül./KFA       | 1988 | 5.14                      |       |       | 4.62  | 4.59  |       | 4.78       | 0.25    | 5.3       | 2.66                 | 0.71                      |      | 0.66 | 0.66 |      |      | 0.68                   | 0.42                 |
| Jül./Stettern. | 1988 | 6.69                      | 7.38  |       |       |       |       | 7.04       | 0.34    | 4.9       | 2.66                 | 0.83                      | 0.87 |      |      |      |      | 0.85                   | 0.42                 |
| Jül./B-55 I    | 1987 |                           | 9.71  | 9.91  | 10.17 |       |       | 9.93       | 0.19    | 1.9       | 3.48                 |                           | 0.99 | 1.00 | 1.01 |      |      | 1.00                   | 0.54                 |
| Jül./Escher G. | 1987 |                           | 10.77 |       |       | 8.49  |       | 9.63       | 1.14    | 11.8      | 3.48                 |                           | 1.03 |      |      | 0.93 |      | 0.98                   | 0.54                 |
| Jül./KFA       | 1987 | 5.74                      |       | 7.13  | 7.17  | 6.24  | 7.44  | 6.74       | 0.64    | 9.6       | 3.48                 | 0.76                      |      | 0.85 | 0.86 | 0.80 | 0.87 | 0.83                   | 0.54                 |
| Jül./Stettern. | 1987 | 6.55                      | 9.55  | 7.06  | 7.61  |       |       | 7.69       | 1.14    | 14.8      | 3.48                 | 0.82                      | 0.98 | 0.85 | 0.88 |      |      | 0.89                   | 0.54                 |
| Schönböken I   | 1987 |                           |       |       | 7.36  |       |       | 7.36       |         |           | 4.89                 |                           |      |      | 0.87 |      |      | 0.87                   | 0.69                 |
| Schönböken III | 1987 |                           |       | 7.86  |       |       |       | 7.86       |         |           | 4.89                 |                           |      | 0.90 |      |      |      | 0.90                   | 0.69                 |
| Saarbr./Klar.  | 1988 |                           |       |       |       | 8.94  |       | 8.94       |         |           | 7.12                 |                           |      |      |      | 0.95 |      | 0.95                   | 0.85                 |
| Stb./Eschw.    | 1987 |                           |       |       | 6.08  |       | 8.83  | 7.46       | 1.37    | 18.4      | 10.89                |                           |      | 0.78 |      | 0.95 |      | 0.87                   | 1.04                 |
| Stb./Eschw.    | 1988 | 11.15                     | 10.15 |       | 6.88  | 7.08  | 12.22 | 9.50       | 2.16    | 22.7      | 14.62                | 1.05                      | 1.01 | 0.84 |      | 0.85 | 1.09 | 0.98                   | 1.16                 |
| Stb./Gress. I  | 1988 |                           |       | 28.16 |       | 44.50 |       | 36.33      | 8.17    | 22.5      | 20.55                |                           |      | 1.45 |      | 1.65 |      | 1.56                   | 1.31                 |
| Stb./Gress. I  | 1987 |                           |       |       | 64.28 |       | 74.96 | 69.62      | 5.34    | 7.7       | 20.55                |                           |      | 1.81 |      | 1.87 |      | 1.84                   | 1.31                 |
| Stb./Gress. II | 1987 |                           |       | 26.88 |       |       |       | 26.88      |         |           | 20.55                |                           |      | 1.43 |      |      |      | 1.43                   | 1.31                 |



## Danksagung

Die vorgelegte Arbeit benutzt Methoden aus zwei verschiedenen Wissenschaftsgebieten: der Umweltanalytik und der Freilandbiologie. Freilanduntersuchungen sowie das Einarbeiten in analytische Methoden erfordern Zeit. Deshalb gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. Hartmut Bick für die Betreuung der Arbeit durch stetiges Interesse und Diskussion.

Die Anregung zu dieser Arbeit und erste konzeptionelle Ideen wurden mit Dr. Hermann Ellenberg, BFA Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg diskutiert, so daß die Arbeit im Sommer 1985 am Institut für Angewandte Physikalische Chemie des Forschungszentrums Jülich unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H.W. Nürnberg (†) beginnen und unter der jetzigen Leitung von Herrn Prof. Dr. M.J. Schwuger abgeschlossen werden konnte. Für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und stetige, engagierte Förderung und Diskussionsbereitschaft danke ich Herrn Dr. M. Stoeppler.

Für Hilfestellung bei der Einarbeitung in die Voltammetrie sowie der Analyse von Elsterfedern aus dem Jahr 1984 und Probenaufschlüssen gilt mein Dank Herrn Dr. P. Ostapczuk, Herrn Dr. M. Würfels, Frau Dipl.-Ing. M. Froning und Frau G. Giernich. Für Vergleichsmessungen mit der AAS danke ich Frau Dipl.-Ing. C. Mohl, Herrn Dr. L. Mart und Herrn Dipl.-Ing. V.D. Nguyen für die Bereitstellung von Depositionsdaten.

Für die Beschaffung von Sammelmaterialien und praktische Hilfen danke ich Herrn Dr. J.D. Schladot, Herrn Dipl.-Ing. F. Backhaus, Herrn H.W. Salgert, Herrn H. Engel und Herrn N. Commerscheidt.

Die Fa. Grün, Wetzlar ermöglichte dankenswerter Weise Vergleichsmessungen zur Feststoff-AAS an ihrem firmeneigenen SM 20.

Federproben erhielt ich dankenswerter Weise von Herrn W. Bergerhausen, AZWU, Dr. H. Fedders, B. Föllmer, C. Klemens, H. Knüwer, Dr. H. Link, V. Looft, U. Loup, Dr. M. Schäfer und Dr. M. Würfels.

Herrn G. Nathaus und Herrn H.J. Freiherr von Mylius von der Kreisjägerschaft Düren danke ich für die Unterstützung meiner Arbeiten bei der örtlichen Jägerschaft.

Für die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen zum Fang und Probennahmen von Elstern danke ich den Unteren Landschaftsbehörden der Kreise Düren und Aachen sowie der Regierung von Oberbayern.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Hummel, Institut für Strömungsmechanik, TU Braunschweig, bedanke ich mich für sein Interesse und Anregungen zur Diskussion.

Mein persönlicher Dank gilt Herrn Dr. H.D. Narres, der stets in freundschaftlicher Weise für Beratung und Diskussionen zur Verfügung stand, mir bei Fragen zur Chemie der Atmosphäre behilflich war und das Manuskript kritisch durchsah.

Am meisten danke ich meiner Frau, Dipl.-Biol. Karin Hahn, die mich bei Probennahmen, Analysen und Fertigstellung des Manuskriptes tatkräftig unterstützte.

Finanziert wurde die Arbeit durch fremde FE Forschungsmittel des Forschungszentrums Jülich.

