

Verteilung von Zink, Kupfer und Cadmium in verschiedenen Organen von Plötzen (*Rutilus rutilus* L.) aus Neckar und Elsenz

Distribution of Zinc, Copper, and Cadmium in Various Organs of Roaches
(*Rutilus rutilus* L.) from the Neckar and Elsenz Rivers

German Müller and F. Prosi

Institut für Sedimentforschung, Universität Heidelberg

Z. Naturforsch. 33 c, 7–14 (1978) ; eingegangen am 31. Oktober 1977/3. Januar 1978

Heavy Metals (Zn, Cu, Cd), Roaches (*Rutilus rutilus*), Fish Organs, Neckar and Elsenz Rivers

Zinc, copper and cadmium concentrations in various organs of 30 roaches (*Rutilus rutilus* L.) from the Neckar and Elsenz Rivers were investigated.

The contents of all three metals are elevated in all fishes; however, only Cd in older fishes was found to exceed the tolerance limit for human health in a section of the Neckar River, which until 1973 was heavily contaminated with Cd from industrial wastes.

The higher degree of Zn-pollution in the Elsenz River is also clearly expressed in the Zn-contents of the Elsenz fishes.

The following order of sequence of metal concentrations (independent of the collection area and the degree of contamination) could be observed:

Zn and Cd: muscle < liver < kidney
Cu : muscle < kidney < liver

Our findings demonstrate the importance of fishes as indicator organism for heavy metal contamination. They also clearly implicate that for ecological rather than for human toxicological investigations the organ in which a specific metal tends to preferentially accumulate (p. ex. Zn and Cu in the kidney; Cu in the liver; Pb in the skeleton; Hg in lipids) is the best indicator of that metal. As a consequence specific fish organs should be increasingly used to determine the extent of heavy metal contamination in aquatic systems.

Im Rahmen von Untersuchungen über die Schwermetallbelastung von Sedimenten der wichtigsten Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland [1, 2] wurden im Bereich des mittleren Neckars erhöhte Cadmium-Gehalte festgestellt. Die höchsten Werte wurden unmittelbar in der Einmündung der Enz bei Besigheim, Neckar-Flußkilometer 137, gemessen.

Analysen des Wassers sowie von Fischen [2, 3] bestätigten die hohe Cadmium-Belastung dieses Flußabschnitts, welche durch die Einleitung von Abwässern eines pigmenterzeugenden Betriebs ca. 1 km oberhalb der Enzmündung in den Neckar hervorgerufen worden war.

Zur Klärung der Frage, ob nach der Inbetriebnahme einer Kläranlage im Februar 1973 noch eine Belastung der ab 1973 geschlüpften Fische mit Cadmium zu beobachten ist, wurden im März 1977 im Neckar zwischen Enzmündung und Neckarwestheim (Flußkilometer 137 – 132, Abb. 1) 20 Plötzen (*Rutilus rutilus* L.) gefangen und spurenelementanalytisch untersucht. Die Ergebnisse der Messungen der Cd-Gehalte im Muskel der Fische wurden kürzlich

mitgeteilt [4]. Sie zeigen, daß die durchschnittliche Belastung der Fische an Cadmium im näheren Bereich der ehemaligen Cadmium-Emission wesentlich zurückgegangen ist.

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit der Verteilung der Schwermetalle Zn, Cu und Cd in verschiedenen Organen der 1977 gefangenen Plötzen, um

- a) den Bezug zwischen den chemisch nah verwandten, aber biologisch antagonistisch wirkenden Metallen Cd und Zn herzustellen,
- b) das Verhalten des toxischen Cd, das im betreffenden Flußabschnitt weit über der durchschnittlichen Belastung angeboten wurde (und z. Tl. durch das Sediment noch angeboten wird) mit den essentiellen Metallen Zn und Cu in verschiedenen Körperorganen zu vergleichen.

Zum Vergleich wurden drei Plötzen aus dem weniger stark mit Cd belasteten unteren Neckar bei Heidelberg (Schleuse Karlstor, Flußkilometer 26) sowie sieben Plötzen aus dem mit Zn stärker belasteten Unterlauf der Elsenz, die ca. 10 km oberhalb von Heidelberg bei Neckargemünd in den Neckar mündet (Abb. 1) untersucht.

Für die untersuchten Flußabschnitte werden hier-nach folgende Kurzbezeichnungen verwendet:

Sonderdruckanforderungen an Prof. Dr. German Müller, Institut für Sedimentforschung, Postfach 10 30 20, D-6900 Heidelberg 1.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

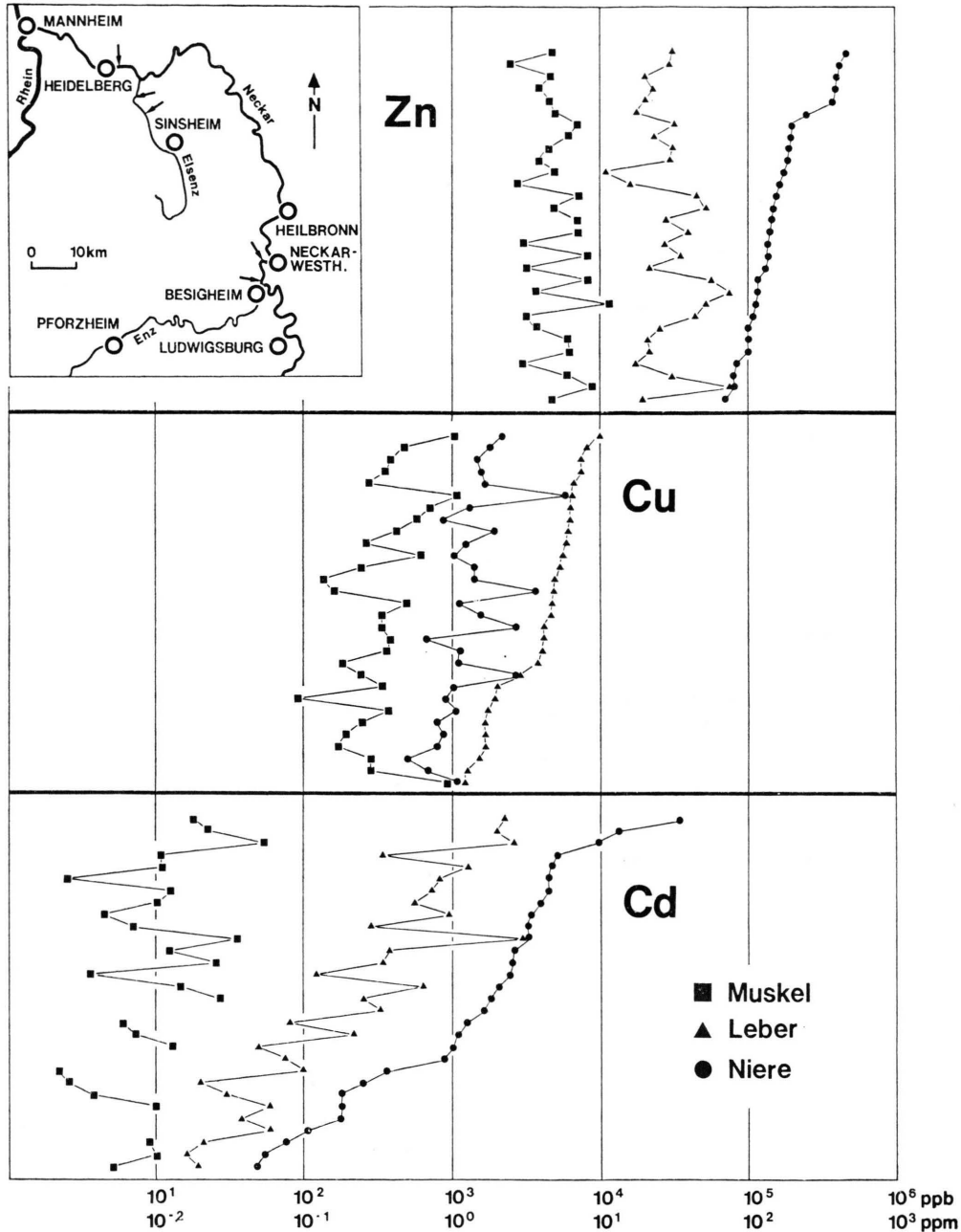


Abb. 1. Zn-, Cu- und Cd-Konzentrationen in Muskel, Leber und Niere sämtlicher untersuchter Plötzen. Die Analysendaten sind in der Reihenfolge ansteigender Gehalte in der Niere (Cd, Zn) oder Leber (Cu) angeordnet.

Neckar/Enz = Bereich Neckar zwischen Enzmündung und Neckarwestheim;

Neckar/HD = Bereich Neckar bei Heidelberg;

Elsenz = Unterlauf der Elsenz, Gebiet zwischen Meckesheim und Bammental.

Material und Methoden

Die Fische wurden unmittelbar nach dem Fang in gekühltem Zustand ins Laboratorium gebracht und dort sofort in die einzelnen Organe (Muskel, Leber, Niere, Kiemen, Eier, Darminhalt) zerlegt. Für die

Sektion und die Aufbewahrung der Präparate wurden ausschließlich nicht-metallische Instrumente bzw. Gefäße verwendet.

Die bis zur Gewichtskonstanz gefriergetrockneten Proben wurden in HNO_3 aufgeschlossen und atomabsorptionsspektrometrisch untersucht. Die Bestimmung von Cd und Cu wurde mit der flammenlosen (Perkin Elmer 300, HGA-72), die von Zn mit der konventionellen (Perkin Elmer 303) Methode nach dem Additionsverfahren [5] durchgeführt.

Die Prüfung der Reproduzierbarkeit der Additionsmethode ergibt für Cu bei einer Zugabe von $0,2 \mu\text{g}$ Cu zu $20 \mu\text{l}$ Probelösung eine Abweichung von $\pm 4,9\%$. Die untere Erfassbarkeit von addierten Kupferionen liegt damit bei $0,02 \mu\text{g}$. Für Cd sind bei einer Zugabe von $0,004 \mu\text{g}$ zu $20 \mu\text{l}$ Probelösung bei einer Abweichung von $19,0\%$ noch $1,5 \times 10^{-3} \mu\text{g}$ der addierten Cd-Ionen nachweisbar.

Zn wurde mit konventioneller Eichkurvenmessung bestimmt. Die Konzentrationen der Probelösungen lagen zwischen 0,1 und 5 ppm Zn. Dieser Bereich wurde durch Eichlösungen eingegrenzt.

Alle Konzentrationsangaben werden nachfolgend in ppm bzw. ppb, bezogen auf Frischgewicht, angegeben.

Ergebnisse

Die Einzel-Daten sämtlicher Untersuchungen sind numerisch in Tab. I (nach ansteigendem Fischgewicht angeordnet) sowie graphisch in Abb. 1 dargestellt. Tab. I enthält darüber hinaus die für die verschiedenen Untersuchungsgebiete errechneten statistischen Parameter (Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient).

In Tab. II wurde ein Mittelwert-Vergleich (t-Test nach Kaiser u. Gottschalk [6]) für die untersuchten Gebiete durchgeführt. Hierfür wurden aus dem Bereich Neckar/Enz 11 Fische ausgewählt, deren Gewicht ($51,0 - 132,1 \text{ g}$) im gleichen Bereich wie dasjenige der Fische aus der Elsenz ($52,7 - 130,2 \text{ g}$) lag. Damit können altersbedingte Varianzen verschiedener Populationen ausgeschlossen werden. Die drei Fische Neckar/HD wurden trotz des höheren Gewichts in den Vergleich einbezogen – im Gewicht vergleichbare Fische standen hier nicht zur Verfügung.

1. Zink

a) Muskel

Die Zn-Gehalte variieren zwischen 2,5 und 11,9 ppm. In der Elsenz liegen sämtliche Werte oberhalb

6,1 ppm, im Neckar/Enz unterhalb 7,2 ppm. Im Bereich Neckar/HD streuen die Werte zwischen 3,0 – 3,7 ppm.

b) Leber

Die Gehalte variieren zwischen 11,0 und 81,0 ppm. In der Elsenz liegen sämtliche Werte über 31 ppm, im Bereich Neckar/Enz sind mit Ausnahme eines einzigen Wertes sämtliche Konzentrationen unter 33 ppm. Der Bereich Neckar/HD variiert zwischen 27,8 und 77,5 ppm.

c) Niere

Die Konzentrationen variieren zwischen 69,3 und 476,4 ppm. Im Gebiet Neckar/Enz streuen die Werte innerhalb der Extremwerte, im Gebiet Neckar/HD und Elsenz liegen die Werte im unteren Streubereich.

d) Darminhalt

Die Werte streuen zwischen 27,0 und 119,9 ppm.

e) Eier

Die Konzentrationen variieren zwischen 8,9 und 85,3 ppm. Die Schwankungen in der Elsenz sind wesentlich stärker als im Neckar/Enz, die höchsten Werte treten in der Elsenz auf.

f) Kiemen

Die Werte streuen zwischen 21,5 und 79,5 ppm. Die höchsten Werte treten in 2 von 3 Fischen des Neckars/Enz auf.

2. Kupfer

a) Muskel

Die Konzentrationen schwanken zwischen 92 und 1094 ppb. Sämtliche Werte des Neckars/HD liegen unterhalb 250 ppb, sämtliche Werte der Elsenz unterhalb 390 ppb. Im Bereich Neckar/Enz ist der Streubereich am größten.

b) Leber

Die Meßwerte liegen zwischen 1292 und 9804 ppb. Die Werte aus dem Neckar/HD liegen unterhalb 3000 ppb, diejenigen aus der Elsenz unterhalb 4500 ppb.

c) Niere

Die Werte variieren zwischen 503 und 6090 ppb. Die Fische aus Neckar/Enz zeigen Konzentrationen

Tab. I. Zink-, Kupfer- und Cadmium-Konzentrationen in verschiedenen Organen von Plötzen. Konzentrationsangaben bezogen auf Frischgewicht.

Flußabschnitt	Gesamt- fisch- Frisch- gewicht [g]	Zink [ppm]						Kupfer [ppb]			Cadmium [ppb]		
		Muskel	Leber	Niere	Darm- inhalt	Eier	Kiemen	Muskel	Leber	Niere	Muskel	Leber	Niere
Neckar/Enz	45,0	6,2	21,3	102,9	41,7	37,4	29,5	581	6339	859	2,2	100	360
	46,9	4,6	20,0	381,3	50,0	23,9	33,5	258	5902	1233	10,4	650	2040
	47,6	4,8	20,0	402,2	64,4	24,7	32,5	136	4933	1402	3,8	30	180
	48,8	4,8	31,0	476,4	63,9	25,3	27,9	339	4212	2775	10,1	60	180
	51,0	6,5	22,0	102,9	61,4	27,0	30,9	1072	9804	2211	26,1	340	2470
	54,2	5,1	17,4	249,1	32,2		40,6	363	7401	1596	5,9	80	1250
	61,6	3,2	21,3	132,7	76,8	27,1	30,1	623	5654	1028	12,2	380	2580
	61,9	3,9	29,7	183,9	99,1		26,1	434	6191	1962	10,2	560	3980
	67,7	7,1	27,8	144,7	27,0	21,5	25,2	386	7408	1461	7,2	220	1100
	72,6	5,1	11,0	175,5	31,3	29,4	33,1	931	1233	1102	12,9	50	1010
	87,9	4,6	31,0	187,5	48,8	23,5	27,8	375	4171	1126	27,6	250	1850
	90,7	7,1	32,3	198,0	93,1		32,6	508	4783	1119	6,9	280	3210
	104,8	6,2	23,3	195,7	52,6	25,2	26,7	1094	6442	6090	36,6	3120	3150
	105,0	3,9	23,3	385,5	39,1	22,3	22,5	247	5426	1411	13,0	730	4540
	132,1	4,8	54,0	147,6		32,5	32,8	159	4881	3785	55,4	2620	9710
	143,0	3,7	25,8	102,4	33,4		23,3	703	6432	1300	11,0	1290	4730
	212,3	3,0	17,4	84,3	56,5		26,7	474	8150	1828	2,5	20	250
	229,0	4,8	19,4	69,3		34,7	26,2	380	1731	1081	22,3	2000	12470
	233,1	2,5	29,7	424,7	49,2	39,1	51,3	272	6649	1670	4,3	960	3400
	245,6	2,8	16,1	102,4	43,6	20,1	21,5	340	4736	1549	18,4	2280	35340
	\bar{x} =	4,7	24,7	212,5	53,6	27,6	30,0	484	5624	1829	15,0	801	4690
	s =	1,37	8,98	128,58	20,35	5,84	6,75	277,7	1981,3	1213,8	13,21	954,0	7859,9
	VK% =	28,9	36,4	60,5	38,0	21,2	22,5	57,4	35,2	64,4	88,4	119,1	167,6
	n =	20	20	20	18	15	20	20	20	20	20	20	20
Neckar/HD	180,6	3,7	77,5	116,0	—	58,2	74,18	92	1938	918	3	820	4570
	198,2	3,2	45,2	109,6	—	19,5	36,1	243	2915	2803	11	340	5180
	242,6	3,0	27,8	137,3	—	20,6	79,5	193	1680	875	4	120	2440
	\bar{x} =	3,3	50,2	121,0	—	32,8	63,2	176	2178	1532	6	427	4063
	s =	0,36	25,22	14,50	—	22,03	23,65	76,3	651,4	1100,3	4,4	358,0	143,8
	VK% =	10,3	50,3	12,0	—	67,2	37,4	43,7	29,9	71,9	72,6	83,9	35,4
Elsenz	n =	3	3	3	—	3	3	3	3	3	3	3	3
	52,7	9,0	81,0	77,2	89,8	85,3	36,5	288	1514	503	5	60	105
	59,3	11,9	52,5	113,3	83,3	29,3	—	170	1677	809	10	16	54
	88,5	8,6	57,6	116,6	78,4	51,3	55,6	179	3801	1105	<5	38	178
	94,5	6,1	31,4	80,7	38,4	8,9	27,0	281	1282	697	<5	75	887
	111,4	7,3	39,0	141,9	56,4	23,5	32,2	345	2016	1025	<5	19	49
	128,8	8,3	35,7	137,0	119,9	34,1	38,1	247	1693	782	9	21	75
	130,2	7,4	46,5	155,6	—	53,2	35,6	382	4207	664	<5	336	1634
	\bar{x} =	8,4	49,1	117,5	77,7	40,8	37,5	270	2313	798	<6	81	426
	s =	1,83	16,85	30,07	28,13	24,96	9,70	79,0	1181,8	208,7	2,2	114,8	611,0
	VK% =	21,9	34,3	25,6	36,2	61,2	25,9	29,2	51,1	26,2	35,2	142,2	143,4
	n =	7	7	7	6	7	6	7	7	7	7	7	7

von über 1100 ppb (eine Ausnahme), während die Elsenz-Fische zwischen 500 und 1100 ppb variieren.

liche Werte ≤ 11 ppb, im Neckar/Enz tritt eine Häufung der Werte im Bereich >10 ppb auf.

3. Cadmium

a) Muskel

Die Meßdaten variieren zwischen 2,2 und 55,4 ppb. Im Neckar/HD und in der Elsenz liegen sämt-

b) Leber

Die Werte variieren zwischen 16 und 3120 ppb. Die Konzentrationen in der Elsenz liegen stets unterhalb 350 ppb, in den bei den Neckar-Abschnitten ist die Streuung sehr groß.

Tab. II. Mittelwert-Vergleich (t-Test) für verschiedene Schwermetall-Gehalte in verschiedenen Organen von Plötzen aus Neckar/Enz (11 Fische zwischen 51,0 und 131,1 g), Neckar/HD (3 Fische) und der Elsenz (7 Fische). Es bedeuten: 99,9% hoch-signifikant; 99,0% signifikant; 95% wahrscheinlich.

	Muskel			Leber			Niere			Darm- inhalt	Eier	Kie- men
	Zn [%]	Cu [%]	Cd [%]	Zn [%]	Cu [%]	Cd [%]	Zn [%]	Cu [%]	Cd [%]	Zn	Zn	Zn [%]
Neckar/Enz : Elsenz	99,9	95,0	95,0	99,0	95,0	—	95,0	95,0	95,0	—	—	95
Neckar/Enz : Neckar/HD	95,0	—	—	95,0	95,0	—	—	—	—	n.b.	—	99,9
Neckar/HD : Elsenz	99,9	—	—	—	—	—	—	—	99,9	—	—	95

c) Niere

Die Konzentrationen streuen zwischen 49 und 35340 ppb. Die Werte in der Elsenz liegen stets unter 1700 ppb. Die Fische aus dem Neckar/HD streuen zwischen 2440 und 4570 ppb.

Diskussion

Die Ergebnisse der Schwermetall-Untersuchungen in den verschiedenen Gebieten zeigen, daß eine unterschiedliche Belastung mit Schwermetallen in den verschiedenen Fisch-Organen vorliegt. Generell zeigt sich, daß in jedem Fall, unabhängig von der Lokalität, die Organe Muskel, Leber und Niere für die untersuchten Metalle Zink, Kupfer und Cadmium ein bestimmtes Belastungsmuster zeigen (vgl. Abb. 1)

Zn und Cd: Muskel < Leber < Niere,

Cu : Muskel < Niere < Leber.

Die Variationen sind bei den essentiellen Schwermetallen Zn und Cu in den untersuchten Organen geringer (im Bereich einer Zehnerpotenz) als beim nicht-essentiellen Cd. Hier zeigen die Konzentrationen für die Muskulatur noch eine relativ geringe Variationsbreite, während die Werte der Leber im Bereich von zwei, diejenigen der Niere im Bereich von drei Zehnerpotenzen streuen.

Regional können folgende Unterschiede in der Schwermetall-Belastung einzelner Organe festgestellt werden:

Zink

Muskel und Leber sind im Elsenz-Bereich durchschnittlich um das Doppelte höher belastet als im Bereich Neckar/Enz. Dieser Befund ist statistisch abgesichert. Bei den Fischen des Bereichs Neckar/HD tritt eine ähnlich hohe Belastung der Leber wie bei

den Fischen aus der Elsenz auf. Die Ursache für diese Höherbelastung der Elsenz-Fische dürfte in der allgemein hohen Belastung dieses Gewässers mit Zink durch kommunale Abwässer und einen großen Galvanisierbetrieb bei Sinsheim liegen.

So zeigen auch die Sedimente der Elsenz in diesem Bereich Zn-Gehalte bis max. 2500 ppm in der Tonfraktion, der sich auch in den sedimentbewohnenden Organismen niederschlägt [7].

Im Vergleich zur Elsenz liegen die Zn-Gehalte der Neckar-Sedimente in den Bereichen der Fisch-Entnahme wesentlich niedriger (Neckar bei Besigheim 900 ppm, Neckar bei Heidelberg 730 ppm [2, 8]. Die höheren Zn-Gehalte des Darminhalts der Elsenz-Fische deuten ebenfalls auf die höhere Zn-Belastung der Elsenz hin.

Kupfer

In sämtlichen untersuchten Organen liegen die Cu-Konzentrationen im Bereich Neckar/Enz um das ca. Doppelte höher als in der Elsenz oder im Bereich Neckar/HD. Diese Unterschiede spiegeln die allgemeine Belastung der entsprechenden Flußabschnitte mit diesem Schwermetall wider: In der Enz, unmittelbar vor der Einmündung in den Neckar, liegt der Cu-Gehalt in der Tonfraktion der Sedimente als Folge des hohen Kupfereintrags im Gebiet um Pforzheim bei 420 ppm, während die Cu-Gehalte der Sedimente der Elsenz und des Neckars bei Heidelberg deutlich niedriger liegen [2, 7].

Cadmium

Die Fische der Elsenz weisen in sämtlichen Organen niedrigere Werte als die Fische des Neckars/Enz auf. Beim Muskel sind die Unterschiede am geringsten. In den Speicherorganen Leber und besonders in der Niere sind sie am höchsten. Die Fische aus dem Bereich Neckar/HD zeigen in der Muskula-

tur ähnliche Werte wie die Fische aus der Elsenz. Leber und Niere weisen hingegen Gehalte auf, die zwischen denen von Neckar/Enz und Elsenz liegen.

Zwar ist der Mittelwert der Cd-Gehalte der Muskulatur der Neckar/Enz-Fische seit 1973 von 38 auf 15 ppb zurückgegangen, er liegt jedoch immer noch um mehr als das Doppelte höher als in den Fischen der Elsenz. In Leber und Niere beträgt der Anreicherungsfaktor bei den Fischen aus Neckar/Enz sogar das Zehnfache. Da eine unmittelbare Belastung des Neckars mit Cd aus dem Wasser seit der Inbetriebnahme einer Kläranlage durch den Cadmium-verarbeitenden Betrieb beseitigt wurde, müßten eigentlich die nach der Beseitigung geschlüpften Fische weit niedrigere Cd-Gehalte aufweisen.

Da dies nicht zutrifft, muß angenommen werden, daß in den Sedimenten (noch) festgelegtes Cadmium durch die Nahrungsaufnahme in die Fische gelangt und dort gespeichert wird, dies allerdings in einem wesentlich geringeren Ausmaß als vor 1973.

Eine statistische Beziehung zwischen Fischgewicht (Lebensalter) und dem Cd-Gehalt im Muskel ist bei den Fischen aus dem Neckar/Enz-Bereich nicht ge-

geben, jedoch ist auffällig, daß nur 10% aller Fische mit einem Gewicht von < 85 g (entsprechend einem Alter von ≤ 3 Jahren) Gehalte von mehr als 20 ppb aufweisen.

Bei Leber und Niere ergeben sich eindeutige Abhängigkeiten vom Fischgewicht und damit vom Lebensalter (Abb. 2), die auf die ehemalige, vor 1973 liegende sehr hohe Belastung der älteren Fische mit Cd zurückzuführen sein dürfte.

Damit muß auch bei Fischen mit einer hohen biologischen Halbwertszeit von Cadmium gerechnet werden.

Die Organ-Belastung mit verschiedenen Schwermetallen

Bereits weiter oben wurde auf die allgemeine Beziehung

Zn und Cd: Muskel $<$ Leber $<$ Niere

Cu : Muskel $<$ Niere $<$ Leber

hingewiesen, die bei allen untersuchten, aus verschiedenen Flüssen bzw. Flußabschnitten stammen-

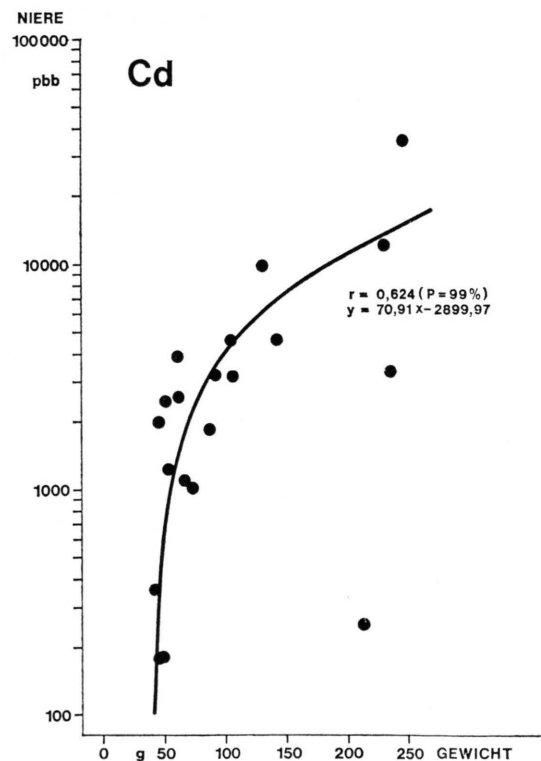
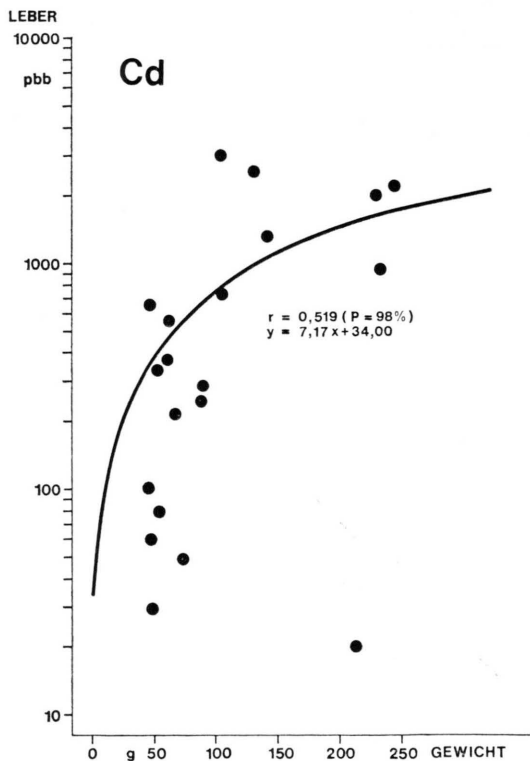


Abb. 2. Beziehungen zwischen der Cd-Konzentration in der Leber (links) und in der Niere (rechts) und dem Gewicht (Lebensalter) von Plötzen im Flußabschnitt Neckar/Enz.

den Fischen unabhängig vom Fischalter beobachtet wurde. Die hier gefundene Beziehung zwischen Zn und den Organen Leber und Niere ist bereits bei unbelasteten Fischen festgestellt worden [9], sie ist auf die enzymatischen Funktionen von Zn vor allem in Niere und Leber zurückzuführen.

Es ist auffällig, daß die Fische aus dem Neckar/Enz-Gebiet in Muskel und Leber eine Zinkbelastung aufweisen, die nur halb so hoch wie in den Fischen der Elsenz ist, während in der Niere die Zinkgehalte in den Neckar-Fischen doppelt so hoch wie in der Elsenz liegen. Die Deutung dieser Umkehr der Verhältnisse dürfte in der hohen Cadmium-Belastung der Niere der Neckar-Fische liegen, die eine erhöhte Zinkanreicherung in diesem Organ verursacht [10, 11].

Zink wurde als einziges Metall auch in den Kiemen, Eiern sowie im Darminhalt untersucht. In Eiern und Kiemen liegen die Werte auf ähnlich hohem Niveau wie in der Leber, die Schwankungsbreite der Konzentrationen ist jedoch geringer.

Cd zeigt in den untersuchten Fischen dasselbe Verhalten wie Zink. Darin drückt sich u. E. der Antagonismus zwischen dem essentiellen Zink und dem nicht-essentiellen Cadmium aus.

Die hohe Belastung der Niere ist durch ihre Funktion als Ausscheidungsorgan bedingt. Zusätzliches Cadmium wird darüber hinaus in ihr gespeichert. Hierbei kann das Cd-spezifische Enzym Metallothionein eine zentrale Rolle spielen, dies wurde allerdings bisher nur an höheren Wirbeltieren untersucht [10, 13].

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen weisen darauf hin, daß eine Belastung mit Cd primär in der Niere und in der Leber erfolgt und erst eine extreme Belastung mit Cd eine höhere Belastung des Muskels verursacht. Dies bedeutet, daß der Fisch-Muskel bei einer subtoxischen Belastung mit Cd als Indikator für dieses Element ungeeignet ist.

Kupfer ist auch in unbelasteten Fischen in der Leber am stärksten angereichert (Phenoloxidase, Cytochromoxidase), in der Niere liegen die Konzentrationen weit niedriger, im Muskel sind sie am geringsten. Bei den untersuchten Fischen ergibt sich für die Verteilung von Kupfer in den Organen dasselbe Muster, obwohl in den verschiedenen Untersuchungsgebieten die Belastung mit Kupfer verschiedenen hoch ist.

Zn, Cu und Cd in Plötzen anderer deutscher Flußgebiete

Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit Literatur-Daten ist nur bedingt möglich, da über Plötzen in anderen deutschen Flußgebieten nur wenige Veröffentlichungen vorliegen, die sich zudem nur auf die Muskulatur der Fische beziehen. Ein Vergleich mit anderen Fischarten erscheint wenig sinnvoll, da die Metall-Konzentrationen stark von der Ernährungsweise des Fisches und seiner Stellung innerhalb des Nahrungsnetzes bestimmt werden können.

Yedeler [12] fand in 48 untersuchten Plötzen der Donau bei Bogen Zn-Gehalte zwischen 6–12 ppm. Diese Werte liegen im gleichen Streubereich wie bei den Fischen aus der Elsenz. Kittelberger [14] gibt für die Rhein-Fische unterhalb von Ludwigshafen (untersucht wurden 5680 g Plötzen) einen Durchschnittswert von 8 ppm an, der damit in der gleichen Höhe wie bei den Fischen in der Donau und der Elsenz liegt.

In Rhein-Plötzen (unterhalb Ludwigshafen) bestimmte Kittelberger [13] 600 ppb Cu (Durchschnitt aus 5680 g Fisch). Dieser Wert liegt deutlich höher als in allen von uns untersuchten Flußabschnitten. Der durchschnittliche Cadmium-Gehalt von 5 Donau-Plötzen wird von Kreutzer u. Wißmath [15] mit 58 ppb (Streubereich 10–112 ppb) angegeben. Diese Gehalte liegen damit wesentlich höher als bei unseren Untersuchungen.

Knöppler u. Dorn [16] bestimmten Cd im Muskel von Plötzen aus dem Chiemsee, Starnberger See und Bodensee:

Chiemsee:

4 Fische, 3–42 ppb, Mittelwert 15 ppb,

Starnberger See:

2 Fische, 3–14 ppb, Mittelwert 8,5 ppb,

Bodensee:

91 Fische, 2–5 ppb, Mittelwert 4 ppb.

Diese Werte sind mit unseren Ergebnissen aus Elsenz und Neckar/HD vergleichbar, wobei jedoch die Bodensee-Werte noch deutlich niedriger liegen.

Schlußfolgerungen

Die These, daß Fische als letztes Glied einer Nahrungskette ausgezeichnete Indikator-Organismen für die Erkennung des Gütezustandes eines Gewässers darstellen („Der Fisch als Spiegel der Umwelt“, Rei-

chenbach-Klinke [17]), konnte im vorliegenden Fall einer sehr starken Cadmium-Belastung im Neckar und einer mäßig starken Zink-Belastung in der Elsenz voll bestätigt werden.

Zwar steht bei der Untersuchung von Metall-Rückständen im Fisch die Muskulatur als Lebensmittel für den Menschen im Vordergrund, die Analyse der metall-spezifischen Speicherorgane (z. B. Zn und Cd in der Niere, Cu in der Leber, Pb im Skelett, Hg im Körperfett) zeigt aber ein für die Erkennung des gesamten Spektrums einer Metall-Intoxikation wesentlich differenzierteres Bild und

sollte daher für die ökologische Fragestellung in weit stärkerem Umfang durchgeführt werden.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die finanzielle Unterstützung, den Herren O. Kranich (Besigheim), E. Lorenz (Kirchheim/N.), H. Mandel (Ludwigsburg) und G. Storch (Bammmental) für ihre Hilfe beim Fischfang.

Die spurenanalytischen Bestimmungen wurden von Frau M. Hilbig und Frau M. Meding durchgeführt. Herr U. Kästner fertigte die Zeichnungen an.

- [1] K. Banat, U. Förstner u. G. Müller, *Naturwissenschaften* **59**, 525–528 (1972).
- [2] U. Förstner u. G. Müller, *Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung*, 225 S., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1974.
- [3] G. Müller u. U. Förstner, *Naturwissenschaften* **60**, 258–259 (1973).
- [4] G. Müller u. F. Prosi, *Naturwissenschaften* **64**, 530–531 (1977).
- [5] M. Fleischer, *Analysentechnische Berichte* 33, Perkin-Elmer, Überlingen 1974.
- [6] R. Kaiser u. G. Gottschalk, *Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten*, 68 S., B. J. Wissenschaftsverlag, Mannheim-Wien-Zürich 1972.
- [7] F. Prosi, *Schwermetalle im Wasser, in Sedimenten und in limnischen Organismen der Elsenz*, Dissertation Heidelberg 1977.
- [8] D. Reinhard u. U. Förstner, *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* **1976**, 301–320 (1976).
- [9] H. J. M. Bowen, *Trace Elements in Biochemistry*, p. 241, Academic Press, London 1966.
- [10] L. Friberg *et al.*, *Cadmium in the Environment*, p. 248, CRC Press, Cleveland 1974.
- [11] M. Merlini *et al.*, *The Effects of Sublethal Amounts of Cadmium and Mercury on the Metabolism of Zn-65 by Freshwater Fish*, Internat. Symp. Radioecol. Apl. to Protect., Man and Environ., Rome, 07–10 Sept. 1971.
- [12] A. Yedeler, *Anreicherung und Elimination von Zink in Pflanzen, Sedimenten und Fischfleisch*, Dipl.-Arb. Bereich Biologie, TU München 1977, cit. in [15].
- [13] B. L. Vallee u. D. D. Ulmer, *Ann. Rev. Biochem.* **41**, 91–129 (1972).
- [14] F. Kittelberger, *Tierärztl. Prax.* **1**, 465–479 (1973).
- [15] W. Kreuzer u. P. Wißmath, *Quecksilber, Blei, Cadmium und Zink in Fischen aus Fließgewässern des Voralpenlandes*, DFG-Symposium „Rückstände in Fisch“, Hamburg, 24./25. 3. 1977.
- [16] H.-O. Knöppler u. P. Dorn, *Rückstände von Quecksilber, Cadmium und Blei in Fischen aus Teichwirtschaften und Seen Bayerns*, DFG Kolloquium „Rückstände in Fisch“, Hamburg, 24./25. 3. 1977.
- [17] H.-H. Reichenbach-Klinke, *Der Süßwasserfisch als Nährstoffquelle und Umwelt-Indikator*, p. 125, G. Fischer Verlag, Stuttgart 1974.