

FISCH UND UMWELT

Schadstoffüberwachung in Meeresfischen

Michael Haarich und Uwe Harms, Institut für Fischereiökologie, Hamburg

Der Zustand der marinen Umwelt von Nord- und Ostsee wird durch regelmäßige Beobachtungen und Messungen physikalischer, chemischer und biologischer Größen überwacht. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Aufgaben auf Institute der an den Küsten liegenden Bundesländer, verschiedener Bundesministerien sowie von beiden gemeinsam betriebenen Forschungseinrichtungen verteilt. Das nationale Überwachungsprogramm ist in die internationalen Programme der Meeresschutzkonventionen für Nord- und Ostsee eingebunden. Die Überwachung von Schadstoffen in Fischen aus der offenen See wird von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, die zum Geschäftsbereich des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gehört, durchgeführt. Im folgenden wird beschrieben, wie diese Aufgabe praktisch durchgeführt wird, und am Beispiel der Nordseescholle aus der Deutschen Bucht gezeigt, wie sich die Konzentrationen von polychlorierten Biphenylen (PCBs) und Quecksilber (Hg) über einen Zeitraum von dreizehn bzw. acht Jahren entwickelt haben.

Marine Umweltüberwachung

Im Rahmen internationaler Meeresschutzkonventionen (Haarich und Harms 1997) werden Untersuchungen von Meerwasser, Sedimenten, Muscheln und Fischen auf ihren Gehalt an ausgewählten Metallen und organischen Verbindungen durchgeführt. Ein wesentliches Ziel ist es, durch die regelmäßige Überwachung (Monitoring) die Belastung der Meeresgebiete mit Schadstoffen und ihre Veränderung über die Zeit hinsichtlich der Belastung beschreiben zu können. Dieses Wissen wird genutzt, um zu entscheiden, ob Reduzierungsmaßnahmen bei den Einträgen oder gar Produktionsverbote notwendig sind, und bei der Kontrolle, ob die ergriffenen Maßnahmen den gewünschten Effekt zeigen. Die Untersuchungen von Meerestieren nach lebensmittelrechtlichen Bestimmungen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Allerdings können Ergebnisse aus den Umweltüberwachungsprogrammen Hinweise auf mögliche gesundheitliche Probleme durch den Verzehr von Meeresprodukten geben und entsprechende Untersuchungen initiieren.

Zuständig für die Überwachung im marinen Bereich sind die Mitgliedstaaten der Übereinkommen von Oslo und Paris für den Nordostatlantik einschließlich der Nordsee und von Helsinki für den Bereich der Ostsee. In der Regel führen sie die Untersuchungen in ihren Küstengewässern und im offenen Meer innerhalb ihrer Wirtschaftszonen durch. Darüber hinaus werden zusätzliche Untersuchungen auch außerhalb dieser Zonen in weiter entfernt liegenden Gebieten durchgeführt, die sonst nicht

abgedeckt wären oder bei denen ein besonderes Interesse an Informationen besteht, z.B. weil sie als Fischfanggebiete für den heimischen Markt genutzt werden oder es sich um ehemalige Einbringungsgebiete für Abfälle handelt.

Die Bundesrepublik Deutschland hat die Anforderungen aus den internationalen Verpflichtungen in das von Bundes- und Ländereinrichtungen durchgeführte „Gemein-

Control of harmful substances in fish

For assessing the status of the marine environment of the North Sea and the Baltic Sea, international monitoring programmes are performed in the framework of the international conventions for the protection of the marine environment of the North Atlantic Ocean and the Baltic Sea. The German contribution to these programmes is covered by the national Joint Marine Monitoring Programme, which is carried out by several institutes of the coastal Federal States and the Federal Government of Germany. The Institute for Fishery Ecology of the Federal Fisheries Research Centre is responsible for the investigations of harmful substances in fish samples from the open sea areas. This article gives a short description of how this task is performed and, as an example, how concentrations of polychlorinated biphenyls and mercury in plaice from the German Bight have developed over a period of thirteen and eight years, respectively.

same Bund/Länder-Meßprogramm (BLMP)“ einbezogen. Die Meßergebnisse werden im nationalen Datenzentrum, dem Deutschen Ozeanographischen Datenzentrum (DOD) in Hamburg in der Meeresumwelt-datenbank (MUDAB) gespeichert und von dort an das

internationale Datenzentrum beim Internationalen Rat für Meeresforschung (ICES) in Kopenhagen geschickt. Die dort gesammelten und aufbereiteten Daten stehen dann den Arbeitsgruppen der Kommissionen von Oslo und Paris sowie Helsinki zur Verfügung.

Tabelle 1: Gemessene Schadstoffe in Fischen im Rahmen der marinen Überwachungsprogramme

Fischart	Organ	Organische Verbindungen ¹⁾	Metalle
Scholle	Leber	x	Cd, Pb, Cu, Zn
	Muskel		Hg
Kliesche	Leber	x	Cd, Pb, Cu, Zn
	Muskel		Hg
Dorsch	Leber	x	Cd, Pb, Cu, Zn
	Muskel		Hg
Hering	Leber		Cd, Pb, Cu, Zn
	Muskel	x	Hg

¹⁾ Hauptkomponenten fett gedruckt:

Polychlorierte Biphenyle: CB101, CB105, CB110, CB118, CB128, CB129, CB138, CB149, CB153, CB156, CB170, CB180, CB187, CB194, CB28, CB31, CB52.

Weitere chlorierte Kohlenwasserstoffe: Hexachlorcyclohexan (a-HCH, g-HCH), Hexachlorbenzol (HCB), Bis(Chlorphenyl)-tris-Chlorethan und Metabolite (p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE, o,p-DDT), Tris(p-Chlorphenyl)methan, Tris(p-Chlorphenyl)methanol Aldrin, Dieldrin, Isodrin cis-Chlordan, trans-Chlordan, trans-Nonachlor, Heptachlor, Methoxychlor, Octachlorstyrol

In der Bundesrepublik werden die notwendigen Messungen in den Küstenbereichen und Flußmündungen in der Hauptsache durch die Bundesländer Niedersachsen, Bremen, Hamburg, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. In der offenen See arbeiten überwiegend Bundeseinrichtungen, so das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und die Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) oder vom Bund mitgetragene Forschungsinstitute wie die dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) angegliederte Biologische Anstalt Helgoland (BAH) und das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde (IOW).

Wie wird die Überwachung durchgeführt ?

Die Bundesforschungsanstalt für Fischerei ist in dem oben beschriebenen Rahmen für die Untersuchung von Fischen der offenen See auf schädliche Metalle und organische Schadstoffe zuständig. Wegen des hohen analytischen Aufwandes kann nur eine kleine Auswahl der vorkommenden Schadstoffe gemessen werden. Die Auswahl (Tab. 1) hat sich aus Stoffeigenschaften wie einem guten Anreicherungsverhalten in Meerestieren, schlechter Abbaubarkeit und Toxizität, aber auch an praktischen Überlegungen wie mengenmäßigem Eintrag in die Umwelt und Nachweismöglichkeiten orientiert und ist daher quasi historisch gewachsen.

Regelmäßige Untersuchungen werden vom Institut für Fischereiökologie und dessen Vorgängern in der Nordsee seit 1983 durchgeführt, bis 1994 in der Hauptsache an Schollen (*Pleuronectes platessa*) und Flundern (*Platichthys flesus*). Von 1995 an wurde die Flunder durch die Kliesche (*Limanda limanda*) ersetzt. Es gab dafür mehrere Gründe: Flundern sind wegen ihres Wanderverhaltens für Langzeituntersuchungen in der Deutschen Bucht weniger

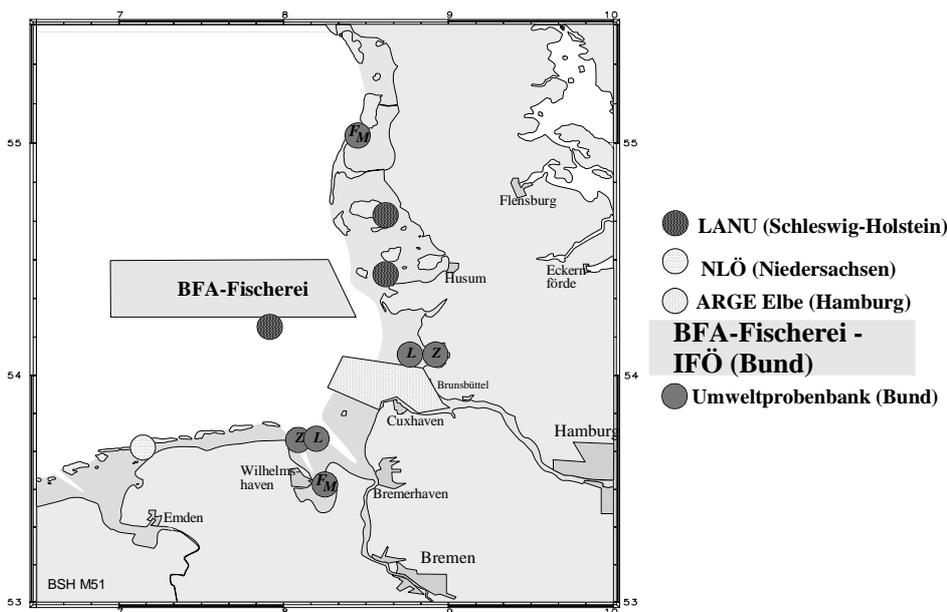


Abbildung 1: Probenahmegebiet der BFAFi und Stationen in der Deutschen Bucht für Schadstoffuntersuchungen in Organismen im Rahmen der nationalen (Gemeinsames Bund/Länder-Meßprogramm = BLMP) und internationalen (Joint Assessment and Monitoring Programme = JAMP) marinen Überwachungsprogramme

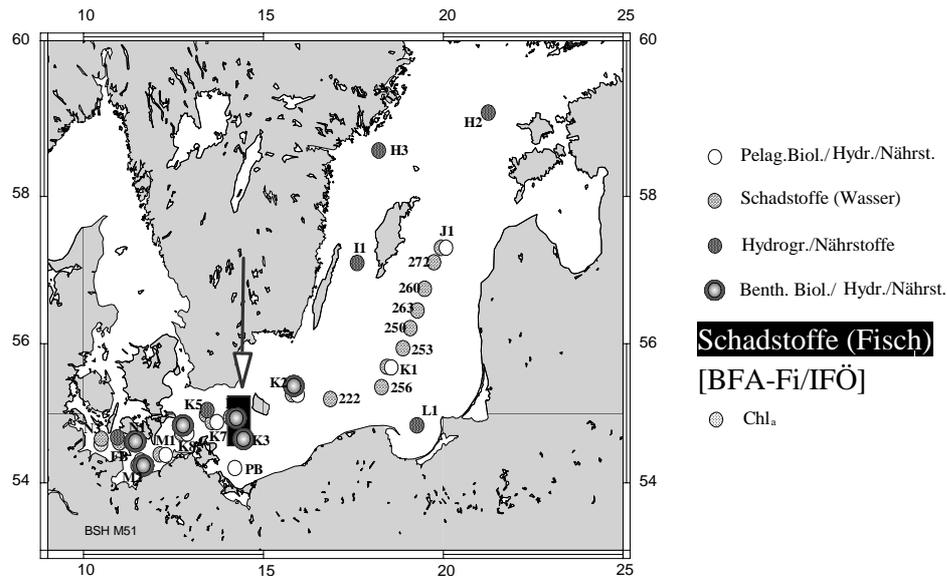


Abb.ildung 2: Probenahmegebiet der BFAFi und Stationen in der Ostsee für Schadstoffuntersuchungen im Rahmen der nationalen (Gemeinsames Bund/Länder-Meßprogramm = BLMP) und internationalen (Baltic Monitoring Programme = BMP/COMBINE) marinen Überwachungsprogramme

geeignet und größere individuelle Schwankungen in ihren Schadstoffgehalten zeigen, je nachdem, ob und wie lange sie sich z.B. in der Elbe aufgehalten haben. Flundern werden darüber hinaus nicht weit vom ehemaligen Untersuchungsgebiet im Mündungsbereich der Elbe bereits durch die Arbeitsgemeinschaft Elbe (ARGE Elbe) untersucht. Die Kliesche hingegen ist seit Jahren Gegenstand ausgedehnter biologischer Untersuchungen (Lang und Dethlefsen 1993; Lang 1994), in den letzten Jahren auch biochemischer Untersuchungen (Lang et al. 1997; Kellermann und Vobach 1997). So wurde durch den Wechsel zur Kliesche eine höhere Integration der am Institut durchgeführten Untersuchungen eingeleitet und damit die Chance erhöht, Zusammenhänge zwischen Schadstoffeinflüssen und biologischer Reaktion besser erkennen und beschreiben zu können. Die Proben für die Deutsche Bucht werden aus einem Gebiet nördlich von Helgoland genommen (Abb. 1).

In der Ostsee wurden in den früheren Jahren in unregelmäßigen Abständen Hering und Dorsch aus der Kieler Bucht untersucht. Es zeigte sich, daß dieses Gebiet für Überwachungszwecke nicht besonders gut geeignet ist, vermutlich, da sich dort immer wieder Tiere unterschiedlicher Herkunft aufhalten und deshalb stark schwankende Schadstoffgehalte zeigten. Seit 1995 werden daher die Proben von Hering (*Clupea harengus*) und Dorsch (*Gadus morhua*) vorzugsweise in einem Gebiet nordöstlich von Rügen bis Bornholm gefangen (Abb. 2).

Schadstoffgehalte in Fischen sind weiterhin von verschiedenen Faktoren abhängig, deren Berücksichtigung in den Richtlinien der internationalen Überwa-

chungsprogramme (JAMP, BMP) immer wieder zu Anpassungen der Probenahme geführt haben. Seit 1990 werden die Proben in der Zeit von Ende August bis spätestens Oktober genommen, da die Fische ausreichend lange von der Laichzeit einen relativ stabilen körperlichen Zustand besitzen, der einen Vergleich zwischen den Jahren erleichtert. Um die Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Tieren zu reduzieren und damit u.a. auch schneller zu statistisch gesicherten Aussagen über die zeitliche Entwicklung zu kommen, konzentrieren sich die Messungen seit 1995 auf relativ junge, zwei- bis dreijährige weibliche Tiere. Junge Tiere sind ortstreuer und spiegeln die aktuelle Belastungssituation besser wieder. Außerdem gelingt es bei weiblichen Tieren besser, anhand der Längenbestimmung Exemplare aus dem Fang zu sortieren, die in der Regel maximal zwei Jahrgängen angehören. Bei älteren Tieren – und insbesondere bei männlichen Exemplaren – kann es vorkommen, daß bei vergleichbarer Länge oft drei bis vier Jahrgänge erfaßt werden. Die aktuellen Probenahmebedingungen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

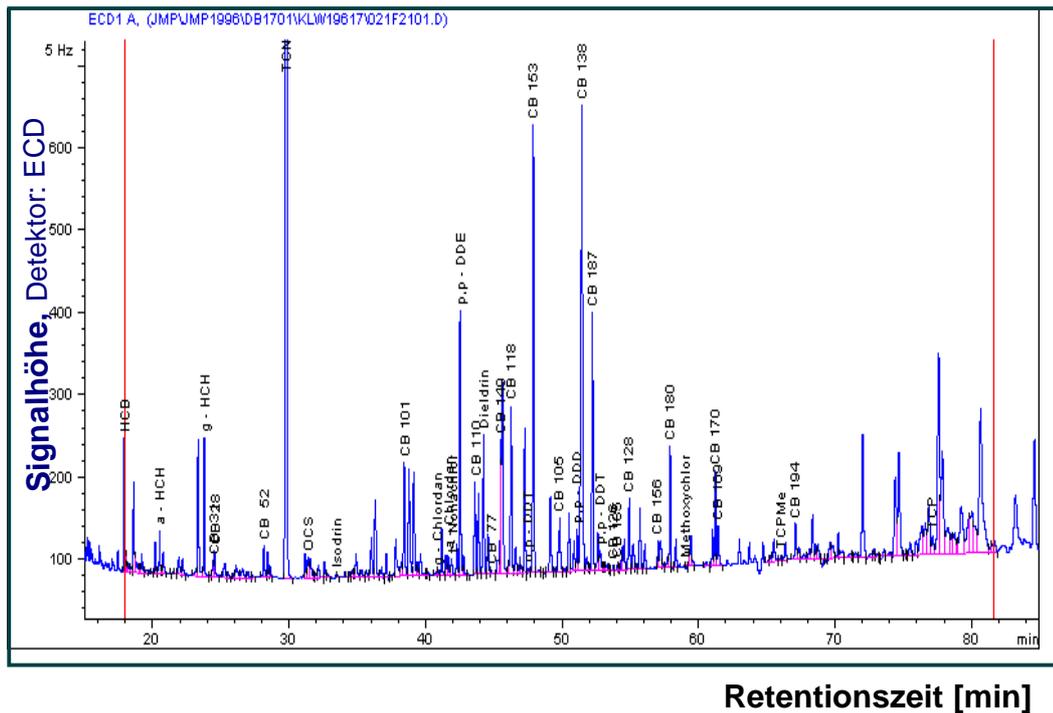
Für den Fang werden ausschließlich Fischereiforschungsschiffe (FFS) eingesetzt, in der Regel FFS „Solea“ und FFS „Walther Herwig“, die Probenaufarbeitung an Bord wird durch institutseigenes oder geschultes Personal anderer Institute der BFAFi durchgeführt.

An Bord des Schiffes werden die benötigten Tieren nach Art, Zustand (nur äußerlich gesunde und unverletzte Tiere), Länge und Geschlecht aussortiert und geschützt vor Kontamination verpackt und tiefgefroren. Sind an Bord saubere und für spurenanalytische Arbeiten ge-

Tabelle 2: Aktuelle Probenahmebedingungen für die Untersuchung von Fischen auf Schadstoffe im Rahmen der marinen Überwachungsprogramme. Das Geschlecht kann erst beim Sezieren bestimmt werden.

Gebiet	Zeit	Flischart	Geschlecht	Länge (cm) / Alter (a)
Deutsche Bucht	Ende Aug. – Oktober	Scholle	weiblich	20-30 / 2-3
	Ende Aug. – Oktober	Kliesche	weiblich	18-25 / 2-3
Arkonasee	Ende Aug. – Oktober	Dorsch	(weiblich)*	24-35 /
	Ende Aug. – Oktober	Hering	(weiblich)*	/1-2

Abbildung 3: Spektrum einer Messung organischer Chlorkohlenwasserstoffe in einer Klieschenleber mit dem Gaschromatographen.



eignete Laboratorien vorhanden und ist eine Teilung der Probe für chemische und biochemische Untersuchungen notwendig, so kann die zu untersuchende Gewebeprobe (Leber, Muskelfleisch, eventuell Gonaden) bereits dort entnommen und für die weitere Bearbeitung präpariert werden. Die wesentlichen Arbeiten von der Homogenisierung des Materials bis zur Messung der einzelnen Metalle oder organischen Verbindungen erfolgen im Institutslabor an Land nach erprobten Methoden. Die Gaschromatograph- und Atomabsorptionsspektrometer-Spektren werden mit Hilfe von Computerprogrammen ausgewertet, die Ergebnisse statistisch bearbeitet und für mehrere Jahre zusammengefaßt; Abbildung 3 und 4 zeigen zwei Beispiele.

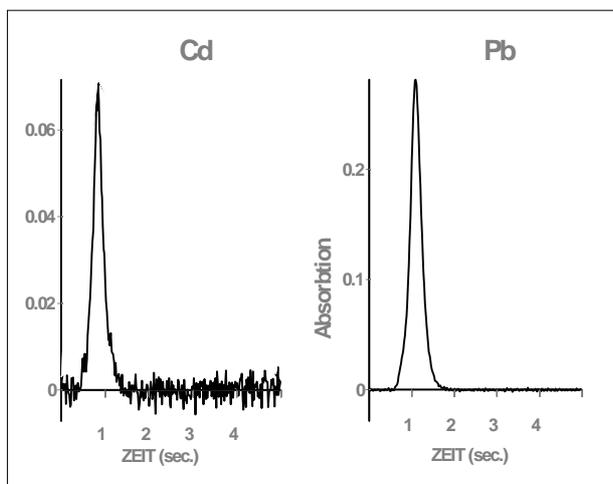


Abbildung 4: Spektren einer simultanen Messung von Cadmium und Blei in einer Dorschleber mit dem Atomabsorptionsspektrometer, (Man beachte den unterschiedlichen Maßstab für das Blei und Cadmiumsignal in Abb. 3 und 4.)

Was zeigen die Meßergebnisse ?

Das erste Beispiel (Abb. 5) zeigt die zeitliche Entwicklung der Gehalte von polychlorierten Biphe-

nylen (PCBs) in Schollen (Leber) aus der Deutschen Bucht für den Zeitraum von 1983 bis 1996. Aufgetragen gegen die Jahre sind die gemessenen Konzentrationen der Summe von sieben PCB-Kongeneren (SCB7) in Millionstel Gramm pro Kilogramm Leber-Frischgewicht ($\mu\text{g}/\text{kg}$) als sogenannte Box- und Whisker-Plots. Die schwarzen Punkte zeigen den mittleren Wert (Median) von 25 einzeln gemessenen Proben bei einer Reihung nach Konzentrationen, der Kasten (Box) den Bereich, in dem sich 50% aller Werte befinden, und die mit den Balken (Whisker) ober- und unterhalb des Kastens gekennzeichneten Bereiche die jeweils restlichen 25% der Werte. In den ersten beiden Jahren gab es lediglich einen einzigen Wert aus einer Mischprobe (Poolprobe) von mehreren Lebern, daher fehlen Kasten und Balken, und 1985 bestand die Probe aus lediglich 6 Einzelwerten. Der Median wird einem arithmetischen Mittelwert bei Umweltuntersuchungen oft vorgezogen, da die Werte meistens nicht gleichmäßig um eine Mitte herum verteilt sind und einzelne sehr hohe oder niedrige Werte den Mittelwert übermäßig in die jeweilige Richtung beeinflussen und so ein verzerrtes Bild von den Verhältnissen wiedergeben. Sind oberer und unterer Balken etwa gleich lang und liegt der Punkt in der Kastenmitte, so unterscheiden sich Median und Mittelwert nur geringfügig.

Zum Verständnis der Höhe der Mediane in der zeitlichen Abfolge sind einige Erklärungen notwendig. Nach vergleichbar hohen Werten von 1983 bis 1985 ist 1986 eine deutliche Erhöhung des Medians zu sehen, anschließend ein Abfall der Mediane in den Jahren 1987 und 1988 (1989 fiel die Probenahme aus technischen Gründen aus). Eine eindeutige Erklärung gibt es hierfür nicht; mit Sicherheit spielt aber der ständig wechselnde Probenahmezeitpunkt (siehe Monatsangabe unter der Jahresangabe in der Ab-

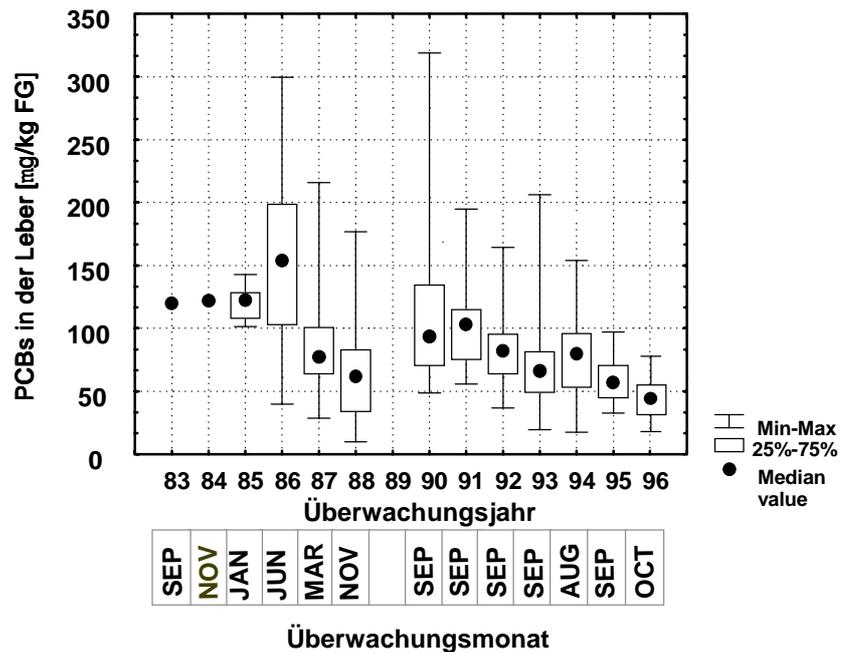


Abb. 5: Zeitliche Entwicklung der PCB-Konzentrationen (Summe von 7 PCBs: CB 28, 52, 101, 118, 138, 153 und 180) in Lebern (bezogen auf Frischgewicht (FG)) von Schollen aus der Deutschen Bucht 1983-1996

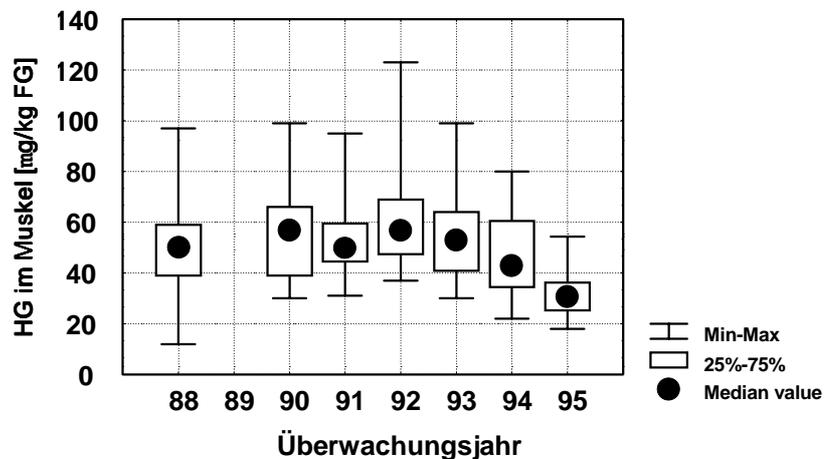


Abb. 6: Zeitliche Entwicklung der Quecksilberkonzentrationen im Muskelfleisch (bezogen auf Frischgewicht (FG)) von Schollen aus der Deutschen Bucht 1988-1995

bildung) eine große Rolle. Diese Jahre sind somit nur bedingt mit dem Zeitraum ab 1990 vergleichbar, wo die Probenahme gleichmäßig innerhalb weniger Wochen im Spätsommer bis Herbst erfolgte. Für diese Zeit ist eine deutliche abnehmende Tendenz in der PCB-Belastung zu erkennen, die auch statistisch signifikant ist. An der geringeren Ausdehnung der Boxen und Whisker für die Jahre 1995 und 1996 im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren ist auch deutlich der Effekt einer enger gefaßten Auswahl des Probenmaterials (s. Tab.1) auf die Streuung der Meßwerte zu erkennen.

Eine entsprechende Auswertung der Quecksilberkonzentrationen im Muskelfleisch von Schollen aus demselben Gebiet ist in Abb. 6 dargestellt. Hier existieren Meßwerte seit 1988, die Proben für 1989 fehlen ebenfalls (s. oben). Die Mediane zeigen bis 1993 ein etwa gleichbleibendes Konzentrationsniveau um 50 µg/kg, und ab 1994 eine sinkende Tendenz. Eine plausible Erklärung für das Sinken der Quecksilbergehalte ist der deutliche Rückgang der Quecksilberbelastung der Elbe durch die Stilllegung von Industrieanlagen in der ehemaligen DDR, der sich auch mit zeitlicher Verzögerung in den Meerestieren der Nordsee zeigt. Für eine statistische Untermauerung dieser Tendenz müssen die Untersuchungen allerdings noch mehrere Jahre fortgeführt werden.

Ausblick

Die Entwicklung der Schadstoffüberwachung in der Meeresumwelt geht seit einigen Jahren in Richtung einer stärkeren Verzahnung von chemischen, biochemischen und biologischen Untersuchungen, so zum Beispiel durch die Einführung eines Bioeffektmonitorings und einer stärkeren Beachtung von Stoffen mit Eigenschaften, die nicht nur „allgemein“ toxisch sind, sondern im speziellen Einfluß auf den Hormonhaushalt (endokrine Wirkung) oder auf die Gene haben (Lang et al. 1997; Kellermann und Vobach 1997; Kammann 1998). Dieses erfordert zum einen neue Entwicklun-

gen und Verbesserungen in der chemischen Analytik, andererseits aber neue Ansätze von der biologisch-biochemischen Seite aus, um erkennen zu können, wo, auf welche Weise und wie stark derartige Chemikalien auf Organismen einwirken und somit schädigend in die komplexen Abläufe des marinen Systems eingreifen.

Zitierte Literatur

- Haarich, M.; Harms U.: Die Neustrukturierung der Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks und der Ostsee. Inf. Fischwirtsch.: 44 (1): 17–22, 1997
- Kammann, U.: Toxische Wirkung von Schadstoffen auf Fischzellen. Bestimmung von DNA-Strangbrüchen mit dem Comet-Assay. Inf. Fischwirtsch.: 45 (3): 109–112, 1998
- Kellermann, H.-J.; Vobach, M.: Entgiftungsstoffwechsel der Nordsee-Kliesche (*Limanda limanda*). Inf. Fischwirtsch.: 44 (1), 13–17, 1997
- Lang, T.: Fischkrankheiten im Wattenmeer. In: Lozán, J.L.; Ráchor, E.; Reise, K.; Westernhagen, H.v.; Lenz, W. (Hrsg.): Warnsignale aus dem Wattenmeer. Berlin: Blackwell 1994. S. 253–258
- Lang, T.; Damm U.; Dethlefsen, V.: Verschiebungen im Geschlechterverhältnis der Nordseekliesche (*Limanda limanda*) im Zeitraum 1981-1996. In: Biologische Vielfalt in Ökosystemen - Konflikt zwischen Nutzung und Erhaltung. Schriftenr. Bundesminist. Ernaehr. Landwirtsch. Forsten. Reihe A: Angew. Wiss. 465: 162–165, 1997
- Lang, T.; Dethlefsen, V.: Fischkrankheiten. In: Geht es der Nordsee besser ? SDN-Kolloquium Hamburg 22.10.1992. Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V., Wilhelmshaven: 1993, S. 130–150