

Originalarbeiten

Schwermetallkonzentrationen (Hg, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb und Ni) in Flundern (*Platichthys flesus* L.) aus der Kieler Förde

Heinz-Rudolf Voigt

Korrespondenzadresse: Heinz-Rudolf Voigt, Institut für Limnologie und Umweltschutz, Universität Helsinki-Helsingfors, Postfach 62, FIN 00014 Helsinki-Helsingfors, Finnland; e-mail: Heinz-Rudolf.Voigt@Helsinki.fi

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2002.08.039>

Zusammenfassung. Um die Gehalte von Schwermetallen in Flundern (*Platichthys flesus* L.) aus der Kieler Förde (KieF) festzustellen, wurden vergleichbare Herbstproben aus den inneren als auch den äußeren Teile der Förde analysiert, und ihre jeweiligen Konzentrationen in der Muskulatur, der Leber, den Nieren und den Gonaden ermittelt. Mit Ausnahme von Mangan im ganzen Fisch und Zink in den Nieren und Gonaden waren alle Metallkonzentrationen bei den Flundern aus der inneren Förde höher als bei denen der äußeren Förde. Der Verdacht, dass diese Unterschiede mit entsprechenden Unterschieden in der Nahrungswahl zusammenhängen, liegt nahe, ist jedoch nicht erwiesen.

In allen Fällen waren die Konzentrationen von Quecksilber in der Muskulatur höher als in den übrigen untersuchten Organen der Fische. Die Zinkkonzentrationen in den Ovarien waren durchgehend höher als in den Testes, bei den Fischen aus der äußeren Förde (AF) gilt dies ebenso für Nickel. In Flundermännchen aus der inneren Förde (IF) waren die Konzentrationen von Kadmium durchgehend höher als in den Weibchen.

Die Konzentrationen von Quecksilber und Kadmium in den Flundern aus der Kieler Förde waren wesentlich niedriger als entsprechende Werte bei Flundern aus der übrigen Ostsee, so dass die gesetzlich festgelegten Grenzwerte für zulässige Schwermetallkonzentrationen in Speisefischen hier in keinem Falle überschritten wurden.

Schlagwörter: Flundern; Kieler Förde; Ostsee; *Platichthys flesus* L.; Schwermetalle

Abstract

Concentrations of the Heavy Metals (Hg, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb and Ni) in Flounders (*Platichthys flesus* L.) from the Firth of Kiel

Comparable autumn samples of flounders (*Platichthys flesus* L.) from both inner (IF) and outer (AF) parts of the Firth of Kiel (KieF) were analysed in order to find the levels of heavy metal concentrations in muscle tissue (M), liver (L), kidneys (N) and gonads (G). With the exception of Mn in the whole fish, and Zn in the kidneys and gonads, all the metal concentrations were higher in flounders from the IF than from the AF. Although not followed up, there is an assumption that this difference is connected with differences in the choice of food.

In all cases, concentrations of Hg were higher in muscle tissue than in the inner organs. The concentrations of Zn were higher in the ovaries than in testes. Concentrations of Ni were higher in the gonads of females from the AF.

In male flounders from IF, all the concentrations of Cd were higher than in the female fish.

Compared to flounders from other parts of the Baltic Sea the concentrations of both Hg and Cd were considerably lower in the flounders from the Firth of Kiel. The safety levels here regarding harmful heavy metals in fish as food were exceeded in no case.

Keywords: Baltic Sea; firth of Kiel; flounders; heavy metals; *Platichthys flesus* L.

Einleitung

Aktuelle und vergleichbare Daten über Schwermetallkonzentrationen in Flundern (*Platichthys flesus* L.) aus Küstengewässern der südlichen Ostsee umfassen meist spärliche Angaben für die Gebiete Öresund, Grosser Belt, Køge Bucht, Schleimünde, Gewässer vor Schönberg in der Kieler Bucht, Gewässer um die Insel Fehmarn, Lübecker Bucht, Wismarer Bucht, Pommersche Bucht, Putziger Wick, Danziger Bucht und 'Südliche Ostsee' (Engberg 1976, Jensen 1982, Mieth 1983, Falandysz 1985, Luckas und Harms 1987, Andrulowicz et al. 1988, Protasowicki 1989, Göthberg 1990, Polak-Juszczak und Domagała 1994, Senocak 1995, Polak-Juszczak 2000, Falandysz et al. 2000), nicht aber für die Kieler Förde. Die Flunder ist jedoch auch hier von wirtschaftlicher Bedeutung. Als beliebter Speisefisch (Saeger 1974, Arntz 1978) ist seine eventuelle Belastung mit verschiedenen Schad-

stoffen, wie z.B. den Schwermetallen Quecksilber (Hg), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kadmium (Cd), Blei (Pb) und Nickel (Ni), von allgemeinem Interesse. Die bisher festgestellten Höchstmengen von Schwermetallen in Flundern stammen aus der Herbstsaison (Mietz 1995).

Schwankungen und Unterschiede in der Metallbelastung bei Flundern von verschiedenen Orten innerhalb der Kieler Förde und Vergleiche mit entsprechenden Ergebnissen aus benachbarten Ostseegebieten sind von besonderem Interesse, da die Flunder in der Ostsee (Aro 1989, Bagge und Steffens 1989), aber auch in der Kieler Förde (Saeger 1974), ein verhältnismäßig standorttreuer Fisch ist. Dies ist auch ein Grund dafür, dass Flundern ganz allgemein, besonders aber im Ostsee- als auch Nordseeraum, als geeignete Indikatororganismen für die Umweltüberwachung empfohlen werden (ICES 1974, 1984, 1989, 1991).

1 Material und Methoden

Die insgesamt 24 untersuchten Flundern aus der Kieler Förde (Tab. 1) wurden im September 1997 aus frischen Fängen von Berufsfischern bei Laboe (AF) und Heikendorf (IF) ausgesucht und im Labor des Instituts für Meereskunde in Kiel gemessen (Totallänge der Fische in cm; TL), geöffnet und gewogen (Totalgewicht der Fische und der verschiedenen Organen in g). Die für die Schwermetallanalysen ausgewählten Gewebe und Organe, nämlich dorsale Muskulatur (M), Leber (L), Nieren (N) und Gonaden (G), wurden einzeln eingefroren (-18°C), um später als Einzelproben im Umweltschutzzlabor des Instituts für Limnologie und Umweltschutz in Helsinki-Helsingfors analysiert zu werden.

Die Quecksilberanalysen (Hg) wurden nach dem atomspektrofotometrischen Kaltdampfverfahren (CVAAS) mit einem MAS-50B Atomabsorptionsspektrophotometer nach Anweisungen der AOAC (1970) durchgeführt, wobei die Resultate auf das Frisch- oder Nassgewicht bezogen sind (mg/kg FG). Für die Bestimmung der übrigen Metalle nach dem elektrothermischen atomabsorptionsspektrometrischen Verfahren (ETAAS) wurde ein Varian-SpectrAA-400 Atomabsorptionsspektrometer eingesetzt, mit Acetylenflamme für Eisen (Fe), Mangan (Mn) und Zink (Zn) und mit einem Graphitofen GTA-96 für Kadmium (Cd), Blei (Pb) und Nickel (Ni), die Resultate sind auf das Trockengewicht (mg/kg TG) bezogen.

Alle Proben wurden doppelt und zusammen mit fünf Nullproben ('blanks') pro Analysenserie (40 Proben) analysiert. Als Vergleichsmaterial wurden Standardproben von Dorsmuskulatur, CRM-422 'cod muscle' (Quevauviller et al. 1993), verwendet. Das Verhältnis Trockengewicht/Frischgewicht für Muskulatur und die übrigen untersuchten Organe (Muskulatur = 0,17, Leber = 0,42, Niere = 0,20 und die Gonaden = Ovarien und Testes = 0,20) wurde zwecks Vergleichs mit früheren Untersuchungen ermittelt.

2 Ergebnisse

Der Konditionsfaktor (KF) wurde nach der Formel $(100 \times \text{Totalgewicht des Fisches in g}) / (\text{TL})^3$ bestimmt (Bagenal und Tesch 1978). Zur Bestimmung des Konditionskoeffizienten (KK) lautete die Formel $(100 \times \text{Gewicht des von Eingeweiden (Darm, Leber, Gonaden) entleerten Fisches in g}) / (\text{TL})^3$ (Suworow 1959). Die beiden somatischen Indexe für Leber (LSI) und Gonaden (GSI) wurden nach der Formel $(100 \times \text{Gewicht der Leber oder der Gonaden in g}) / \text{Totalgewicht des Fisches in g}$ berechnet (Busacker et al. 1990). Die auf diese Weise erhaltenen Mittelwerte für KF, KK, LSI und GSI sind zusammen mit den entsprechenden Mittelwerten für die Totallänge (TL) derselben Flundern aus der Kieler Innen- wie Außenförde und Gesamten Kieler Förde in Tabelle 1 angegeben.

Die Fischproben aus der IF und AF sind sich im Hinblick auf Größe der Proben, Geschlechterverteilung innerhalb der Proben, Länge der Fische und Fangzeit (alle im September 1997) ähnlich, insofern gut vergleichbar. Berechnung von KF, KK, LSI und GSI ergibt dann – mit Ausnahme der des GSI der Weichen (GSI♀♀) – für die Flundern aus der Außenförde durchgehend höhere Werte (Wilcoxon Signed Rank Test p-Werte: KF = 0,009, KK = 0,0036, für LSI und GSI♂♂ ohne Signifikanz. Bei den Flunderweibchen aus der IF ist der kalkulierte Wert des GSI (GSI♀♀) höher als bei denen aus der AF, doch ist der Unterschied nicht signifikant.

Die Mittelwerte der Schwermetallgehalte der verschiedenen Gewebe und Organe werden in Tabelle 2 gezeigt (die entsprechenden Resultate ± SD der Analysen von 6 Proben des Vergleichsmaterials, CRM-422, sowie des Zertifikatwertes ± SD (d.h. des vom Hersteller angegebenen 'certificate value') sind die folgenden: Fe 6,7 ± 1,8 bzw. 5,46 ± 0,30, Mn 0,59 ± 0,15 bzw. 0,543 ± 0,028, Zn 20,9 ± 1,5 bzw. 19,6 ± 0,5,

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) von Totallänge (TL; cm), Konditionsfaktor (KF), Konditionskoeffizient (KK), Lebersomatischem Index (LSI) und Gonadosomatischem Index (GSI) für Flundern (*Platichthys flesus* L.), gefangen im September 1997 aus der Kieler Innen- (IF) und Außen- (AF) Förde (Kieler Förde)

Flundern (N)	TL, cm (SD)	KF (SD)	KK (SD)	LSI (SD)	GSI (SD)
IF ♂♂ (7)	27,4 (1,1)	1,17 (0,11)	1,09 (0,10)	2,09 (0,32)	0,22 (0,07)
IF ♀♀ (5)	30,3 (2,0)	1,25 (0,11)	1,15 (0,11)	2,21 (0,53)	1,44 (0,19)
∑ ♂♂♀♀ (12)	28,6 (2,1)	1,21 (0,11)	1,11 (0,10)	2,14 (0,40)	
AF ♂♂ (6)	29,8 (4,5)	1,37 (0,67)	1,16 (0,55)	2,23 (0,67)	0,53 (0,87)
AF ♀♀ (6)	27,4 (1,8)	1,52 (0,06)	1,32 (0,06)	2,38 (0,60)	1,26 (0,21)
∑ ♂♂♀♀ (12)	28,6 (3,5)	1,45 (0,46)	1,24 (0,39)	2,31 (0,61)	
∑ Kieler (24)	28,6 (2,8)	1,33 (0,35)	1,18 (0,29)	2,22 (0,51)	

Tabelle 2: Mittelwerte der Metallkonzentrationen von Quecksilber (Hg), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kadmium (Cd), Blei (Pb) und Nickel (Ni) in Rückenmuskulatur (M), Leber (L), Niere (N) und Gonaden (G) bei Flundern (*Platichthys flesus* L.), im September 1997 gefangen aus der Kieler Innen- (IF) und Außen- (AF) Förde

	IF-M	AF-M	IF-L	AF-L	IF-N	AF-N	IF-G	AF-G
Hg	0,07	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
Fe	39	42	250	180	535	565	175	160
Mn	1,3	1,3	1,8	3,2	5,4	6,4	4,0	7,1
Zn	32	37	80	80	140	160	280	315
Cd	0,02	0,01	0,11	0,04	0,19	0,06	0,07	0,01
Pb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	0,1	0,3
Ni	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,4	0,1	0,1

Cd $0,018 \pm 0,003$ bzw. $0,017 \pm 0,002$, Pb $< 0,2$ bzw. $0,085 \pm 0,015$. Quecksilber und Nickel sind im o.e. Vergleichsmaterial nicht vorhanden; die Detektionswerte des Messverfahrens liegen für Hg bei $< 0,001$ mg/kg FG und für Ni bei $0,05$ mg/kg TG).

Die Konzentrationen von Quecksilber und Kadmium sind durchgehend höher bei den Flundern aus der IF (Wilcoxon Signed Rank Test p-Werte; HgM = $0,0000$, HgL = $0,0000$), doch sind die individuellen Analyseresultate für HgN und HgG viel zu ähnlich für einen erfolgreichen Test (CdM = $0,0567$, CdL = $0,0000$, CdN = $0,0000$ und CdG = $0,0006$). Ebenso lagen die Nickelkonzentrationen in den Nieren der Flundern aus der IF relativ höher (Wilcoxon Signed Rank Test p-Wert; NiN = $0,0017$). Für Mangan dagegen sind die Verhältnisse durchgehend umgekehrt: alle Konzentrationen in Leber, Nieren und Gonaden waren bei den Flundern aus der AF höher (Wilcoxon Signed Rank Test p-Werte; MnL = $0,0042$, MnG = $0,0000$ bzw. $MnO\varnothing = 0,0022$); dasselbe gilt für die Zinkkonzentrationen in den Nieren und den Gonaden (Wilcoxon Signed Rank Test p-Wert; ZnN = $0,0014$, für ZnG aber ohne Signifikanz).

Daneben gab es in einigen Fällen beträchtliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Bei den Flundern aus der IF waren die Konzentrationen für Kadmium bei den Männchen höher als bei den Weibchen (Wilcoxon Signed Rank Test p-Wert; IF-CdG = $0,0013$). Umgekehrt zeigten die Weibchen höhere Zinkkonzentrationen in den Ovarien als die Männchen in den Testes (Wilcoxon Signed Rank Test p-Wert; Kielf-ZnG = $0,0047$ bzw. AF-ZnG = $0,0130$) was bei den Weibchen aus der AF auch für Nickel gilt (Wilcoxon Signed Rank Test p-Wert; AF-NiG = $0,0108$).

In den meistens leeren Verdauungskanälen der Flundern aus der IF waren nur gelegentlich Reste von Muschelschalen (u.a. *Mytilus* sp) zu finden, während in den besser gefüllten Därmen der Flundern aus der AF außer Muscheln (*Mytilus* sp und *Cerastoderma* sp) vorwiegend Polychaeten vorkamen.

Äußerlich betrachtet war der gesundheitliche Zustand der untersuchten Flundern gut, denn in keinem Fall wurden Hautgeschwüre, Flossenfäule oder *Lymphocystis*-Knoten in der Haut beobachtet. Nur bei einem einzigen Weibchen aus der Außenförde wurden Fehlpigmentierungen auf der Blindseite des Fisches festgestellt. Dagegen zeigten vier von zwölf untersuchten Flundern aus der IF Farbenanomalien an der Leber.

3 Diskussion

Das am häufigsten analysierte Schwermetall bei Flundern aus der südlichen Ostsee ist das Quecksilber, über dessen Konzentrationen, vorwiegend alleine in der Muskulatur, eine Menge von Daten vorliegen, jedoch – mit zwei Ausnahmen – keine aus dem Bereich der Kieler Förde. Der bei Lucas und Harms (1987) für die Trockenmasse der Muskulatur bestimmte Wert für Flundern aus den 'Kieler und Mecklenburger Buchten' entspricht nach unserer Umrechnung etwa $0,03$ mg/kg Frischgewicht (FG). Mieth (1983) hat Quecksilberkonzentrationen in der Muskulatur als auch der Leber

von ebenfalls $0,03$ mg/kg FG bei elf Flundern aus der Kieler Bucht bei Schönberg bestimmt. Alle o.e. Werte sind von derselben Größenordnung wie die für die Flundern der AF festgestellten Werte (HgM = $0,02$ und HgL = $0,01$ mg/kg FG), doch liegen sie niedriger als die entsprechenden Werte für die Flundern der IF (IF-HgM = $0,07$ bzw. IF-HgL = $0,04$ mg/kg FG).

In der Muskulatur von Flundern aus dem Öresund und dem Großen Belt wurden Konzentrationen wie $0,14$ bzw. $0,07$ mg/kg FG festgestellt (Jensen 1982, Göthberg 1990) und für Flundern aus der Pommerschen Bucht und der Küste entlang ostwärts bis zur Danziger Bucht wurden Konzentrationen zwischen $0,05$ – $0,07$ mg Hg/kg FG ermittelt (Protasowicki 1980, Andrulewicz et al. 1988, Polak-Juszczak 2000). Bei zusammen analysierten Flundern aus dem Frischen Haff und der Danziger Bucht wurde ein Gehalt von $0,05$ mg/kg FG bestimmt (Falandysz et al. 2000).

Interessant und abweichend von den übrigen Daten über Quecksilberkonzentrationen sind die o.e. gleichen Werte für Muskulatur und Leber bei den Flundern aus der Kieler Bucht (Mieth 1983), während bisher, mit Ausnahme von Senocaks Untersuchungen (Senocak 1995), in der Muskulatur höhere Konzentrationen als in der Leber festgestellt worden sind (Engberg 1976, Kruse 1981, Andrulewicz et al. 1988, Voigt et al. 1994, Voigt 2001). Im Vergleich zu entsprechenden Resultaten von z.B. der Südküste Finnlands (Insel Nätö, Ålandsinseln; HgM = $0,09$ und HgL = $0,05$ mg/kg FG und der Halbinsel Tvärminne, Finnlands SW-Spitze; HgM = $0,11$ und HgL = $0,03$ mg/kg FG) in der nördlichen Ostsee (Voigt 1994, 1997, 2001, Voigt et al. 1994) sind die Werte für die Flundern aus der Kieler Förde (AF und IF) alle wesentlich niedriger.

Weil es außer den hier ermittelten Daten über Kadmium- und Zinkkonzentrationen bei Flundern aus der Kieler Förde keine entsprechenden Angaben gibt, werden in Tabelle 3 Daten über Metallkonzentrationen bei Flundern der südlichen Ostseeküste mit solchen aus den beiden o.e. Finnländischen Probestellen kombiniert (I-Nätö, Tvärminne).

In Tabelle 3 wurden die Daten für die Flundern aus der Køge Bucht in Dänemark (Engberg 1976) von Frischgewicht auf Trockengewicht umgerechnet. Die Daten aus Schleimünde, aus der Umgebung der Insel Fehmarn und aus der Lübecker und Wismarer Bucht sind alle aus den Primärdaten im Anhang der Arbeit von Senocak (1995) kalkuliert. Die Daten für die Flundern aus der Kieler Bucht vor Schönberg stammen aus der Arbeit von Mieth (1983). Die entsprechenden Werte für die Metallkonzentrationen in der Muskulatur von Flundern aus der Pommerschen Bucht (Zatoka Pomorska), der Putziger Wiek (Zatoka Pucka) und der Danziger Bucht (Zatoka Gdańska) wurden aus den Werten für Frischgewicht (mg/kg FG) der Arbeiten von Falandysz (1985), Falandysz und Lorenc-Biała (1983), und Brzezińska et al. (1984) auf Trockengewicht (TG) umgerechnet. Dasselbe gilt für die beiden Flunderproben aus der 'Südlichen Ostsee': S-Ost-1 bzw S-Ost-2 (Andrulewicz et al. 1985, Protasowicki 1989). Die Werte der Metallkonzentrationen aus den beiden finnländischen Probestellen stammen aus den Arbeiten von Voigt (1997, 1999 und 2001).

Tabelle 3: Mittelwerte der Konzentrationen von Kadmium (Cd) und Zink (Zn) in der Muskulatur (M), der Leber (L) und den Nieren (N) von Flundern (*Platichthys flesus* L.) aus einigen Küstengebieten um die Ostsee: Køge Bucht (KøgeB), Schleimünde (SchlM), Schönberg-Kieler Bucht (KielB), Laboe und Heikendorf = Kieler Förde (KielF), Insel Fehmarn (I-Fem), Lübecker Bucht (LübB), Wismarer Bucht (WismB), Pommersche Bucht (PomB), Putziger Wiek (PutzW), Danziger Bucht (DnzB), 'Südliche Ostsee' (S-Ost-1, S-Ost-2), Insel Nätö-Ålandsinsel (I-Nätö), Tvärminne-Halbinsel a.d. SW-Spitze Finnlands (Tvärm.)

Ort	CdM	CdL	CdN	ZnM	ZnL	ZnN	N
KøgeB	0,02	0,62		39	79		32
SchlM		0,29	0,29		150	145	10
KielB		0,25					11
KielF	0,01	0,07	0,13	34	80	150	24
I-Fem		0,19	0,15		160	180	3
LübB		0,51	0,28		160	215	10
WismB		0,87	0,70		195	260	7
PomB	0,03			16			21
PutzW	0,03			21			20
DnzB	0,11			20			17
S-Ost-1	0,02	0,52		32	102		
S-Ost-2	0,41	0,90	0,87	23	55	109	20
I-Nätö	0,19	3,12	1,19	37	105	150	21
Tvärm.	0,08	1,88	0,65	30	155	170	20

Aus den Arbeiten Engbergs (1976) und Jensens (1982) wurden Kadmiumkonzentrationen von 0,06 mg/kg TG für die Muskulatur bzw. 0,25–0,27 mg/kg TG für die Leber von Flundern aus dem Öresund und dem Großen Belt errechnet. Alle Werte sind wesentlich höher als die für Flundern aus der Kieler Förde. Dagegen ist der hier in TG umgerechnete Wert von CdL = 0,14 mg/kg für Flundern aus den 'Kieler- und Mecklenburger Buchten' (Luckas und Harms 1987) von derselben Größenordnung wie die entsprechenden Daten von Flundernlebern aus der Kieler Förde und um die Insel Fehmarn (Fem). Bei den Flundern aus der 'Südlichen Ostsee' (S-Ost-2) und der Danziger Bucht (DnzB) wurden die höchsten bekannten Konzentrationen von Kadmium in der Muskulatur (CdM = 0,41 bzw. 0,11 mg/kg) von allen Flundern aus der südlichen Ostsee festgestellt. Ähnlich hohe Werte für Kadmiumkonzentrationen in der Leber stammen von Flundern der Køge, der Lübecker und Wismarer Buchten sowie der 'Südlichen Ostsee' (Tab. 3.) (Engberg 1976, Senocak 1985, Andrulowicz et al. 1988, Protasowicki 1989). Auch in den Nieren von Flundern aus der 'Südlichen Ostsee' sind Höchstmengen von Kadmium festgestellt worden (CdN = 0,87; Protasowicki 1989). Im Vergleich zu den entsprechenden Daten für die Flundern aus den beiden finnländischen Probestellen sind alle eben angegebene Werten jedoch niedrig (Tab. 3: I-Nätö bzw. Tvärm.).

Die Zinkkonzentrationen in der Muskulatur der Flundern aus der Kieler Förde sind von derselben Größenordnung wie die der Flundern aus der Køge Bucht (Engberg 1976), der 'Südlichen Ostsee' (Andrulowicz et al. 1988, Protasowicki 1989) und den beiden finnländischen Probestellen (Tab. 3: I-Nätö bzw. Tvärm.), während die Werte für die Leber und die Nieren zu den niedrigsten festgestellten Werten gehören.

Daten über Konzentrationen von Blei, Nickel, Eisen und Mangan in Flundern aus den Küstengewässern der südlichen Ostsee sind noch spärlicher. Ergebnisse für Blei in der Leber von Flundern der 'Kieler und Mecklenburger Buchten' (Luckas und Harms 1987) wurden umgerechnet in TG Konzentrationen von PbL = ca. 0,17 mg/kg, d.h. sie liegen höher als bei den Flundern der Kieler Förde, und auch in der Muskulatur der Flundern der Pommerschen Bucht, der Putziger Wiek und der Danziger Bucht wurden entsprechend höhere Bleikonzentrationen festgestellt (PbM = 0,72, 0,43 bzw. 0,34 mg Blei/kg TG). Bei Flundern aus der 'Südlichen Ostsee' wurden die entsprechenden Konzentrationen in PbM = 0,2–0,5, PbL = 1,1–2,5 und PbN = 4,0 mg/kg TG umgerechnet (Andrulowicz et al. 1988, Protasowicki 1989, Polak-Juszczak und DomagaBa 1994). Für Nickel wurden die entsprechend höheren Werte NiM = 0,70, 0,31 bzw. 0,99 mg Ni/kg TG, für Eisen FeN = 8,1, 32 bzw. 16 mg/kg TG und für Mangan MnM = 0,4, 0,4 bzw. 0,6 mg/kg TG (Falandysz 1985) errechnet.

Die Resultate solcher Vergleiche sollten jedoch lediglich als Hinweise bewertet werden. Die für die Vergleiche herangezogenen Angaben beruhen nämlich auf oft ungleich behandelten Proben (statt individueller Proben der Gewebe und Organe der einzelnen Fische zu analysieren, wurden bei den meisten hier angeführten Untersuchungen sog. Gesamtproben als 'Homogenate' von in der Regel 20 Fischen gemeinsam analysiert). Ebenso sind die Analysemethoden nicht identisch (beruhend auf der Ausrüstung der jeweiligen Labors sowie der für die verschiedenen Verfahren nötigen Vorbehandlungen des Materials) und auch die Resultate noch verschieden dargestellt (entweder als Frisch- oder Trockengewicht). Dies alles beeinträchtigt die Vergleichbarkeit der ermittelten Werte.

Für weitere Erörterungen der Ergebnisse dieser Metallanalysen an Flundern aus der Kieler Förde, wie z.B. eventuelle Korrelationen zwischen den verschiedenen Metallen bei den Flundern aus Innen- und Außenförde, ist der Datenumfang viel zu gering und zum Teil sind die Daten ungeeignet, weil auch jahreszeitliche Einflüsse in der Metallkontamination der Flundern eine Rolle spielen (Mieth 1983). Weil sich die Verhältnisse für Flundern im Nordseeraum wesentlich von denen für Flundern im Ostseeraum unterscheiden (Lozán et al. 1990, 1996), wird hier bewusst auf Vergleiche zwischen den Metallkonzentrationen bei Flundern der beiden Meeresgebiete verzichtet. Für eine Beurteilung von Einfluss und Wirkung der evtl. Schwermetallbelastungen des Wassers oder der Sedimente auf die Flundern in der Kieler Förde ist das hier untersuchte Material quantitativ ebenfalls viel zu beschränkt.

Ob etwa die konstatierten Unterschiede zwischen den Parametern für die Kondition (KF bzw. KK) auch Unterschiede im Gesundheitszustand der Flundern aus der Kieler Förde (IF und AF) widerspiegeln bleibt offen, da eine hinreichende Überprüfung der entsprechenden Zustände der inneren Organe, wie z.B. von Leber und Niere, nicht vorgenommen wurde. Interessanterweise konnte aber die bereits von Larsson (1977) gefundene Reduktion der Leber (als niedriger LSI-Wert registriert) bei erhöhten Kadmiumkonzentrationen auch für die Flundern aus der Kieler Förde belegt werden (KielF; IF-LSI = 2,14 bzw. AF-LSI = 2,31 und KielF; IF-CdL = 0,11 bzw. AF-CdL = 0,04 mg/kg TG). Doch gilt der lebersomatische Index für einen Nachweis von Schadstoffwirkungen (wie Bleiacetat) als 'ungeeignet' (Haider 1984).

Die Menge der Nahrung im Verdauungskanal hat dagegen tatsächlich einen Einfluss auf den Konditionsfaktor (KF), nicht jedoch auf den Konditionskoeffizienten (KK), der somit die festgestellten Unterschiede zwischen IF und AF besser belegt. Ob auch die Qualität der Nahrung eine Wirkung auf dieselben Parameter hat, bleibt auch jetzt offen, trotz der beobachteten Unterschiede im Nahrungsspektrum zwischen den Flundern aus der Innen- und der Außenförde. Die Unterschiede in den festgestellten Metallkontaminationen dieser Flundern können dagegen tatsächlich mit unterschiedlicher Ernährung zusammenhängen. Schadstoffe, wie z.B. Schwermetalle, gelangen nicht nur über die Kiemen sondern auch mit der Nahrung in die Fische (Reichenbach-Klinke 1978, Hofer und Lackner 1995). Dazu fanden Legeżyńska und Styczyńska-Jurewicz (1986), dass Muscheln, wie etwa die Miesmuschel *Mytilus edulis* L., im akkumulieren von Schwermetallen aus ihrer Umgebung wesentlich effektiver sind als z.B. Polychaeten, wie z.B. *Nereis diversicolor* O.F. Müller. Außerdem sind bei Miesmuscheln aus Laboe (AF) meistens niedrigere Konzentrationen von Zn (700 bzw. 900 mg/kg TG), Cd (2,7 bzw. 3,2 mg/kg TG), Pb (2,2 bzw. 5,0 mg/kg TG) und Ni (2,2 bzw. 3,0 mg/kg TG) ermittelt worden als bei Miesmuscheln aus den inneren Bereichen der Kieler Förde (ter Jung 1992). Weil aber die Auswahl von Nahrungstieren eine vermutlich entscheidende Rolle bei der Metallkontamination der Fische spielt (Reichenbach-Klinke 1980, Hofer und Lackner 1995), wird

auf die Nahrungsuntersuchungen bei Flundern aus der Kieler Förde in einem demnächst erscheinenden Artikel (Voigt und Bucher) verwiesen.

Bei den im September 1997 untersuchten 24 Flundern aus der Kieler Förde wurden in der Muskulatur in keinem Falle die für Fisch als Lebensmittel vorgeschriebenen hygienischen Grenzwerte überschritten; Hg = 0,5–1,0 mg/kg FG, Cd = 0,1 mg/kg FG, Pb = 0,5 mg/kg FG (European Commission 1993, Hofer und Lackner 1995).

Danksagung. Die freundliche Einladung der Arbeitsgruppe 'Marine Pathologie' am Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und das bilaterale Austauschprogramm für Lehrer und Wissenschaftler der Universität zu Helsinki-Helsingfors, Finnland und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland, haben diese Untersuchung ermöglicht.

Besonderer Dank steht den Kollegen Christoph Bucher, Harry Palm, Dietrich Schnack und Sören Ullrich (alle in Kiel) und den Kollegen Martin Lodenius, Ernst Mecke, Heikki Tervahattu und Esa Tulisalo (alle in Helsinki-Helsingfors) zu.

Die kostspieligen Analysen wurden ermöglicht durch einen finanziellen Beitrag der Oskar Öflund Stiftung in Helsingfors.

Literatur

- AOAC (1970): Official methods of analysis. 11th edition. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington, DC
- Andrulewicz E, Trzosińska A, Grawiński E (1988): Results of a study on selected contaminant in fish in the Polish fishing area and their relation to pollution. Proceedings 16th CBO (Conference of the Baltic Oceanographers) 1, 121–152
- Arntz WE (1978): Predation on benthos by flounder, *Platichthys flesus* (L.) in the deeper parts of Kiel Bay. Meeresforschung 26 (2) 70–78
- Aro E (1989): A review of fish migration patterns in the Baltic. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 190, 72–96
- Bagenal TB, Tesch FW (1978): Age and Growth. In: Bagenal TB (ed): Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters, IBP Handbook 3. Blackwell Scientific Publications, Oxford-London-Edinburgh-Melbourne
- Bagge O, Steffens E (1989): Stock identification of demersal fish in the Baltic. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 190, 3–16
- Brzezińska A, Trzosińska A, Żmijewska W, Wodkiewicz L (1984): Trace metals in some organisms from the southern Baltic. Oceanologia 18, 79–94
- Busacker GP, Adelman IR, Goolish EM (1990): Growth. In: Schreck CB, Moyle PB (eds): Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda Maryland USA
- Engberg Å (1976): Undersøgelse vedrørende tungmetaller i hav- og kystfisk 1973–1975. Statens levnedsmiddelinstitut Publikation No 33-A, 1–62
- European Commission (1993): Commission Decision 93/351/EEC. Official Journal of the European Communities Series L 144, 23–24
- Falandysz J (1985): Trace metals in flatfish from the southern Baltic, 1983. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung 181 (2) 117–120
- Falandysz J, Lorenc-Biala H (1984): Trace metals in fish from the southern Baltic. Meeresforschung 30 (2) 111–119

- Falandysz J, Chwir A, Wyrzykowska B (2000): Total mercury contamination of some fish species in the Firth of Vistula and the lower Vistula River, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 9 (4) 335–339
- Göthberg A (1990): Metaller efter den svenska västkusten och i Öresund. Naturvårdsverket Rapport 3874, 1–51
- Haider G (1984): Untersuchung zur Verwendung des somatischen Leberindex (LI) in der Fischtoxikologie. *Fisch und Umwelt* 13, 101–138
- Hofer R, Lackner R (1995): *Fischtoxikologie – Theorie und Praxis*. G. Fischer Verlag, Stuttgart-New York
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (1974): Research programmes for investigations of the Baltic as a natural resource with special reference to pollution studies. ICES Cooperative Research Reports 42, 1–45
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (1984): The ICES coordinated monitoring programme for contaminants in fish and shellfish, 1978 and 1979 and six-year review of ICES coordinated monitoring programme. ICES Cooperative Research Reports 126, 1–100
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (1989): Statistical analysis of the ICES cooperative monitoring programme data on contaminants in fish muscle tissue (1978–1985) for determination of temporal trends. ICES Cooperative Research Reports 162, 1–147
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (1991): Statistical analysis of the ICES cooperative monitoring programme data on contaminants in fish liver tissue and *Mytilus edulis* (1978–1988) for determination of temporal trends. ICES Cooperative Research Reports 176, 1–189
- Jensen A (1982): Harmful substances in fish and shellfish. Report of the Danish Marine Pollution Laboratory 1, 1–32
- ter Jung C (1992): Beitrag zum Schwermetallgehalts-Monitoring (Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Pb, Cr, Ni) in Miesmuscheln an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (1988/89). Berichte aus dem Institut für Meereskunde 221, 1–58
- Kruse R (1981): Erfahrungen bei der Spurenanalyse von Quecksilber, Blei und Cadmium in Fischen unter Anwendung moderner Bestimmungsverfahren. *Fisch und Umwelt* 10, 19–32
- Larsson Å (1977): Some experimentally induced biochemical effects of cadmium on fish from the Baltic Sea. *Ambio Special Report* 5, 67–68
- Legeżyńska E, Styczyńska-Jurewicz E (1986): Accumulation of cadmium in two Baltic benthic species. *Ophelia Suppl.* 4, 139–145
- Lozán JL, Lenz W, Rachor E, Waterman B, von Westerhagen H (1990): Warnsignale aus der Nordsee. Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg
- Lozán JL, Lampe R, Matthäus W, Rachor E, Rumohr H, von Westerhagen H (1996): Warnsignale aus der Ostsee. Parey Buchverlag, Berlin
- Luckas B, Harms U (1987): Characteristic levels of chlorinated hydrocarbons and trace metals in fish from coastal waters of North and Baltic Sea. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 29, 215–225
- Mieth A (1983): Untersuchung zum Schwermetallgehalt (Cd, Pb, Cu, Hg) in Flundern (*Platichthys flesus* L.) aus der Elbe unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Einflüsse. Diplomarbeit aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Polak-Juszczak L (2000): Levels and trends of changes of heavy metal concentrations in Baltic fish, 1991 to 1997. *Biuletyn Morskiego Instytutu Rybackiego* 149 (1) 27–33
- Polak-Juszczak L, Domagala M (1994): Levels of heavy metals in Baltic fish in 1991–1993. *Biuletyn Morskiego Instytutu Rybackiego* 133 (3) 27–30
- Protasowicki M (1980): Zawartość rtęci w rybach przemysłowych polawianych przez rybołówstwo Polskie w latach 1974–1976. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie* 82, 183–199
- Protasowicki M (1989): Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fish organs. *Proceedings 21st EMBS (European Marine Biology Symposium)* 609–614
- Quevauviller P, Imbert JL, Wagstaffe PJ, Kramer GN, Griepnik B (1993): Reference materials, ESC-EEC-EAEC. Report EUR 14557, Commission of the European Communities BCR Information 1–64, Brussels-Luxembourg
- Reichenbach-Klinke HH (1978): Zur Ökologie der Schwermetallanreicherungen in Fischen. *Fisch und Umwelt* 6 (7) 7–11
- Reichenbach-Klinke HH (1980): *Krankheiten und Schädigungen der Fische*. 2. Auflage G. Fischer Verlag, Stuttgart-New York
- Saeger J (1974): Der Befischungszustand der Flunderpopulation in der Kieler Bucht. Diss., Institut für Küsten- und Binnenfischerei der Bundesforschungsanstalt für Fischerei Hamburg und dem Institut für Meereskunde und der Christian-Albrechts-Universität Kiel
- Senocak T (1995): Schwermetalluntersuchungen an Fischen der deutschen Ostseeküste Kliesche, *Limanda limanda*; Flunder, *Platichthys flesus*; Hering, *Clupea harengus* und Dorsch, *Gadus morhua*. *Berichte aus dem Institut für Meereskunde* 270, 1–79
- Suworow JK (1959): *Allgemeine Fischkunde*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin
- Voigt H-R (1994): Miljögifter i och sjukdomar hos flundran (*Platichthys flesus* L.). *Fiskeritidskrift för Finland* 38 (4) 20–22
- Voigt H-R (1997): Concentrations of heavy metals in viviparous blenny (*Zoarces viviparus* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.) from Finnish coastal waters and their possible harmful effect upon the health condition of the fishes. *Tvärminne Studies* 7, 37
- Voigt H-R (1999): Concentrations of heavy metals in fish from coastal waters around the Baltic Sea (Extended abstract). *ICES Journal of Marine Science* 56, 140–141
- Voigt H-R (2001): Abborre (*Perca fluviatilis* L.) och flundra (*Platichthys flesus* L.) – två åländska läckerbiter. *Skärgård* 24 (4) 78–82
- Voigt H-R, Wiklund T, Bylund G (1994): Mercury in flounder (*Platichthys flesus* L.) from Finnish coastal waters. *BMB (Baltic Marine Biologists) Publication* 15, 117–119

Eingegangen: 22. 05. 2002
 Akzeptiert: 13. 08. 2002
 OnlineFirst: 28. 08. 2002



Heinz-Rudolf Voigt is working as a researcher and teacher at the Department of Limnology and Environmental Protection at the University of Helsinki-Helsingfors, Finland (Heinz-Rudolf.Voigt@Helsinki.fi; <http://honeybee.helsinki.fi/users/hrvoigt/>)