

## **Der Einfluß erhöhter Kupferzulagen zum Futter auf die Rückstandsbildung von Cadmium beim Schwein**

**W. A. Rambeck, H. W. Brehm und W. E. Kollmer\***

Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und  
Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät, LMU München

\* Institut für Strahlenbiologie, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und  
Gesundheit, Neuherberg

*Zusammenfassung:* In der Schweinemast werden dem Futter Kupfermengen zugesetzt, die den Bedarf der Tiere an diesem essentiellen Element um mehr als eine Zehnerpotenz übersteigen. Dadurch werden die Gewichtszunahmen in den ersten 3 Lebensmonaten deutlich verbessert. Um den Einfluß erhöhter Kupferzulagen auf die Cadmiumretention zu untersuchen, erhielten vier Gruppen männlicher, kastrierter Absatzerkel der üblichen Gebrauchskreuzung Deutsche Landrasse × Pietrain über 3 Monate Futter, dem je 1 mg Cd pro kg Futter als  $\text{CdCl}_2$  sowie 0, 50, 100 oder 200 mg Cu pro kg Futter als  $\text{CuSO}_4$  beigemischt waren. Leber, Niere, Milz, Gehirn, Herzmuskel, Zwerchfellpfeiler, Galle und Dünndarmschleimhaut wurden nach nasser Veraschung mittels Atomabsorptionsspektrometrie auf ihre Gehalte an Cadmium untersucht. In Abhängigkeit vom Kupfergehalt des Futters stieg die Retention von Cadmium in allen untersuchten Geweben. So erhöhte sich bei 200 mg Cu pro kg Futter die Cadmiumkonzentration in der Muskulatur von 10 auf 15  $\mu\text{g}$  pro kg, in der Leber von 770 auf 1720  $\mu\text{g}$  pro kg und in der Niere, wo die höchsten Cadmiumeinlagerungen auftraten, von 4620 auf 9320  $\mu\text{g}$  pro kg.

Diese Befunde weisen darauf hin, daß beim Schwein durch Kupferzulagen, wie sie bei der kommerziellen Schweinemast angewendet werden, die Retention von Cadmium besonders in Leber und Nieren in Abhängigkeit von der Kupferdosis erhöht wird.

*Summary:* In commercial pig fattening copper is added to the feed at a concentration exceeding the requirement by a factor of more than ten. This improves the weight gain of the pigs during the first three months remarkably. In order to study the influence of copper supplementation on cadmium retention, 4 groups of male castrated weanling crossbred pigs (Deutsche Landrasse × Pietrain) received for 3 months a diet containing 1 mg Cd per kg feed, given as  $\text{CdCl}_2$ , as well as 0, 50, 100 or 200 mg Cu per kg feed, given as  $\text{CuSO}_4$ . The liver, kidney, spleen, pancreas, brain, heart, diaphragm, bile and duodenal mucosa were submitted to wet ashing and analyzed by atomic absorption spectroscopy for cadmium. The Cd retention in all tissues increased in correlation to the Cu content of the feed. When 200 mg Cu per kg were added, Cd rose in the muscle from 10 to 15  $\mu\text{g}$  per kg, in the liver from 770 to 1720  $\mu\text{g}$  per kg and in the kidney, where the highest Cd concentration occurred, from 4620 to 9320  $\mu\text{g}$  per kg. This indicates that in pigs the retention of cadmium in kidney and in liver is promoted by Cu supplementation as used in commercial pig fattening.

*Schlüsselwörter:* Cadmium, Kupfer, Schwein, Ernährung

*Key words:* cadmium, copper, pig, nutrition, interaction

## Einleitung

Cadmium ist ein weit verbreitetes Umweltgift. Es gelangt vorwiegend auf dem Weg über die Nahrungskette in den menschlichen Organismus. Aus diesem Grund ist der Mechanismus der Absorption des Cadmiums aus der Nahrung und der Einfluß verschiedener Nahrungsbestandteile auf die Absorption und Retention von besonderem Interesse. Der Einfluß unterschiedlich hoher Kupferzulagen zum Futter von Küken wurde von Rambeck und Kollmer (11) eingehend untersucht. Dabei zeigte sich, daß eine Erhöhung des Kupfergehalts die Cadmiumeinlagerung in Nieren und Leber ansteigen läßt. In der kommerziellen Schweinemast werden seit vielen Jahren Kupferzulagen verabreicht, um erhöhte Mastleistungen zu erzielen (10, 13). Dieser Effekt erreicht bei 200 bis 250 mg pro kg Futter ein Maximum. Das Muskelfleisch von Mastschweinen macht in der Bundesrepublik Deutschland den größten Teil des Fleischkonsums aus. Aber auch Schweineleber und -nieren sind durch ihre Verwendung für die menschliche Ernährung von erheblichem lebensmittelhygienischem Interesse. Aufgrund dieser Zusammenhänge erschien es uns wichtig, der Frage nachzugehen, ob der beim Hühnerküken festgestellte Einfluß erhöhter Kupferzulagen auf die Cadmiumretention auch beim Schwein auftritt. Die Kupferversorgung war dabei nach der Praxis in der Schweinemast bis zum Alter von 16 Wochen ausgerichtet.

## Material und Methoden

### *Versuchstiere*

Für die Untersuchungen wurden 24 männliche, kastrierte Absatzferkel der für die Mast häufig gebrauchten Kreuzung Deutsche Landrasse  $\times$  Pietrain verwendet. Jeweils 4 der Ferkel stammten aus demselben Wurf. Die Tiere wurden im Alter von 4 Wochen bei einem durchschnittlichen Gewicht von 10 kg eingestallt und waren bis zur Schlachtung knapp 12 Wochen im Versuch. Innerhalb dieser Zeit erhöhten sie ihr Gewicht auf etwa 70 kg.

### *Versuchsgruppen*

Am Tag der Einstallung wurden die Ferkel gewogen und in 4 Gruppen so eingeteilt, daß in jeder der 4 Gruppen ein Tier des jeweiligen Wurfes vertreten war. Dadurch sollte ein genetischer Einfluß auf die Versuchsergebnisse vermieden werden. Weiterhin wurde auf ein ausgeglichenes Durchschnittsgewicht der Gruppen untereinander geachtet. Die anschließende Zuordnung der Tiergruppen zu den Versuchsgruppen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

### *Fütterung*

Im Zuchtbetrieb erhielten die Ferkel pelletiertes Starterfutter. Während des Experiments wurden handelsübliche Futtermischungen mit den Hauptkomponenten Weizenschrot, Maisschrot und Sojaschrot verwendet. Die 4 Versuchsgruppen unterschieden sich durch unterschiedliche Zulagen von Kupfersulfat und entsprechend weniger Weizenmehl zu diesem Futter. Die Zulage von 1 mg Cd als  $\text{CdCl}_2$  und 80 mg Zn als Zinksulfat pro kg Futter war für alle Gruppen gleich. Der Versuchszeitraum gliederte sich in eine Aufzuchtperiode, d.h. die Zeit von der Einstallung bis zum Erreichen von etwa 35 kg Lebendgewicht, und eine Mastperiode, d.h. die Zeit bis zur Schlachtung. In Tabelle 1 ist die Futterzusammensetzung des Mastfutters angegeben. Das Aufzuchtfutter unterschied sich davon vornehm-

Tab. 1. Futterzusammensetzung Mastfutter.

	%		%
Weizenschrot	45,00	Calciumcarbonat	0,60
Sojaextraktionsschrot	20,00	Natriumchlorid	0,30
Maisschrot	10,00	Spurenelementvormischung*	0,125
Haferschrot	10,00	Vitaminvormischung**	0,20
Zuckerrübenschnitzel	5,00	Weizennachmehl	5,875
Tierkörpermehl	1,00	L-Lysin-HCl	0,15
Dicalciumphosphat	1,25	Ca-Propionat	0,50

\*Spurenelementvormischung auf Weizennachmehl in mg/kg Futter: Fe als  $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ : 100; Zn als  $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ : 80 Mn als  $\text{MnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ : 50; Cu als  $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ : 10; Cd als  $\text{CdCl}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ : 1; Se als  $\text{NaSeO}_3 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ : 0,18

\*\* Vitaminvormischung auf Sojafinmehl in mg/kg Futter: Retinol: 3,0; Cholecalciferol: 0,022; dl-Tocopherolacetat: 24; Menadion: 0,8; Thiamin: 3,6; Riboflavin: 4,8; Pyridoxin: 2,0; Nikotinsäure: 3,6; Ca-Pantothenat: 12; Biotin: 0,06; Folsäure: 0,12; Cobalamin: 0,020; Cholin: 300; Ascorbinsäure: 60

lich im Proteingehalt. Die Schweine wurden in Einzelboxen mit Betonboden, separatem Tränkenippel und eigenem Futtertrog gehalten. Sie hatten dadurch freien Zugang zum Wasser. Die Futterzuteilung erfolgte ad libitum über den Trog. Die Stalltemperatur wurde mittels eines Heißluftgebläses konstant im Bereich des jeweiligen Komfortbereiches gehalten.

#### Schwermetallanalysen

Die für die Schwermetallanalysen bestimmten Organproben wurden zunächst homogenisiert, dann nach nasser Veraschung in Salzsäure aufgenommen und schließlich mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) analysiert. Zur Analyse von Kupfer und Cadmium wurde die flammenlose AAS mit Graphitrohr angewandt. Die Bestimmung von Kupfer erfolgte an Hand einer Eichkurve, die Bestimmung von Cd mit Hilfe der Standardadditionsmethode. An Hand von Bestimmungen des Säureblindwertes wurde die „Limit of Quantitation“ (LOQ) (5) berechnet. Die Richtigkeit der Analysen wurde durch den Vergleich zwischenzeitlicher Analysen des NBS-Standardmaterials 1577 (Rinderleber) sichergestellt.

#### Statistik

Die statistische Auswertung aller Resultate erfolgte mittels des Computer-Statistikprogrammes „SPSS-PC“. Dabei wurden zunächst alle Parameter mit Hilfe des nichtparametrischen Tests nach Kruskal-Wallis (one way ANOVA) daraufhin überprüft, ob die einzelnen Versuchsgruppen aus derselben Grundgesamtheit stammen oder nicht. Für diejenigen Parameter, die hierbei Signifikanz zeigten, d.h.  $P \leq 0,05$ , wurde anschließend der nichtparametrische Rangsummentest nach Mann-Whitney durchgeführt. Mit Hilfe dieses Tests wurde die statistische Signifikanz zwischen den einzelnen Versuchsgruppen und der Kontrollgruppe bestimmt. Als Signifikanzschranken wurden  $P \leq 0,05$  und  $P \leq 0,01$  gewählt.

#### Ergebnis

Zur Erfassung des Einflusses der Kupferzulagen auf die Mastleistung wurde die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme, die durchschnittli-

Tab. 2. Durchschnittlicher Futterverbrauch, Gewichtszunahme und Futterverwertung in Abhängigkeit von der Kupferzulage (Mittelwert  $\pm$  Standardfehler des Mittelwertes).

Kupferzulage mg/kg Futter	Futterverbrauch kg/Tag	Gewichtszunahme kg/Tag	Futterverwertung kg Futter/kg Zunahme
0	1,71 $\pm$ 0,07	0,73 $\pm$ 0,05	2,36 $\pm$ 0,07
50	1,68 $\pm$ 0,11	0,68 $\pm$ 0,04	2,46 $\pm$ 0,11
100	1,77 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,02	2,32 $\pm$ 0,05
200	1,77 $\pm$ 0,08	0,80 $\pm$ 0,03	2,22 $\pm$ 0,05

che tägliche Gewichtszunahme und daraus die durchschnittliche Futterverwertung berechnet (Tab. 2). Die tägliche Futtermaufnahme stieg mit dem Kupferzusatz im Futter leicht, aber nicht signifikant. Sie bewegte sich durchweg im Bereich zwischen 1700 und 1800 g pro Tag. Die tägliche Zunahme bewegte sich zwischen 700 und 800 g pro Tag. Sie war in der 100- und der 200-mg-pro-kg-Cu-Gruppe im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen zwar erhöht (Kruskal-Wallis-Test signifikant), eine statistische Signifikanz zwischen einer einzelnen Gruppe und den Kontrollen konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die erwartete verbesserte Futterverwertung bei der 200-mg-pro-kg-Gruppe war zwar zu erkennen, erreichte aber nicht die statistische Signifikanz gegenüber den übrigen Versuchsgruppen oder den Kontrollen. Allgemein wurden etwa 2,3 kg Futter für 1 kg Zunahme gebraucht.

Bei allen untersuchten Geweben führte die Kupferzulage zu einer erhöhten Cd-Retention (Tab. 3), welche jedoch unterschiedlich ausgeprägt war. Die höchsten Konzentrationen wurden in der Nierenrinde gefunden. Die Konzentration im Nierenmark betrug bei 0,50 und 100 mg Cu-Zulage pro kg etwa ein Drittel der Konzentration der Rinde. Bedingt durch einen etwas stärkeren Anstieg im Mark verengte sich dieses Verhältnis bei einer Zulage von 200 mg pro kg Futter auf etwa die Hälfte. In der Leber war die Cadmiumkonzentration niedriger als in der Niere und stieg mit erhöhten Kupferzulagen an. Bereits bei einer Zulage von 100 mg Cu pro kg Futter war eine Verdoppelung zu beobachten. Eine Verdoppelung der Zulage auf 200 mg pro kg bewirkte lediglich eine weitere geringe, statistisch nicht signifikante Steigerung des Mittelwertes. Die Cadmiumkonzentration im Herzmuskel war viel niedriger als die in der Niere und stieg mit der Kupferzulage an, ohne sich dabei signifikant von der Kontrollgruppe abzuheben. Die Konzentrationen lagen hier im Bereich des „Limit of Quantitation“ der Analysen. In der Darmschleimhaut lag die Konzentration in derselben Größenordnung wie in der Leber. Sie stieg mit zunehmenden Kupferzulagen fast auf das 2fache der Kontrollgruppe. Wegen der hohen Standardabweichungen ergab sich jedoch keine statistische Signifikanz. In der Muskulatur des Zwerchfellpfeilers war die Cadmiumkonzentration noch niedriger als im Herzmuskel. Die Mittelwerte stiegen ebenfalls mit steigender Cu-Zulage. Dabei bewegten sie sich aber bereits unterhalb des „Limit of Quantitation“. In Pankreas und Milz lagen die

Tab. 3. Cadmiumkonzentrationen in mg pro kg in verschiedenen Organen in Abhängigkeit von der Kupferzulage bei 1 ppm Cd im Futter (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung des Mittelwertes).

Kupfer- zulage mg/kg Futter	Leber	Nierenrinde	Herzmuskel	Zwerchfell- pfeiler	Pankreas	Milz	Darm- schleimhaut
0	0,77 $\pm$ 0,10	4,6 $\pm$ 0,4	0,019 $\pm$ 0,004	0,010 $\pm$ 0,001	0,23 $\pm$ 0,03	0,12 $\pm$ 0,02	1,4 $\pm$ 0,3
50	1,06 $\pm$ 0,14	7,6 $\pm$ 0,8**	0,016 $\pm$ 0,003	0,010 $\pm$ 0,001	0,35 $\pm$ 0,02*	0,21 $\pm$ 0,02**	1,3 $\pm$ 0,5
100	1,59 $\pm$ 0,21**	8,8 $\pm$ 1,1**	0,021 $\pm$ 0,002	0,014 $\pm$ 0,002	0,51 $\pm$ 0,09**	0,20 $\pm$ 0,02**	2,7 $\pm$ 1,3
200	0,72 $\pm$ 0,07*	9,3 $\pm$ 1,6*	0,029 $\pm$ 0,006	0,015 $\pm$ 0,005	0,62 $\pm$ 0,07*	0,43 $\pm$ 0,03**	2,6 $\pm$ 1,2

Signifikanter Unterschied zur Kontrolle:

\*  $P \leq 0,05$

\*\*  $P \leq 0,01$

Cadmiumkonzentrationen zwischen denen in Leber und Herzmuskel. Beide zeigten ebenfalls eine eindeutige Abhängigkeit von der Kupferzulage im Futter.

## Diskussion

Die wichtigste Eintrittspforte für Cadmium in die Nahrungskette des Menschen ist der Boden. In den „alten“ Ländern der Bundesrepublik Deutschland ist der mittlere Cadmiumgehalt des Bodens 1 mg pro kg (14). Bei den Pflanzen liegen die höchsten Cadmiumkonzentrationen stets in Wurzeln und Blättern vor, während Früchte und Samen im allgemeinen wenig Cadmium enthalten (4). 70 % des in der menschlichen Nahrung enthaltenen Cadmiums stammen aus Produkten pflanzlichen Ursprungs (5), weniger als 30 % sind tierischen Ursprungs. Um den Eintrag von Cadmium in die menschliche Nahrungskette über tierische Produkte möglichst niedrig zu halten, sind in der Futtermittelverordnung zulässige Höchstmengen für Cadmium in Futtermitteln festgesetzt worden (9). Für die Schweinemast typische Mastfuttermittel bestehen in der Regel zu 90 % aus Einzelfuttermitteln pflanzlichen Ursprungs und dürfen somit höchstens 1 mg Cd pro kg Frischsubstanz enthalten. In den restlichen 10 % können neben weiteren pflanzlichen Produkten und Mineralfuttermitteln auch Produkte tierischen Ursprungs, wie etwa Tierkörpermehl, enthalten sein, welche maximal 2 mg Cd pro kg Frischsubstanz enthalten dürfen. Insgesamt darf der Cadmiumgehalt von Alleinfuttermitteln für Schweine jedoch 0,5 mg pro kg nicht übersteigen.

Die Kupferzulagen orientierten sich an der Praxis der Schweinemast. Eine Zulage von 10 mg Cu pro kg Futter entspricht einer Supplementierung mit etwa dem 1,5fachen des Bedarfs (8). Die höchste, im vorliegenden Versuch verwendete Zulage von 200 mg Cu pro kg Futter liegt über der Obergrenze (175 mg) der in der Schweinemast verwendeten Zulagen.

Während andere essentielle Spurenelemente in der Regel bei Mangel eine Steigerung der intestinalen Resorption und der Retention von Cadmium in verschiedenen Organen hervorrufen, konnten wir in vorhergehenden Untersuchungen am Hühnerküken zeigen, daß im Falle von Kupfer erhöhte Zulagen eine Steigerung der Cadmiumretention bewirken (11). Im vorliegenden Versuch wird gezeigt, daß eine Steigerung der Retention in verschiedenen Organen auch beim Schwein auftritt. Diese Abhängigkeit wird in unterschiedlicher Deutlichkeit durch alle hier untersuchten Organe bzw. Gewebe reflektiert. Der unterschiedliche Einfluß auf die Akkumulation von Cadmium in den Organen kann mit physiologischen Interaktionen zwischen Cadmium und Kupfer erklärt werden, wobei auch an eine Beteiligung von Zink gedacht werden muß.

Ganz besonders interessierte der Einfluß der erhöhten Kupferzulagen zum Futter auf die Retention des Cadmiums in den lebensmittelhygienisch wichtigsten Geweben Muskulatur, Leber und Niere. Die Muskulatur des Zwerchfellpfeilers wurde stellvertretend für die gesamte Skelettmuskulatur untersucht. Nach van der Veen und Vreman (15) weisen die einzelnen Teile der Skelettmuskulatur keine Unterschiede in der Cadmiumeinlagerung auf. Der Herzmuskel wurde dagegen aufgrund seiner physiologischen und morphologischen Besonderheiten gesondert unter-

sucht. In der Muskulatur des Herzens wie auch des Zwerchfelloberflächens erhöhte sich die mittlere Cadmiumkonzentration in Abhängigkeit von der Kupferzufütterung auf etwa das 1,5fache der Kontrollgruppe. Dabei lagen die Konzentrationen im Bereich des „Limit of Quantitation“ (LOQ) und der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die Cadmiumkonzentration in der Darmschleimhaut erhöhte sich in unserem Versuch nicht proportional zur Kupferkonzentration im Futter, sondern stieg bei der Zulage von 100 mg pro kg auf eine höhere Ebene. Dieses Verhalten entspricht dem Befund einer In-vitro-Studie (1), nach welcher Cadmium die Metallothionein-Synthese in der Darmmukosa nur bis zu einem gewissen Grad steigern kann. Die Kupferkonzentration in der Darmschleimhaut verhielt sich ebenso wie die Cd-Konzentration. Die Abhängigkeit der Kupferkonzentration in der Darmschleimhaut von der Kupfermenge im Futter wurde auch (3) bei der Ratte beschrieben.

Die Zinkkonzentrationen wurden im vorliegenden Versuch durch den Kupfergehalt des Futters nicht beeinflusst. Auch Hall et al. (3) stellten fest, daß eine Steigerung der Kupferkonzentrationen im Futter von Ratten zwischen 24 und 300 mg pro kg keine Wirkung auf den Zinkgehalt der Darmschleimhaut ausübt.

Die Verteilung des Cadmiums zwischen den einzelnen Organen erfolgte sehr ungleich. So ergaben sich bei der Kontrollgruppe Relationen für Skelettmuskel (Zwerchfellmuskel):Leber von 1:77, für Skelettmuskel:Niere von 1:460 und für Leber:Niere von 1:6, bzw. bei der 200-ppm-Gruppe 1:115; 1:920 und 1:8. Kreuzer und Rosopulo (7) haben beim Schwein für Muskulatur:Leber 1:4,3–2,7; für Muskulatur:Niere 1:23–69 und für Leber:Niere 1:1,8–9,1 gefunden. Diese Relationen sind mit Ausnahme derjenigen von Leber:Niere deutlich enger als die im vorliegenden Versuch ermittelten. Die Unterschiede der Cd-Retention in verschiedenen Versuchen sind wahrscheinlich auf eine unterschiedlich hohe sowie auf eine möglicherweise unterschiedlich lange Belastung zurückzuführen, wobei das dynamische Gleichgewicht in den einzelnen Geweben mehr oder minder schnell erreicht wird. Dadurch verschieben sich die Relationen der Retention zwischen den einzelnen Geweben besonders am Anfang einer längeren Belastung. Bei einer höheren Belastung wird das dynamische Gleichgewicht später erreicht als bei einer niedrigeren. Eine extrem lange Verweilzeit, d. h. eine besonders lange biologische Halbwertszeit, hat Cadmium in der Niere. Aber auch in der Leber ist die Verweilzeit wesentlich länger als in der Muskulatur. Bei chronischer Belastung steigt die Konzentration von Cadmium in den Geweben mit längerer Verweilzeit über einen längeren Zeitraum an als in den anderen Geweben. Die unterschiedliche Verweilzeit von Cd in den einzelnen Geweben ist wohl hauptsächlich auf ihre unterschiedliche Kapazität zur Induktion von Metallothionein zurückzuführen, einem niedermolekularen Protein, welches große Mengen von Schwermetallen, wie Cadmium, Kupfer und Zink, zu binden vermag. Die unterschiedliche Akkumulation von Cd in Leber und Nieren im Verlauf einer relativ niederen sowie einer relativ hohen toxischen Belastung wurde von Kollmer (6) bei der Ratte über einen Zeitraum von 50 Wochen dargestellt. Nach einer Versuchsdauer von drei Wochen fand v. Ressler (12) bei 240 mg Kupferzulage und 3 mg Cadmiumzulage pro kg Futter bei Hühnerküken ein Verhältnis zwischen Leber und Niere von 1:2.

Muskel, Leber und Niere vom Schwein sind wichtige Bestandteile der menschlichen Ernährung. Zur Vermeidung einer übermäßigen Belastung der Bevölkerung durch Cadmium sind in der Fleischhygieneverordnung vom 30. 10. 1986 für Schweinefleisch (Skelettmuskel) 0,1 mg pro kg, für Schweineleber 0,5 mg pro kg und für Schweinenieren 1 mg pro kg als Höchstmenge festgelegt (15). In diesen lebensmittelhygienisch interessanten Geweben wiesen die Kontrollgruppe und die 200-mg-Cu-Gruppe Mittelwerte von 0,010 bzw. 0,015 mg Cadmium pro kg im Skelettmuskel, 0,77 bzw. 1,72 mg Cadmium pro kg in der Leber und 4,6 bzw. 9,3 mg Cadmium pro kg in der Nierenrinde auf. Die Ergebnisse bezüglich der Muskulatur liegen im vorliegenden Versuch im Bereich dessen, was Kreuzer und Rosopulo (7) als häufigste beim Schwein gefundene Cadmiumkonzentrationen bezeichnen. In der Leber allerdings fanden diese Autoren meist Konzentrationen <0,34 mg pro kg und in der Niere <1 mg pro kg, was weniger als etwa der Hälfte (Leber) bzw. etwa einem Fünftel (Niere) der entsprechenden Cadmiumgehalte unserer Kontrollgruppe entspricht und auf die geringere Cadmiumbelastung des Futters zurückgeführt werden kann. Der Cadmiumgehalt in Leber und Niere bei der höchsten Kupferzulage unserer Untersuchung lag um das 5,5fache (Leber) bzw. um das 9fache (Niere) über den Angaben dieser Autoren. Nach dem Befund des vorliegenden Versuchs dürfte man von Mastschweinen, welche mit Futter gefüttert wurden, das die höchstzulässige Menge Cd und zusätzlich zur Verbesserung der Mast eine Zulage von 200 mg Cu pro kg enthielt, wöchentlich zwar etwa 50 kg Muskelfleisch, aber nur 200 g Leber bzw. 100 g Niere zu sich nehmen, damit die von einer Kommission der FAO/WHO vorgeschlagene, für den Menschen duldbare wöchentliche Cd-Aufnahme (16) nicht überschritten wird, wenn diese Mahlzeit die einzige mit Cadmium belastete Nahrung ist. Von Tieren, die mit dem gleichen Futter, aber ohne Cu-Zulage ernährt werden, könnte jeweils das Doppelte dieser Mengen gegessen werden, bis die wöchentlich duldbare Menge an Cadmium erreicht wird.

Unser Befund zeigt somit, daß sogar im Bereich oberhalb der maximal zulässigen Cadmiumbelastung des Schweinefutters, selbst bei einer zusätzlichen Steigerung der Retention von Cadmium in verschiedenen Organen durch Kupferzulagen im Futter, die Cadmiumgehalte im Muskelfleisch relativ gering bleiben. Dagegen können die Leber und besonders die Nieren in diesem Fall so stark belastet sein, daß ihr Verzehr begrenzt werden sollte. Weiterhin zeigen die Ergebnisse dieses Versuchs in Übereinstimmung mit früheren Befunden beim Hühnerküken, daß es bei unvermeidlicher Belastung des Futters mit Cadmium beim Schwein möglich ist, durch Verzicht auf Kupferzulagen im Mastfutter den Cadmiumrückstand im Fleisch und besonders in Leber und Nieren zu minimieren.

Ob es möglich ist, durch andere Spurenelemente und Vitamine die durch Kupfer induzierte Cd-Belastung zu verringern, ohne den positiven Masteffekt zu eliminieren, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Wir danken dem Bayer. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die finanzielle Unterstützung von Teilen dieser Arbeit.



*Literatur*

1. Bourcier DR, Sharma RP, Braken WM, Taylor MI (1983) Cadmium-Copper Interaction in Intestinal Mucosa Cell Cytosol of Mice. *Biol Trace Elem Res* 5, 195–204
2. Großklaus D (1989) Rückstände in von Tieren stammenden Lebensmitteln. Verlag Paul Parey, Berlin
3. Hall AC, Young BW, Bremner J (1979) Intestinal Metallothionein and the Mutual Antagonism between Copper and Zinc in the Rat. *J Inorg Biochem* 11, 57–66
4. Hoffmann G (1982) Zusammenhänge zwischen kritischen Schadstoffgehalten im Boden, in Futter- und Nahrungspflanzen. *Landw. Forschung, Kongreßband* 39 m 130–153
5. Keith LH, Crummett W, Deegan J jr, Libby RA, Taylor JK, Wentler J (1983) Principles of Environmental Analysis. *Anal Chem* 55, 2210–2218
6. Kollmer WE (1991) Cadmium in Induced Hair of the Rat and its Relation to the Level in the Diet and in the Major Organs during Longterm-Exposure to Cadmium in the Subtoxic and Toxic Range. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis* (im Druck)
7. Kreuzer W, Rosopulo A (1981) Zur gegenwärtigen Rückstandssituation bei Cadmium, Blei, Quecksilber und Arsen in Fleisch und Organen von Schlachttieren. *Archiv Lebensmittelhygiene* 32, 173–220
8. National Research Council (1988) Nutrient Requirement for Swine. National Academic Press, Washington
9. NN (1990) Futtermittelverordnung vom 8. April 1981, zuletzt geändert durch die Achte Verordnung zur Änderung der Futtermittelverordnung – BGBl. I Nr. 64 vom 30. 11. 1990, S. 2540, Bundesanzeiger, Bonn
10. N.R.C.-42 Committee on Swine Nutrition (1974) Cooperative regional studies with growing swine: Effects of vitamin E and levels of supplementary copper during growing-finishing period on feed conversion and tissue copper storage in swine. *J Anim Sci* 39, 512–520
11. Rambeck WA, Kollmer WE. (1990): Modifying Cadmium Retention in Chickens by Dietary Supplements. *J Anim Physiol Anim Nutr* 63, 66–74
12. Rassler v I (1991) Der Einfluß verschiedener Diätkomponenten auf die Cadmiumretention beim Hühnerküken. Dissertation der Tierärztl. Fakultät der LMU München
13. Roof MD, Mahan DC (1982) Effect of Carbadox and various dietary copper levels for weanling swine. *J Anim Sci* 55, 1109–1117
14. Umweltbundesamt (1981) Cadmium-Bericht, Umweltbundesamt Texte 1/81, 11–14, Berlin
15. Van der Veen NG, Vreman K (1986) Transfer of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic from Feed into Various Organs and Tissues of Fattening Lambs. *Netherlands J Agric Sci* 34, 145–153
16. WHO Techn Rep Series No 631, Genf (1978)

Eingegangen 24. Juli 1991  
akzeptiert 9. Oktober 1991

Für die Verfasser:

Priv.-Doz. Dr. W. A. Rambeck, Institut für Tierphysiologie, Veterinärstr. 13, 8000 München 22