

# Gehalte ausgewählter Spurenelemente in Leber und Nieren von Nutztieren

M. Sager, M. Grüner und H. Würzner

## Contents of a selection of trace elements in liver and kidney samples from farmed animals

### 1. Einleitung

#### 1.1 Rolle von Leber und Niere im Spurenelementstoffwechsel

Unter den Spurenelementen gibt es solche, deren Bedarf durch die Nahrung nicht immer gedeckt ist, und die man bei Nutztieren gezielt supplementiert, wie Kupfer, Zink, Cobalt, Jod, Selen, Eisen und Mangan. In diesen Fällen sind Mangelerscheinungen eher zu erwarten als die ebenfalls möglichen Intoxikationen. Die Kontrolle der im Handel befindlichen Futtermittel und ihrer Vorprodukte soll u. a. auch Unter- und Überdosierung dieser Spurenelemente verhindern.

Andere Spurenelemente, wie Blei, Cadmium, Arsen oder Quecksilber sind durch die menschliche Zivilisation in der Umwelt erhöht, mit der Gefahr toxischer Wirkungen, während Mängel nicht oder kaum nachweisbar sind. Da im Verhältnis zum Blut viele Spurenelemente (Pb, Cd, Sn, Se,

As, Cu, Zn) in Niere und Leber stärker angereichert (HAMILTON et al., 1972) sind, eignen sich diese Organe besonders als Indikatoren über die Gesamtbelastung bzw. den Mangel in einem tierischen Organismus, da sich eine Belastung dort am ehesten auswirkt.

Werden Metalle in mehr als tolerierbaren Gehalten angereichert, wirken diese akut oder chronisch toxisch, besonders bei nicht-essentiellen Elementen, für welche der Organismus keine eigenen Regulationsmechanismen entwickelt hat, und welche daher die Wege ähnlicher essentieller Spurenelemente beschreiten (ELSENHANS et al., 1993a).

Wenn nicht generell ein Fütterungsversuch mit Nutztieren angelegt wird, sondern „nur“ Proben wahllos im Schlachthof gezogen werden, erschweren die fehlenden Angaben über Alter, Geschlecht, Rasse, Jahreszeit der Schlachtung, Haltung und Fütterung die Interpretation der Daten. Schlüsse über die Gesamtbelastung der Futtermittel in einem Testgebiet, sowie auch über die Frachten, die der Mensch beim Verzehr von Innereien und Fleisch zu sich

### Summary

Livers and kidneys of farmed animals were frozen immediately after slaughtering, homogenized, and some toxic and essential trace elements (Pb, Cd, As, Hg, Cu, Zn) determined on dry weight basis. They were regarded as target organs for contamination from feedstuffs and the environment, as well as for indication of adequate load with essential trace elements Cu and Zn. The Pb and As levels were partially below detection limits, and also Hg levels were low. Compared with literature data, hardly contaminations with Pb, As, or Hg were detected. No hints were found for Hg contaminations, like from feeding with processed fish. With respect to human nutrition, the respective load of Pb, As and Hg from vegetarian food would be higher than from inner organs. Compared with other sources of food, Cd, Zn and Cu was accumulated, however. With respect to data from animals farmed in other countries, free living animals or men, top values were not found, but steady intake of inner organs would significantly contribute to the load of Cd, Cu and Zn of human nutrition. Whereas elevated levels of Cu and Zn could be valuable for rather low supplied men, high Cd levels, especially in bovine kidneys, are of concern. Interrelations among the 6 trace elements determined within the same samples showed rather more correlations among the toxicants. In spite of simultaneous supplementation of Cu and Zn, significant correlation was only found for poultry liver.

**Key words:** trace elements, liver, kidney, contamination, nutrition.

### Zusammenfassung

Leber und Nieren von Nutztieren wurden schlachtfrisch tiefgefroren, nach Homogenisierung die Konzentrationen an toxischen und essentiellen Spurenelementen (Pb, Cd, As, Hg, Cu, Zn) bestimmt, und auf Trockenmasse bezogen. Leber und Nieren wurden als Indikatororgane für Belastungen aus Futter und Umwelt, sowie zur adäquaten Versorgung mit den häufig supplementierten Spurenelementen Cu und Zn herangezogen. Die Werte für Blei und Arsen lagen zum Teil unter der Nachweisgrenze, und auch für Quecksilber waren sie gering. Im Vergleich mit Literaturdaten wurden kaum Belastungen mit Pb, As und Hg festgestellt, und für den Menschen ist die über pflanzliche Nahrung aufgenommene Fracht höher als aus den Innereien. Für Hg-Belastungen, z. B. durch Fütterung mit Fischmehl, gab es keine Anhaltspunkte. Im Hinblick auf den Einsatz zur Ernährung von Menschen waren hingegen Cd, Zn und Cu im Vergleich mit anderen Nahrungsmitteln angereichert. Im Vergleich mit Daten von Nutztieren aus anderen Ländern, Wildtieren und Menschen wurden Spitzenwerte zwar nicht erreicht, trotzdem trägt der ständige Genuß von Innereien im Nahrungsangebot für den Menschen wesentlich zur Hauptzufuhr an Cd, Cu und Zn bei. Die hohen Kupfer- und Zinkwerte könnten für die eher unterversorgten Menschen auch wertvoll sein, während die hohen Cadmiumwerte in Rindernieren eher bedenklich sind. Verknüpfungen der aus den gleichen Proben bestimmten 6 Spurenelemente untereinander zeigten, daß eher die Schadelemente korrelieren. Obwohl Cu und Zn immer gleichzeitig supplementiert werden, zeigte sich nur bei Geflügelleber ein signifikanter Zusammenhang.

**Schlagworte:** Spurenelemente, Leber, Niere, Kontamination, Ernährung.

nimmt, lassen jedoch die Untersuchung von Leber und Nieren als Indikatororgane sinnvoll erscheinen.

Um den Spurenelementstatus heimischer Nutztiere abzuschätzen, wurden in der vorliegenden Arbeit typische Proben auf toxische und essentielle Spurenelemente untersucht, was als Grundlage für gezielte weitreichendere Untersuchungen an höheren Probenzahlen dienen kann. Bei Bedarf kann auch mit demselben Probenmaterial eine Ausweitung auf andere Elemente, metallorganische und schwerer flüchtige organische Verbindungen durchgeführt werden.

#### 1.2 Probenhomogenität und Trocknung

In Schweineleber sind Blei, Cadmium und Zink nahezu gleichmäßig verteilt, sowohl in frischen als auch in gefriergetrockneten Proben. Dies gestattet die Entnahme einer repräsentativen Probe an beliebiger Stelle (KLÜSSENDORF et al., 1985). In einer Homogenitätsstudie wurde als repräsentativ für die Probenahme aus Rinderleber der Lobus caudatus gefunden (HOLM, 1981). Auch beim Menschen waren in gesunden Leberproben von Unfallopfern die Spurenelemente Pb/Cd/Cu/Zn homogen über den Leberquerschnitt verteilt (JOHNSON, 1976).

Gleichfalls zeigten bis zu 24 Beprobungen von 125 mm<sup>3</sup> an einer Schweineniere kaum signifikante Unterschiede im Verlauf eines Profils, und auch nicht zwischen Nierencortex

und -Medulla (BEACH und SPYROU, 1994), obwohl Nieren anatomisch heterogene Organe sind.

Die Gefahr der Verflüchtigung von Spurenelementen beim Trocknen ist gering, und beim Gefriertrocknen geringer als beim Ofentrocknen. Ofentrocknen von Rattengewebe bei 105° führte zu Verlusten bei Hg aus Nieren von 2 %, und aus Leber von etwa 6 %, bei 120° zu 3 % bzw. 11 %. Beim Ofentrocknen bei 120° gab es auch Verluste von Sb, Se und J (IYENGAR et al., 1978). Hingegen war das Gefriertrocknen von Rattengewebe bis zu 72 h unter einem Druck von 0,05 Torr verlustfrei, auch für die Elemente Sb, Se, Hg, J, Zn und Co. Beim Gefriertrocknen aus nicht näher bezeichneten Humangeweben wurden hingegen Quecksilberverluste bis 30 % festgestellt (HAMILTON et al., 1972).

Beim Gefriertrocknen von Schweineleber betrug der Gewichtsverlust 82 % (BEACH and SPYROU, 1994), bei menschlichen Leberproben 70,6 ± 1,6 %, und bei menschlichen Nierenproben 74,9 ± 1,5 % (HAMILTON et al., 1972). Letztere Werte wurden von uns verwendet, um Literaturangaben bezüglich Frischgewicht mit unseren auf Trockensubstanz bezogenen Werten vergleichen zu können.

#### 1.3 Stand der Forschung bei Blei

Die Grundbelastung an Blei und Cadmium bei Rindern (in Deutschland) resultiert aus der Aufnahme mit dem Futter.

In Belastungsgebieten lagert sich Blei bevorzugt in den Nieren ein (ZERZAWY, 1989). 90 % des inkorporierten Bleis und Cadmiums nehmen die Tiere oral mit dem Futter auf, die pulmonale Aufnahme ist nur bei Weidevieh in Ballungszentren oder nahe entsprechender Emittenten von Bedeutung.

In unkontaminierten Rinderlebern ist Blei homogen verteilt, in kontaminierten kann es jedoch inhomogen sein. Die Probenahme erfolgt deshalb häufig aus dem Lobus caudatus (HOLM, 1981)

Bei Schlachtrindern wurden für Bleigehalte in Niere und Leber ein fast normalverteiltes Probenkollektiv erhalten (ZERZAWY, 1989). Bei der Untersuchung von 87 nur mit Milchaustauschern gemästeten Kälbern verschiedener Rinderrassen waren die Blei- und Cadmiumgehalte in Nieren und Lebern annähernd normalverteilt, streuten aber erheblich (KREUZER et al., 1988). Nur eine der Kälbergruppen hatte in den Nieren mehr Blei als Cadmium, was auf eine feuerverzinkte Aufstallungseinrichtung zurückgeführt werden konnte. Bei Kälbern werden für Blei und Cadmium Resorptionsquoten bis 50 % angegeben, gegenüber 3–10 % bei adulten Tieren. Kälber nehmen ja pro kg Körpergewicht weit mehr Nahrung auf als erwachsene Rinder. Die Bleigehalte von Nieren und Lebern juveniler und adulter Rinder differieren kaum. Die intestinale Resorption von Blei und Cadmium bei Jungtieren wird durch niedrige Gehalte an Fe, Zn und Cu begünstigt, durch hohe Ca und P-Gaben im Futter verschlechtert (KREUZER et al., 1988).

Bei Rehen und Gamswild wurden ebenfalls höhere Bleikonzentrationen in den Nieren als in den Lebern gefunden, wobei die Werte positiv miteinander korrelieren. Beim Rehwild haben Leber und Niere signifikant mehr Blei bei männlichen als bei weiblichen Tieren (GUFLER, 1996).

Bei gesunden Menschen ist Blei in Leber und Nieren weniger angereichert als Cadmium, wie aus der Probenahme an Unfallopfern in Großbritannien (HAMILTON et al., 1972), USA (ANSPAUGH et al., 1971) und Neuseeland (JOHNSON, 1976) gezeigt werden konnte. Blei wird ja langfristig auch in Knochen abgelagert.

Für Österreich wurde im Jahr 1988 die Aufnahme von Blei durch die Nahrung mit  $1,98 \pm 0,85$  mg/Person und Monat geschätzt (PFANNHAUSER, 1989). Der für den Menschen von der WHO empfohlene Maximalwert für die Aufnahme von Blei aus der Nahrung beträgt 2,8–3,5 mg/Woche (ZERZAWY, 1989).

#### 1.4 Stand der Forschung bei Cadmium

Während sich die Gesamtgehalte von Zn: Cd in der Erdkruste etwa im Bereich 300:1 (Granit) bis 1000:1 (Kalk) bewegen, kann auch in der gesunden menschlichen Niere das Cadmium bis zum Verhältnis Zn : Cd = 2 : 1, und in der Leber bis auf 20:1 angereichert (HAMILTON et al., 1972) sein. In Neuseeland wurde jedoch durch höhere Zinkgehalte in den menschlichen Lebern ein Zn: Cd Verhältnis von über 40 erreicht (JOHNSON, 1976). In einer Schweine-niere wurde infolge des niedrigen Cd-Gehalts ein Zn: Cd-Verhältnis von etwa 200 gefunden (BEACH and SPYROU, 1994).

Der Mensch nimmt nach einer Schätzung der WHO (WHO, 1996) täglich 10–60 µg Cd pro Tag auf, wobei Unterschiede nach Regionen, Umweltbelastung und Ernährung auftreten. Zigarettenraucher sind zusätzlich durch 2–4 µg Cd pro Packung belastet (FLANAGAN, 1993).

Die mittlere tägliche Aufnahme liegt z. B. in Finnland bei etwa 14 µg Cd (LOUEKARI et al., 1989), in Kanada ebenfalls bei 14 µg Cd (DABEKA und MCKENZIE, 1988), und ist hingegen in Japan mit etwa 49 µg Cd relativ hoch (OHMOMO und SUMIYA, 1982). In Österreich wurde im Zeitraum 1988 die vom Menschen durchschnittlich über die Nahrung aufgenommene Cadmiummenge zu  $0,74 \pm 0,45$  mg/Person und Monat geschätzt (PFANNHAUSER, 1989). Seitens der WHO wird die maximal tolerierbare Menge für Erwachsene und auch Kinder mit 25 µg Cd pro kg Körpergewicht und Woche angegeben (WHO, 1996).

Beim Menschen wird Cadmium sowohl über den Verdauungstrakt als auch über die Lunge aufgenommen, aber nur wenig ausgeschieden. Einmal aufgenommen, lagert es sich in Leber und Niere ab, welche mehr als die Hälfte der Gesamtfracht enthalten. Die Cd-Gehalte steigen mit zunehmendem Alter (FLANAGAN, 1993), in den Nieren beträgt die biologische Halbwertszeit 10–30 Jahre. Da Raucher zusätzliche Dosen über die Lunge aufnehmen, waren bei Rauchern die Gehalte in Leber und Nieren signifikant höher, und die Abhängigkeit von der Altersgruppe war im Gegensatz zu den Nichtrauchern gering (PESCH et al., 1989).

Einer der höchsten Cadmiumgehalte wurde im Nieren-cortex von Schlachtpferden gefunden, mit einem Median von 59 mg/kg Frischgewicht (PEKKANEN et al., 1974), wobei nicht über Toxizitätssymptome berichtet wurde.

Bei Rehen und Gamswild wurden etwa 10 mal höhere Cd-Werte in den Nieren im Vergleich zu den Lebern gefunden, aber nicht so hohe Gehalte wie beim Menschen. Rehwild weist in Leber und Niere etwa doppelt so hohe Cd-

Gehalte wie Gamswild auf, während in der Muskulatur etwa gleich viel enthalten ist (GUFLER, 1996).

In Nieren und Lebern von Schlachtrindern wurden noch geringere Cd-Gehalte als beim Wild gefunden, trotzdem zählen die Nieren älterer Rinder zu den Cd-reichsten Lebensmitteln. Die Cadmiumkonzentrationen in den Rindernieren waren ausnahmslos größer als in den entsprechenden Lebern, es trat eine signifikante Korrelation Cd/Leber – Cd/Niere auf (ZERZAWY, 1989). Bei Rindern lag in einem unbelasteten europäischen Gebiet die tägliche Cadmiumzufuhr im Bereich 2,6 – 10,2 mg Cd/Tag (KREUZER, BUNZL und KRACKE, 1981). Bei jüngeren Rindern korrelierte Cadmium in Niere und Leber stark positiv mit dem Cadmiumgehalt im Futter, bei älteren Tieren war dies weit weniger ausgeprägt. Ferner nahm Cadmium in Niere und Leber signifikant mit dem Alter zu. Bei hohem Anteil an Rüben, Rübenblatt und/oder Rübenblattsilage, die im Schnitt bereits höhere Cadmiumgehalte aufweisen, war die Cadmiumretention überproportional groß (KREUZER et al., 1981).

Bei Schlachtrindern zeigten die Cadmiumkonzentrationen in Leber und Niere asymmetrische Verteilungen, mit einzelnen Spitzenwerten. Die Einzelwerte streuen selbst bei Tieren aus gleichen Beständen oder aus Betrieben am gleichen Ort. Beim Einzeltier waren Cadmium in Leber und Cadmium in Niere miteinander korreliert. Der geringe Zusammenhang der Cadmiumgehalte mit den Bleigegehalten in den Nieren ist dadurch erklärbar, daß Cadmium stärker als das Blei vom Alter abhängt, weil überschüssiges Blei auch in die Knochen gehen kann. Der Zeitpunkt der Schlachtung, sei es Herbst nach der Sommerweide, oder Frühjahr nach der Stallhaltung, ließ keine Unterschiede erkennen (KREUZER et al., 1978).

Die Cadmiumkonzentration in den Nieren von Zuchtsauen in Westaustralien lag mit einem Median von 0,6 mg/kg Frischgewicht höher als in deutschen Rindern. Einzelne Spitzenwerte konnten mit dem höheren Alter (über 4 Jahre), sowie mit der Weidehaltung erklärt werden, die zur Aufnahme von australischen Weidepflanzen mit hohem Cadmiumgehalt („capeweed“ = *Arctotheca calendula*) führen kann. Ein Zusatz natürlicher Phosphate zum Futter erfolgte nämlich nicht (MORCOMBE et al., 1992). In Schlachtschweinen ist die biologische Halbwertszeit für Cadmium sicher höher als die Lebenserwartung.

Schwerere Schweine hatten höhere Cadmiumkonzentrationen in Leber und Nieren, Rinder aber nicht (KREUZER et al., 1978).

In Ratten beeinflusste der Zinkgehalt der Nahrung signi-

fikant sowohl den Cd-Gehalt in Leber und Niere, als auch die Ausscheidung von Cd über den Harn. Bei Zinkmangel wurde die Cd-Nephrotoxizitätsschwelle früher erreicht, Cd kann in der Niere nicht mehr gespeichert werden und wird verstärkt ausgeschieden. Cd-Belastung erhöhte die Zinkkonzentration in den Nieren nur bei Unterversorgung, während die Zinkaufnahme bei Normalversorgung nicht beeinflusst wurde (VICTERY et al. 1989).

### 1.5 Stand der Forschung bei Quecksilber

Gaben von Zink können die Retention von Cu, Cd und Hg in Rattennieren erhöhen.

Die Hg-Gehalte in den in Österreich verwendeten Futtermitteln liegen im Bereich von etwa 1 µg/kg (SAGER et al., 1997). Menschen sind jedoch durch den Konsum von Meeresfischen etwas höheren Belastungen ausgesetzt.

In Leber und Nieren von Reh- und Gamswild lag ein Teil der Quecksilberkonzentrationen unter der Nachweisgrenze des Verfahrens. Bei Rehen korrelierte Quecksilber in den Nieren mit Blei in den Nieren, bei Gamswild Quecksilber in den Lebern mit Cadmium in den Nieren. Schlüssige Begründungen hierfür konnten aber nicht gegeben werden (GUFLER, 1996).

In Rattennieren wurde die Retention von Quecksilber, wie auch von Kupfer und Cadmium, durch Gaben von Zink erhöht.

### 1.6 Stand der Forschung bei Arsen

Da über den Arsenstoffwechsel von Nutztieren kaum Angaben gefunden werden konnten, mußten zum Vergleich entsprechende Daten von Ratten und Mäusen herangezogen werden.

Die orale Aufnahme von Natriumarsenit führte bei Ratten zu einer Anreicherung von Kupfer und Arsen in den Nieren im Molverhältnis 4:3, während Cadmium nicht angereichert wurde. Gleichzeitig speicherte die Ratte auch hohe Arsengehalte in den Erythrozyten (ELSENHANS et al., 1993b). In Meerschweinchen wurde durch eine Gabe von 60 µg/g As der Kupferspiegel in der Niere von 5,5 auf 40 µg/g Cu Frischgewicht erhöht. Bei Mäusen wurde der Kupferspiegel durch Arsengaben jedoch kaum beeinflusst (ELSENHANS et al., 1993b).

Für den Menschen wird in Österreich die Aufnahme von Arsen aus der Nahrung zu  $0,26 \pm 0,13$  mg/Person und Monat geschätzt (PFANNHAUSER, 1989).

### 1.7 Stand der Forschung bei Kupfer

Kupfer und Zink sind essentielle Spurenelemente, die oft der Tiernahrung zugesetzt werden. Der Cu-Bedarf von Tieren liegt im Bereich 4–8 mg/kg Alleinfutter. Zur Fütterung von Milchkühen werden u. a. 10 mg/kg Futterrockensubstanz an Cu empfohlen (KESSLER, 1996).

Kupfer wird etwa zur Hälfte aufgenommen und der Überschuss leicht freigesetzt. Ein Kupferüberschuss wird von Metallothioninen festgehalten, kleine cysteinreiche Proteine, die am häufigsten in der Leber vorkommen und auch andere Übergangsmetallionen binden. Deshalb wird Kupfer primär über die Leber in die Galle ausgeschieden (DANKS, 1988).

Der sich frei ernährende moderne Mensch kommt eher in eine Mangelsituation als in eine Überschusssituation. Menschliche Nahrung enthält durchschnittlich 2,2 mg/kg Cu in Deutschland bzw. 2,8 mg/kg in der Schweiz, ohne daß Mangelerscheinungen auftreten. Daraus ergibt sich eine wöchentliche Aufnahme von 4,6 mg Cu. Andere Arbeiten aus USA, Marokko und Großbritannien ergaben 7 mg/Woche (ANKE et al., 1991) bzw. einen Cu-Bedarf des Menschen von 1,55 mg abs. pro Tag (PFANNHAUSER, 1988).

### 1.8 Stand der Forschung bei Zink

Für die Versorgung von Kitzen und Kälbern wird ein Bedarf an 30 mg/kg Zink angenommen, zur Fütterung von Milchkühen werden 50 mg/kg Futterrockensubstanz empfohlen. Menschliche Nahrung lag in Deutschland mit 26 mg/kg und in der Schweiz mit 17–25 mg/kg etwas unter den Gehalten in Futtermitteln (ANKE et al., 1991), aber noch über der empfohlenen Mindestversorgung von 15 mg/kg.

Im Gegensatz zu Pb, Cd und As sind die Konzentrationen an Kupfer und Zink in den Lebern (Rind, Schwein, Mensch) generell höher als in den entsprechenden Nieren (LINDER, 1991; HAMILTON et al., 1972). In Schweinenieren sind Kupfer und Zink etwas im Cortex gegenüber der Medulla angereichert (BEACH and SPYROU, 1994).

## 2. Material und Methodik

Rinderleber, Rinderniere, Schweineleber, Schweineniere und Hühnerleber wurden schlachtfresh entnommen und unverzüglich tiefgefroren. Die gefrorenen Organe wurden unter besonderen Reinhaltemaßnahmen (Handschuhe

etc.) mit einer Bandsäge und einem Fleischwolf zerkleinert und homogenisiert. Ein Aliquot wurde bei 0.5 mbar über 2 Nächte gefriergetrocknet, in einer Reibschale homogenisiert und im Kühlschrank verwahrt. Der Rest wurde als Rückstellprobe naturfeucht tiefgefroren. Der Restwassergehalt wurde mit 2 mal 1 g Einwaage bei 110° ermittelt.

Je 1 g Probe wurden mit 15 ml HNO<sub>3</sub> + 4 ml HClO<sub>4</sub> in Erlenmeyerkolben langsam erhitzt, vorsichtig abgeraucht, und in 25 ml H<sub>2</sub>O dest. aufgenommen. Wegen der geringen Bleigehalte der Proben mußten beide Säuren suprapur eingesetzt werden. Da der Wiedererhalt von Arsen nicht vollständig war, und außerdem zuweilen starke Signaldepressionen aus den so erhaltenen Aufschlüssen auftraten, wurde das Arsen nach Aufschluß mit Magnesiumnitrat bestimmt. 1g Probe wurde in 250 ml Bechergläsern mit 8 ml 50 % Magnesiumnitratlösung über 2 Tage im Trockenschrank getrocknet, dann 4 Stunden im Muffelofen abgedeckt mit einem Uhrglas bis auf 550° erhitzt und in 1+1 Salzsäure aufgenommen. Diese Aufschlüsse können auch zur Kontrolle von Cu und Zn eingesetzt werden. Bei jeder Charge wurden die Blindwerte überprüft. Die Endbestimmung erfolgte für Blei im Graphitrohr, für Cadmium, Kupfer und Zink mit Flammen-AAS und für Arsen mit Hydrid-AAS. Das Quecksilber wurde mittels Kaltdampfverfahren nach Verbrennung im Sauerstoffstrom bestimmt (vgl. SAGER et al., 1997).

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Da als Grundlage für die Herstellung menschlicher und tierischer Nahrungsmittel üblicherweise ganze Organe verwendet werden, wurden sämtliche Analysen aus homogenisierten Proben durchgeführt. Die aufwendige Probeaufbereitung wurde gewählt, um eine Option zur Analyse metallorganischer Verbindungen, mäßig flüchtiger organischer Schadstoffe oder Aminosäuremuster offenzulassen. Zur Objektivierung der Ergebnisse wurde auf die bei 110° getrocknete Probe bezogen, wie auch in der Pflanzenanalyse üblich. Hierzu wurde ein Aliquot der gefriergetrockneten Probe nochmals im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Zum Vergleich mit Literaturdaten, die sich auf Frischgewicht beziehen, wurde beim Fehlen der entsprechenden Wassergehalte nach HAMILTON et al. (1972) mit 74,9 % Wasser in der Niere und 70,6 % Wasser in der Leber gerechnet. Diese Werte wurden für Menschen ermittelt.

Da der Stoffwechsel, das Futterspektrum und das Lebens-

alter in den untersuchten Organen unterschiedlich ist, können die Daten nur organspezifisch diskutiert werden.

### 3.1 Resultate für Blei

Die Bleikonzentrationen in den Proben lagen überraschenderweise so tief, daß wegen der Säurenblindwerte nur mit suprapur-Säuren zuverlässige Werte erzielt werden konnten. In allen Probenarten scheint Blei, soweit es die Probenzahl schließen läßt, normalverteilt zu sein, im Gegensatz zu vielen anderen Datensätzen von Bleikonzentrationen in Umweltproben. Die Proben stammen aus mehreren Schlachthöfen aus ländlichen Gebieten, wo offensichtlich keine Kontaminationen auftreten, die sich in einzelnen Spitzenwerten äußern würden.

Die relativ höchsten Werte für Rindernieren sind durch das höhere Lebensalter erklärbar und auch durch die

Lebensweise im Freien. Daten freilebender Schweine (aus Australien), Rinder, Rehe und Gamsen aus der Literatur liegen ebenfalls höher. Spitzenwerte treten beim Menschen auf, wobei die Werte aus Großbritannien und den USA deutlich höher als jene aus Deutschland liegen.

In Pflanzen, ausgenommen Getreide und Kartoffeln, sind durchwegs höhere Bleikonzentrationen zu erwarten, als in den hier untersuchten Innereien auftreten.

Für den Menschen wird beim Genuß österreichischer Innereien der von der WHO empfohlene Höchstwert von 3 mg Blei pro Woche (70 kg Körpergewicht) kaum erreicht.

### 3.2 Resultate für Cadmium

Wie bereits bekannt, ist auch in den hier untersuchten Proben Cadmium in der Niere deutlich höher als in der Leber. Die Innereien der Rinder enthalten deutlich mehr Cadmi-

Tabelle 1: Ergebnisse bezüglich Trockengewicht

Table 1: Results, with respect to dry weight

Element	Organ	Mittelwert Mean	Median Median	Probenzahl Samples	Bereich Range
Pb mg/kg	Geflügelleber	0,08	0,04	9	0,018 - 0,22
	Rinderleber	0,27	0,29	8	0,110 - 0,36
	Rinderniere	0,43	0,46	9	0,190 - 0,79
	Schweineleber	0,06	0,02	13	< 0,01 - 0,52
	Schweineniere	0,12	0,11	26	0,022 - 0,56
Cd mg/kg	Geflügelleber	0,21	0,18	9	0,11 - 0,55
	Rinderleber	0,68	0,88	8	0,10 - 1,05
	Rinderniere	2,05	0,94	9	0,42 - 6,31
	Schweineleber	0,13	0,12	13	0,09 - 0,18
	Schweineniere	0,61	0,60	26	0,47 - 0,85
Hg µg/kg	Geflügelleber	2,5	2,0	9	0,6 - 6,6
	Rinderleber	6,0	5,9	8	5,5 - 6,9
	Rinderniere	25,1	22,0	9	15,0 - 42,3
	Schweineleber	7,4	1,0	13	0,6 - 6,6
	Schweineniere	8,4	7,0	26	5,0 - 22,0
As µg/kg	Geflügelleber	10	10	9	< 2 - 14
	Rinderleber	19	13	7	7 - 63
	Rinderniere	97	95	9	39 - 163
	Schweineleber	331	10	9	< 2 - 1060
	Schweineniere	23	14	26	< 2 - 159
Cu mg/kg	Geflügelleber	19,7	19,9	8	16,4 - 22,4
	Rinderleber	38,5	38,5	8	11,9 - 106
	Rinderniere	17,3	14,6	4	14,5 - 26
	Schweineleber	83,8	84,5	8	28,3 - 121
	Schweineniere	28,6	27,9	16	23,1 - 43,5
Zn mg/kg	Geflügelleber	108	106	8	90 - 138
	Rinderleber	147	147	8	109 - 382
	Rinderniere	69	69	4	63 - 86
	Schweineleber	300	306	8	178 - 466
	Schweineniere	103	104	16	85 - 127

um als jene von Schweinen und Geflügel, was auf die Altersunterschiede bei der Schlachtung zurückgeführt werden kann. Eine Studie bei Menschen ergab nämlich eine lineare Abhängigkeit der Cadmiumkonzentration mit dem Alter bei Nichtrauchern; Raucher erreichen die Werte für 90-jährige Nichtraucher bereits in jungen Jahren. Da die Rindernieren den 3–4 fachen Wert als Frischgewicht aufweisen, ist ihr Einsatz als Komponente in Nahrungs- und Futtermitteln bedenklich und auf jeden Fall zu überprüfen.

Die gefundenen Werte sind jedoch immer noch vergleichsweise gering. Selbst die Nieren der untersuchten Schlachtrinder liegen tiefer als jene von alpinen Rehen und Gemsen (Südtirol), Hunden und Menschen. Höchstwerte wurden für Rennpferde in Finnland gefunden. Pflanzen liegen im allgemeinen tiefer als die hier für Innereien gefundenen Werte.

### 3.3 Resultate für Quecksilber

Die gefundenen Quecksilberwerte sind durchwegs tief und liegen im Bereich von Pflanzen und Futtermittel, wiewohl auch einzelne Ausreißer nach oben vorkommen. Eine eventuelle Fütterung von Geflügel oder Schweinen mit Fischmehl, welches signifikant mehr Quecksilber als andere Futtermittel enthält (SAGER et al., 1997), ist entweder nicht erfolgt oder wirkt sich nicht aus, da die höheren Werte in den Rindernieren zu finden sind. Zum Vergleich gibt es wenige zuverlässige Daten, da bei naßchemischen Verfahren oft im Bereich von Blindwerten und Nachweisgrenzen gearbeitet wurde. Da die Vergleichswerte für Rehe und Gemsen viel höher als für Rinder liegen, scheinen sich jedenfalls Lebensweise und Lebensalter, ähnlich wie beim Blei, viel stärker als die aktuelle Nahrung auszuwirken.

### 3.4 Resultate für Arsen

Die gefundenen Werte waren sämtliche an der Nachweisgrenze und deutlich geringer als in pflanzlichem Material. Die Werte scheinen generell normalverteilt, nur in Schweinsleber wurden einzelne hohe Werte gefunden. Die Vergleichsdaten von Schweinen aus USA und Menschen aus Großbritannien liegen wesentlich höher.

### 3.5 Resultate für Kupfer und Zink

Die Gehalte von Kupfer und Zink in tierischen Geweben sind bekanntlich stark durch den Stoffwechsel gesteuert, und deshalb innerhalb enger Grenzen augenscheinlich überall normalverteilt. Sie sind viel eher in der Leber als in der Niere anzutreffen. Die Werte für Geflügelleber liegen deutlich tiefer. Einzelne hohe Kupferwerte traten bei Rinder- und Schweineleber auf.

Die vom Menschen mit „optimiertem“ Futter, d. h. mit Supplementierung an Cu/Mn/Fe/Zn/Se ernährten Nutztier- und Labortiere scheinen auch mehr Cu und Zn in ihren Innereien zu haben als der Mensch, im Gegensatz zu Blei und Cadmium. Pflanzen enthalten deutlich weniger Kupfer und Zink als die untersuchten Innereien.

### 3.6 Beziehungen der Spurenelemente zueinander

Da nicht bekannt ist, welche Leber und Nieren von gleichen Tieren stammen, können nur die Elementgehalte einer Probe verglichen werden. Signifikante Korrelationen treten bevorzugt unter den Schadelementen auf. Cu und Zn, die oft gemeinsam erhöht verabreicht werden, korrelieren

Tabelle 2: Signifikante Korrelationen von Spurenelementkonzentrationen zueinander  
Table 2: Significant correlations among trace element concentrations

Organ	Wertepaare	Korrelationskoeffizient	Signifikanz	
Rinderniere	Hg - As	9	+ 0,7028	P = 0,035
	Zn - Cd	4	- 0,9368	P = 0,063
Schweineniere	Zn - Cd	16	+ 0,6090	P = 0,012
Rinderleber	Pb - Cd	8	+ 0,8773	P = 0,004
	Pb - As	7	- 0,7649	P = 0,045
	Cu - Cd	8	+ 0,7730	P = 0,024
	Hg - As	7	+ 0,6953	P = 0,083
Geflügelleber	Cd - As	8	+ 0,7331	P = 0,039
	Cd - Hg	9	+ 0,9571	P = 0,000
	Cu - Zn	8	+ 0,9186	P = 0,001

ren jedoch nur bei Geflügelleber. Positive Korrelation zwischen den chemisch verwandten Zn und Cd bei Schweine- niere, und die negative Korrelation desselben Paares bei Rinderniere dürfte auf das verschiedene Todesalter zurück- zuführen sein.

## Literatur

- ANKE, M., B. GROPPPEL, U. KRAUSE, W. ARNHOLD and M. LANGER (1991): Trace element intake (Zn, Mn, Cu, Mo, I and Ni) of humans in Thuringia and Brandenburg of the Fed. Rep. of Germany. *J. Trace Elem. Electrol. Health Dis.*, 5, 69–74.
- ANSPAUGH, L. R., W. C. ROBINSON, W. H. MARTIN and O.A. LOWE (1971): Compilation of published information on elemental concentrations in human organs in both normal and diseased states, Vol. II, Lawrence Livermore Laboratories, Univ. of California.
- BEACH, A. C. and N. M. SPYROU (1994): Combined photon transmission tomography and PIXE analysis for representative sampling and testing matrix homogeneity. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 179, 177–185.
- DABEKA, R. W. and A. D. MCKENTZIE (1988): Lead and cadmium levels in commercial infant foods and dietary intake by infants 0–1 year old. *Food Add. Contam.* 5, 333–342.
- DANKS, D. M. (1988): Copper deficiency in humans. *Annu. Rev. Nutr.* 8, 235–257.
- ELSENHANS, B., O. ADEMUYTWA, G. SCHMOLKE, J. SCHAPER and G. HUNDER (1993a): Arsenic-copper interactions in the kidneys of laboratory animals. In: B. ELSENHANS, W. FORTH und K. SCHÜRMAN (Hrsg.): *Metal-Metal Interactions*. Bertelsmann Verlag, Gütersloh.
- ELSENHANS, B., J. SCHAPER, G. HUNDER and W. FORTH (1993b): Arsenic-mediated renal accumulation of copper in rats, guinea pigs and mice – a comparison. *Naunyn-Schmiedebergs Arch. Pharmacol.* 347, Suppl. R14.
- FLANAGAN, P. F. (1993): The intestinal interaction between cadmium and iron. In: B. ELSENHANS, W. FORTH und K. SCHÜRMAN (Hrsg.): *Metal-Metal Interactions*. Bertelsmann Verlag, Gütersloh.
- GUFLER, H. (1996): Vergleichende Untersuchungen der Schwermetallbelastung (Blei, Cadmium, Quecksilber) bei Reh- und Gamswild in Revieren Südtirols. Dissertation, Veterinärmedizinische Universität, Wien.
- HAMILTON, E. I., M. J. MINSKI and J. J. CLEARY (1972/73): The concentration and distribution of some stable elements in healthy human tissues from the United Kingdom. *Sci. Tot. Environ.* 1, 341–374.
- HOLM, J. (1981): Beurteilung der Blei- und Cadmiumverteilung in der Rinderleber unter dem Gesichtspunkt einer geeigneten Probenentnahme. *Fleischwirtschaft* 61, 1053–1055.
- IYENGAR, G. V., K. KASPEREK and L. E. FEINENDEGEN (1978): Retention of metabolized trace elements in biological tissues following different drying procedures. *Sci. Tot. Environ.* 10, 1–16.
- JOHNSON, C. A. (1976): The determination of some toxic metals in human liver as a guide to normal levels in New Zealand, Part I. *Anal. Chim. Acta* 81, 69–74.
- KESSLER, J. (1996): Spurenelementversorgung der Milchkuh. 23. Tierzuchtagung, BAL Gumpenstein, Juni 1996.
- KLÜSSENDORF, B., A. ROSOPULO und W. KREUZER (1985): Untersuchungen zur Verteilung und Schnellbestimmung von Blei, Cadmium und Zink in Lebern von Schlachtschweinen mittels Feststoff-Zeeman-Atomabsorptionsspektrometrie. *Fres. Z. Anal. Chem.* 322, 721–727.
- KREUZER, W., A. ROSOPULO, D. SELL, J. FRANGENBERG und S. KOBERSTEIN (1988): Untersuchungen über Blei- und Cadmiumgehalte in Muskulatur, Leber und Nieren von Schlachtkälbern. *Fleischwirtschaft* 68, 101–108.
- KREUZER, W., K. BUNZL und W. KRACKE (1981): Zum Übergang von Cadmium aus dem Futter in Nieren, Lebern und Muskulatur von Schlachtrindern. *Fleischwirtschaft* 61, 1986.
- KREUZER, W., W. KRACKE, B. SANSONI und P. WISSMATH (1978): Untersuchungen über den Blei- und Cadmiumgehalt in Fleisch und Organen von Schlachtrindern. 1. Rinder aus einem wenig umweltbelasteten Gebiet. *Fleischwirtschaft* 58, 1022–1029.
- LINDER, M. C. (1991): Biochemistry of Copper. In: *Biochemistry of the elements*, Vol. 10, E. Press New York/London.
- LOUEKARI, K., U. UUSITALO and P. PIETINEN (1989): Variation and modifying factors of the exposure to lead and cadmium based on an epidemiological study. *Sci. Tot. Environ.* 84, 1–12.
- MORCOMBE, P. W., P. ROSS, H. G. MASTERS, D. S. PETERSON and A. ISOPENKO (1992): Cadmium concentrations in the kidneys of Western Australian pigs. *Austral. Vet. Journal* 69, 113–114.
- OHMOMO, Y. and M. SUMIYA (1982): Estimation on heavy metal intake from agricultural products. In: K. KITAGISHI (ed.): *Heavy metal pollution in soils of Japan*, 236–244.

- PEKKANEN, T. J., E. R. SEUNA and R. STABEL-TAUCHER (1974): The interdependence between high cadmium content of horse kidney cortex and the false positive kidney test for the detection of antibiotic residues at meat inspection. *Acta Vet. Scand.* 15, 436–438.
- PESCH, H. J., T. PALESCH and H. SEIBOLD (1989): The increase in the Cd-burden in man. Postmortem examinations in Franconia by absorption spectroscopy. In: *Int. Conf. Heavy Met. Environ.* II, Genf, 111–117.
- PFANNHAUSER, W. (1988): *Essentielle Spurenelemente in der Nahrung*. Springer, Berlin – Heidelberg.
- PFANNHAUSER, W. (1989): Intake of mercury, Cadmium, lead and arsenic by the diet in Austria. In: *Int. Conf. Heavy Met. Environ.* II, Genf, 141–144.
- SAGER, M., G. REICHEL, M. GRÜNER und H. WÜRZNER (1997): Quecksilbergehalte von Futtermittelproben in Österreich. *Die Bodenkultur* 48 (1), 23–32.
- VICTERY, W., C. R. MILLER, SHI-YA ZHU and R. A. GOYER (1989): Dietary zinc affects the distribution and excretion of injected cadmium and metallothionein level in the rat. In: *Int. Conf. Heavy Met. Environ.* I, Genf, 107–109.
- WHO (1996): *Trace elements in human nutrition and health*. WHO, Genf.
- ZERZAWY, H. (1989): *Untersuchungen über die Gehalte an Blei und Cadmium in Lebern und Nieren von Schlachtrindern aus dem Schwäbisch-Bayerischen Voralpengebiet 1987/88*. Dissertation, Univ. Gießen.

#### **Anschrift der Verfasser**

Univ.-Doz. Dr. Manfred Sager, Ing. Manfred Grüner,  
Univ.-Doz. Dr. Herbert Würzner, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Spargelfeldstraße 191, A-1126 Wien.

Eingelangt am 27. November 1997

Angenommen am 16. März 1998