



## PAK-Metaboliten in Fischen aus der Nordsee 1999-2006

### PAH metabolites in North Sea fish

ULRIKE KAMMANN und MICHAEL HAARICH

Key Words: PAH, fish, dab, flounder, monitoring, metabolites

#### Zusammenfassung

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind wichtige Umweltkontaminanten in Nord- und Ostsee, die zu neoplastischen Veränderungen (Gewebewucherungen) und Tumoren in Fischlebern führen können. Um die PAK-Belastung in Fischen zu erfassen, wird der Gehalt von PAK-Metaboliten in der Fischgalle bestimmt. PAK werden im Fisch schnell abgebaut und ausgeschieden, so dass eine direkte Messung von PAK wenig aussagekräftig ist. Klieschen (*Limanda limanda*) aus der Nordsee wiesen beispielsweise im Sommer 2004 im Mittel Gehalte von ca. 10 - 160 ng/ml (0,6 - 15 ng/AE380 nm) 1-Hydroxypyren auf. Die höchsten Werte wurden dabei in der Deutschen Bucht gemessen. In Flundern (*Platichthys flesus*) aus der westlichen Ostsee wurden in 2004 im Mittel Konzentrationen von ca. 60 - 90 ng/ml (17 - 52 ng/AE380nm) ermittelt. Die Gehalte von 1-Hydroxyphenanthren waren niedriger und entsprachen nur ca. 7% der 1-Hydroxypyren-Konzentrationen. Signifikante Unterschiede in den Gehalten der PAK-Metaboliten ergaben sich beim Vergleich von im Sommer und im Winter gefangenen Fischen sowie zwischen den Fanggebieten. Ein zeitlicher Trend ließ sich aus den Daten nicht ablesen.

#### Summary

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are important environmental contaminants in the North Sea and Baltic Sea which may lead to increased levels of neoplastic aberrations or tumors in fish liver. To assess the PAH contamination of fish, concentrations of PAH metabolites were determined in bile fluid. PAH are rapidly metabolised and excreted in fish. Therefore, the determination of PAH parent compounds is not often used. Dab (*Limanda limanda*) caught in the North Sea in 2004 had mean values of 10 to 160 ng/ml (0.6 - 15 ng/AE380nm) 1-hydroxypyrene. The highest values were found in the German Bight. In flounder (*Platichthys flesus*) caught in the western Baltic in 2004, 1-hydroxypyrene levels averaged 60 - 90 ng/ml (17 - 52 ng/AE380 nm). Levels of 1-hydroxyphenanthrene in fish bile were considerably lower and reached only about 7% of the 1-hydroxypyrene concentrations. Significant differences were found among the 1-hydroxypyrene levels determined in the summer and winter surveys, and among sampling sites. No time trend in contamination level was visible.

## Hintergrund

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe werden im Wirbeltierorganismus metabolisiert. Im Verlauf dieser zweistufigen Reaktion werden die Moleküle besser wasserlöslich und können damit z.B. über die Galle oder über die Niere ausgeschieden werden. Zuerst wird über ein Cytochrom P450-Enzym eine Hydroxylgruppe in das Molekül eingeführt (Abb. 1). Im zweiten Schritt werden die Hydroxylverbindungen an Biomoleküle wie Glukuronsäure oder Sulfate gebunden. In dieser Form liegen sie in der Galle vor. Zur Analytik der Verbindungen werden sie enzymatisch in die Hydroxylverbindungen zurückgeführt und danach chromatographisch getrennt.

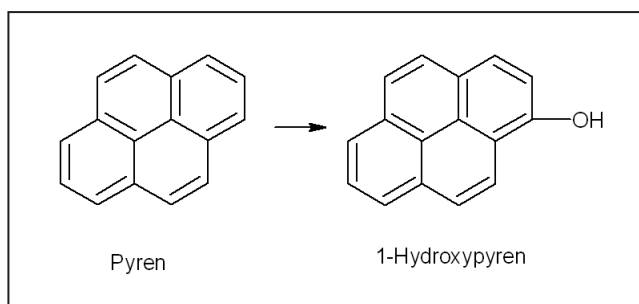


Abb. 1: Hydroxylierung von Pyren zu 1-Hydroxypyren

Fig. 1: Hydroxylation of pyrene to form 1-hydroxypyrene

## Einleitung

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bestehen aus zwei oder mehr kondensierten Benzolringen und enthalten im Molekül lediglich Kohlenstoff- und Wasserstoffatome. Sie sind Produkte unvollständiger Verbrennungsprozesse und entstehen z.B. bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Die Hauptquelle für PAK in der Umwelt ist atmosphärisch eingetragener Staub, der durch Heiz- und Kfz-Emissionen kontaminiert wurde. Durch die weltweite Verbreitung dieser Stäube sind PAK bis in die Polarregionen nachweisbar. Als weitere Eintragungspfade kommen Flüsse, Abwässer und Ölverschmutzungen durch Schifffahrt oder durch Öl- und Gasförderung in Betracht. Ebenfalls zu nennen ist die Möglichkeit einer Ölverschmutzung durch eine Tankerhavarie.

Viele Wirbeltierarten können PAK schnell metabolisieren und ausscheiden. In den meisten Tierarten ist dieser Abbau so effektiv, dass PAK nicht im Organismus akkumuliert werden und die analytisch nachweisbaren Konzentrationen gering sind. Trotzdem können PAK und die entstehenden Metaboliten, in Abhängigkeit von der Molekülstruktur und der Konzentration, schädliche Wirkung im Organismus entfalten: Epoxide, die im Verlauf der Metabolisierung durch Cytochrom P450 Enzyme entstehen, können zu krebserregenden Diolepiden reagieren. Diese Verbindungen sind dafür bekannt, dass sie an DNS binden oder Mutationen verursachen, die zu Tumoren führen können. 11 der 40 bekannten PAK gelten als starke Mutagene oder Kanzerogene. Das bekannteste Beispiel ist das Benzo(a)pyren. Daher kommt der Überwachung der PAK-Belastung im Zusammenhang mit bestimmten Fischkrankheiten besondere Bedeutung zu.

Durch die schnelle Metabolisierung haben die PAK-Konzentrationen in Fischgewebe für das marine Monitoring nur begrenzte Aussagekraft und sind analytisch zudem schwer zu fassen. Eine Alternative stellt die Bestimmung der PAK-Metaboliten in der Gallenflüssigkeit von Fischen dar. PAK kommen in der Umwelt in Mischungen zahlreicher Einzelkomponenten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften vor. Nur wenige PAK aus dieser Mischung werden über die Galle ausgeschieden. Der Hauptmetabolit, der in Fischgalle nachweisbar ist, ist das 1-Hydroxypyren. In vielen Fischarten stellt diese Substanz ca. 80% der Summe aller Metaboliten in der Galle dar. Andere Metabolite wie das 1-Hydroxyphenanthren, 1-Hydroxychrysen und verschiedene Benzo(a)pyren-Metabolite treten in deutlich geringeren Konzentrationen in Fischgalle auf. Die PAK-Metaboliten in der Galle sind also ein indirektes Maß für die Gesamtbelastung des Organismus und bilden nicht das PAK-Muster der Umweltkontamination ab.

## Ergebnisse

### Regionale Verteilung

Die Gehalte an 1-Hydroxypyren für Klieschen aus dem Jahr 2004 reichen im Mittel von ca. 10 bis 160 ng/ml (0,6 - 15 ng/AE380nm; Tabelle 1, Kammann et al., 2007). Die höchsten Werte wurden in Klieschen aus der Deutschen Bucht nachgewiesen. An den küstenfernen Stationen der Nordsee waren die

Konzentrationen niedriger (Abb. 2). Die Konzentrationen von 1-Hydroxyphenanthren waren deutlich geringer als die Werte für 1-Hydroxypyren und oft nahe der Bestimmungsgrenze. In Klieschen, die in

der Nähe der Öl- und Gasförderplattformen in der Nordsee (Stationen P01 und P02 in Abb.2) gefangen wurden, konnten keine erhöhten Gehalte an PAK-Metaboliten festgestellt werden.

Art	Region	Station	N	Biliverdin			1-Hydroxypyren			1-Hydroxyphenanthren		
				MW	SA	Bereich	MW	SA	Bereich	MW	SA	Bereich
Kliesche	NS	GB1	19	134	210,4	12 - 878	159	199,4	44 - 838	11,7	20,41	< 1,8 - 83,5
Kliesche	NS	JMP	28	155	71,3	33 - 280	84	64,1	19 - 284	6,7	8,62	< 1,8 - 41,2
Kliesche	NS	N02	35	91	76,9	5 - 293	33	22,1	9 - 130	2,2	1,77	< 1,8 - 7,9
Kliesche	NS	N03	30	463	826,8	4 - 3972	45	43,2	7 - 156	8,9	16,96	< 1,8 - 86,5
Kliesche	NS	N04	23	64	125,7	5 - 614	11	12,3	< 0,7 - 49	1,7	2,48	< 1,8 - < 12,4
Kliesche	NS	N05	14	485	268,4	148 - 1078	15	8,7	9 - 38	1,3	0,28	< 1,8 - 2,3
Kliesche	NS	N06	32	149	191,4	8 - 735	18	12,7	< 0,7 - 59	2,0	2,53	< 1,8 - 12,3
Kliesche	NS	N07	35	99	179,0	2 - 1078	11	14,8	< 4,1 - 74	2,0	2,77	1,8 - 15,6
Kliesche	NS	N11	21	87	63,0	9 - 271	33	26,9	8 - 115	3,1	2,29	< 1,8 - 7,9
Kliesche	NS	N15	26	86	124,0	7 - 608	11	13,2	< 4,1 - 55	1,5	0,88	< 1,8 - 4,6
Kliesche	NS	N22	34	64	51,8	12 - 240	16	16,1	5 - 75	3,0	2,33	< 1,8 - 13,2
Kliesche	NS	P01	33	49	57,3	1 - 252	17	13,4	4 - 77	2,9	3,14	< 1,8 - 16,2
Kliesche	NS	P02	27	240	263,4	9 - 1767	21	21,4	5 - 90	2,0	1,44	< 1,8 - 5,9

Tab. 1: PAK-Metaboliten 1-Hydroxypyren, 1-Hydroxyphenanthren und Biliverdin [ng/ml Galle] in Kliesche und Flunder aus der Nordsee (NS) gefangen im Sommer 2004. Dargestellt sind Anzahl der Fische (N), Mittelwert (MW), Standardabweichung (SA) und der Bereich der Ergebnisse

Table 1: PAH metabolites 1-hydroxypyrene, 1-hydroxyphenanthrene, and biliverdin [ng/ml bile] in North Sea dab caught in the summer of 2004. The number of fish (N), mean value (MW), standard deviation (SA) and range of results are shown

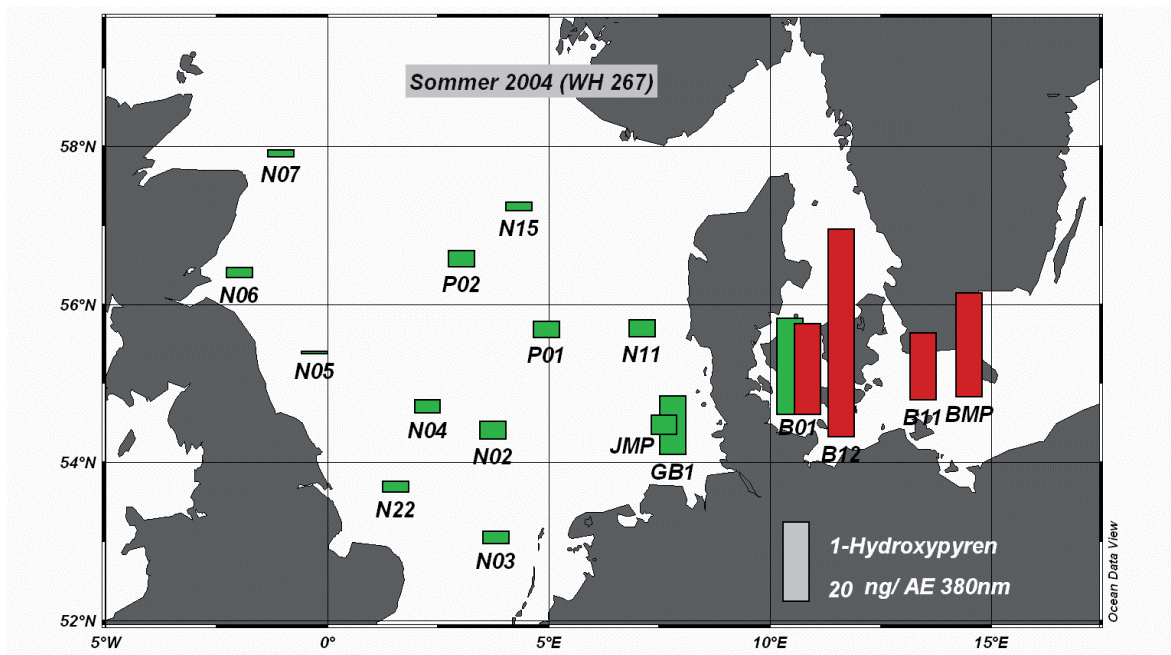


Abb. 2: 1-Hydroxypyren [ng/AE 380 nm] in Klieschen (grün) und Flundern (rot), Mittelwerte von je ca. 20 Tieren aus dem Sommer 2004. Die Ostsee-Werte sind zum Vergleich mit abgebildet

Fig. 2: 1-Hydroxypyren [ng/AE 380 nm] in Klieschen (grün) und Flundern (rot), Mittelwerte von je ca. 20 Tieren aus dem Sommer 2004. Baltic Sea values are shown for comparison

Bezug zur Sedimentkontamination

Chemische Analysen der Sedimentproben aus der Nord- und Ostsee zeigten regionale Unterschiede im Gehalt an organischem Material (TOC, „total organic carbon“) im Sediment: niedrige TOC-Gehalte in küstenfernen sandigen Nordseesedimenten und höhere TOC-Gehalte in schlickigen Ostseesedimenten (KAMMANN et al. [2004]). Bekanntermaßen korrelieren die PAK-Gehalte von Sediment (bezogen auf die Trockenmasse) mit dem TOC-Gehalt und der Korngrößenverteilung. Fische, die PAK-haltigen Sedimenten ausgesetzt werden, nehmen PAK aus dem Sediment auf und weisen erhöhte Gehalte an PAK-Metaboliten in der Galle auf. Daher sind die Gehalte an PAK-Metaboliten in bodenlebenden Fischen eng mit der Belastungssituation im Sediment verknüpft.

Zeitliche Trends

Der Verlauf der Gehalte an 1-Hydroxypyren in den Gallen von Klieschen ist für ausgewählte Gebiete in Abb. 3 dargestellt. In den Jahren 1998 bis 2006 sind deutliche Unterschiede der 1-Hydroxypyren-Gehalte zwischen den Gebieten sichtbar. Diese Unterschiede zwischen Deutscher Bucht (JMP) und der zentralen Nordsee (N04) sind über Jahre weitgehend konstant. Ein zeitlicher Trend ist aus den vorliegenden Daten für keines der Gebiete abzulesen.

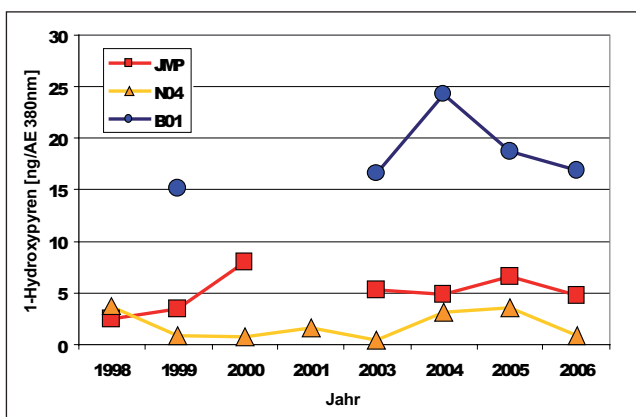


Abb. 3: 1-Hydroxypyren [ng/AE 380nm] in Klieschen, Mittelwerte von je ca. 20 Tieren aus der Deutschen Bucht (JMP), der zentralen Nordsee (N04) und zum Vergleich in der westlichen Ostsee (B01) gefangen in den Monaten August/September 1998-2006

Fig. 3: 1-hydroxypyrene [ng/AE 380nm] in dab, mean values of about 20 animals each caught in the German Bight (JMP) central North Sea (N04) and, for comparison, in the western Baltic Sea (B01)

Saisonale Unterschiede

Die Gehalte an 1-Hydroxypyren sind im Winter deutlich höher als in den im Sommer genommenen Proben. Der hochsignifikante Unterschied zwischen den beiden Jahreszeiten wurde aus über 300 Proben aus den Jahren 1997 bis 2004 ermittelt und ist in Abb. 4 dargestellt. Dieser Unterschied ist vermutlich eher in einer veränderten Nahrungszusammensetzung, oder in der Physiologie der Tiere begründet, als in einer schwankenden PAK-Belastung. Biologisch bedingte saisonale Zyklen sind für verschiedene biologische und chemische Messgrößen in Klieschen bekannt: dazu gehören Metabolismusenzymer (KAMMANN et al. [2005]) oder metallbindende Proteine, Apoptose und Schadstoffgehalte (Lacorn et al. [2001]). Die hier dargestellten Ergebnisse zu saisonalen Unterschieden in PAK-Metaboliten legen nahe, dass auch PAK-Metaboliten einem Jahreszyklus unterliegen könnten (KAMMANN [2007]).

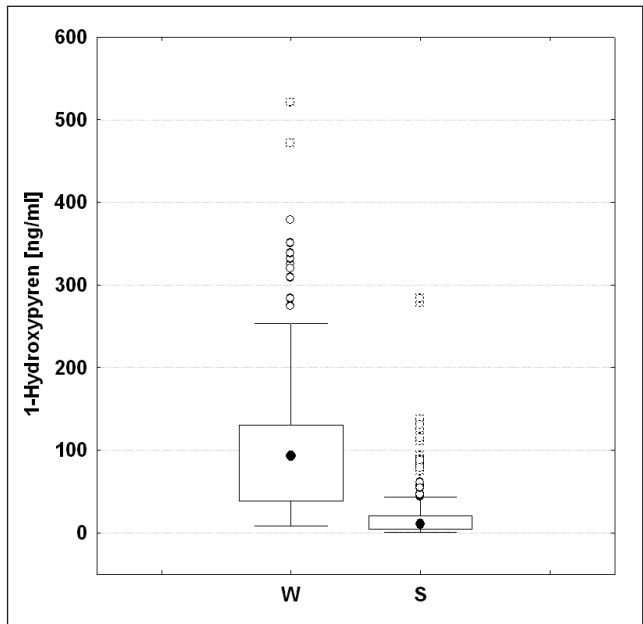


Abb. 4: 1-Hydroxypyren [ng/ml] in Klieschen aus der Nordsee nach Jahreszeiten. W: Winter (Dezember-Januar; S: Sommer (August-September). Proben aus 1997 - 2004. Mediane, 25-75%-Perzentile, 95%-Bereiche sowie Ausreißer und Extremwerte

Fig. 4: 1-hydroxypyrene [ng/ml] in dab from the North Sea in winter (W, December, January) and summer (S, August, September). Samples from 1997 - 2004. Medians, 25-75% percentiles, 95% ranges, outliers and extreme values

## Bezugsgrößen

Die Gehalte an PAK-Metaboliten können mit den Pigmenten in der Gallenflüssigkeit covariieren. Daher ist es nahe liegend, Gallenpigmente als Bezugsgröße für PAK-Metaboliten in Betracht zu ziehen, statt die Metaboliten auf das Volumen der Gallenflüssigkeit allein zu beziehen. Die Ursache für diesen Zusammenhang liegt im Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Konzentration der PAK-Metaboliten in der Galle: durch die Anwesenheit von Nahrung im Magen wird die Gallenflüssigkeit in den Verdauungstrakt entlassen. Wasser wird danach schnell in die Gallenblase abgesondert. Das führt zu einer hell gefärbten Gallenflüssigkeit in nahezu leeren Gallenblasen. Grüne Gallenpigmente und PAK-Metaboliten sammeln sich erst später in der Galle von Klieschen an. Das grüne Gallenpigment Biliverdin ist ein Nebenprodukt des Hämstoffwechsels und kann als Bezugsgröße für PAK-Metaboliten in der Galle herangezogen werden. Die Gallenpigmente können ebenso summarisch

durch ihre Farbigkeit (Absorption bei 380 nm) erfasst werden. Alle bisher erwähnten Bezugsgrößen sind in der Literatur gebräuchlich und werden von internationalen Datenbanken akzeptiert.

Es zeigte sich für Klieschen aus der Nordsee, dass Gallenpigmente nur an einigen Probenahmestationen mit PAK-Metaboliten covariieren (KAMMANN [2007]), daher kann diese Normierung nicht generell empfohlen werden. Trotzdem kann der Bezug auf Gallenpigmente vorteilhaft sein, wenn z.B. verschiedene Fischarten miteinander verglichen werden sollen, wie in Abb. 5 dargestellt. Die Varianz von heterogenen Datensätzen kann durch den Bezug auf Gallenpigmente reduziert werden; die artbedingten Unterschiede in Lebensweise und Ernährung können aber auf diese Weise nicht ausgeräumt werden. Für die Praxis ist es sinnvoll, beide Bezugsgrößen (Volumen und Gallenpigmente) parallel zu erfassen. So kann eine Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Laboratorien gewährleistet werden.

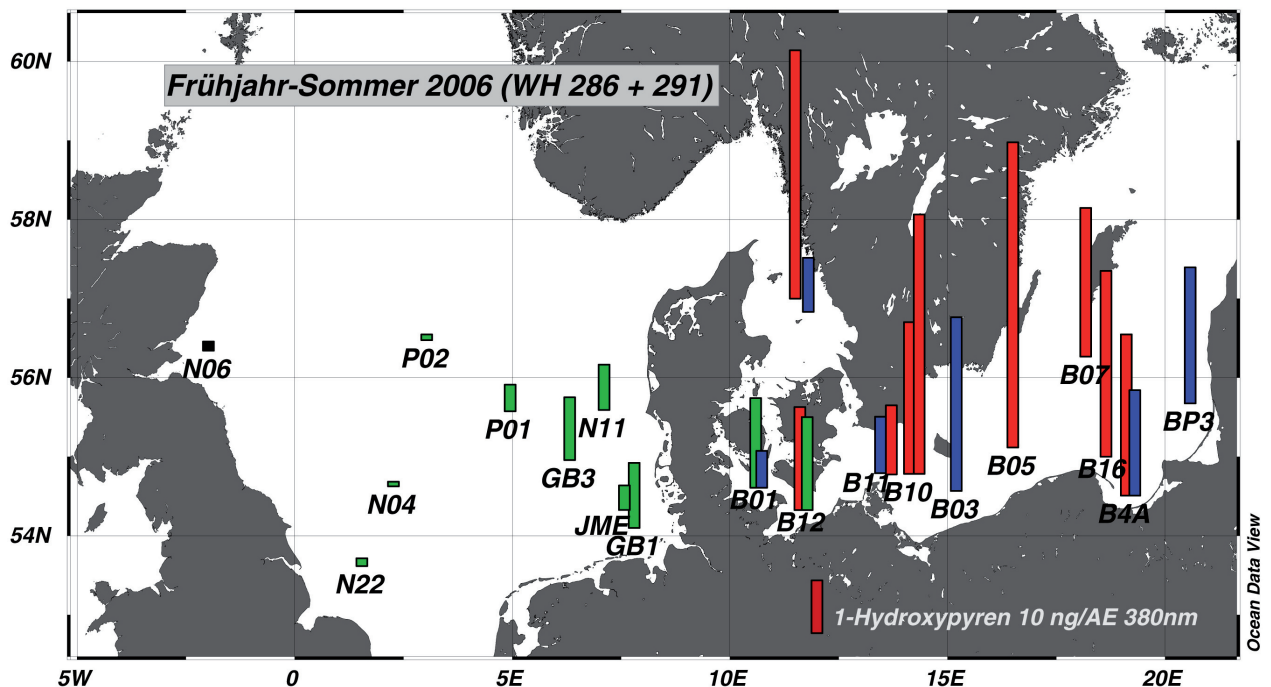


Abb. 5: 1-Hydroxypyren [ng/AE 380nm] in Fischen; Mittelwerte von je ca. 20 Tieren aus Frühjahr und Sommer 2006: Klieschen (grün), Flundern (rot) und Dorsch (blau). Die Ostsee-Werte sind zum Vergleich mit abgebildet

Fig. 5: 1-hydroxypyrene [ng/AE 380nm] in fish; mean values of about 20 animals each in spring and summer 2006: dab (green), flounder (red), and cod (blue). Baltic Sea values are shown for comparison

**Bewertung**

Zur Zeit existieren im Rahmen von OSPAR noch keine akzeptierten Bewertungskriterien für PAK in Fischen generell und PAK-Metaboliten in Fischgalle im Speziellen, sondern lediglich so genannte Background Assessment Criteria (BAC) für ausgewählte PAK für Muscheln (OSPAR Commission [2006, 2007]). Da diese zudem auf Trockengewicht des homogenisierten Gesamtweichkörpers bezogen sind ( $\mu\text{g}/\text{kg dw}$ ), sind diese nicht ohne weiteres übertragbar. Ähnliches trifft auf die Environmental Assessment Criteria (EAC) zu, bei denen es nur Werte für ausgewählte Organochlorverbindungen in Fisch gibt (OSPAR Commission [2005]).

Es ist bis heute nicht gelungen, wissenschaftlich korrekt begründete Hintergrundwerte (Background Concentration, BC) und daraus abgeleitete Bewertungskriterien, BAC, vorzulegen. Auch in Zukunft wird die Berechnung von BC aus Mangel an vom

Menschen unbeeinflussten Meeresgebieten vermutlich nicht möglich sein. Daher hat die OSPAR-Arbeitsgruppe „MON“ für Schwermetalle eine pragmatische Näherungsmethode vorgeschlagen, die nicht von Hintergrundwerten, sondern von real gemessenen Werten ausgeht und den 5%-Perzentil-Wert als Hintergrund-Bewertungskriterium definiert (OSPAR Commission [2007]). Da für PAKs wie für Metalle von einem natürlichen Hintergrund auszugehen ist, lässt sich dieser Ansatz auch auf diese Stoffgruppe übertragen.

Angelehnt an diese Vorgehensweise ergeben sich für weibliche Kleschen, gefangen in den Sommermonaten 1998 bis 2006, die in Tabelle 2 dargestellten Werte. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass ein kleiner Teil der ausgewerteten Proben (mindestens 5%) Belastungen aufweisen, die nahe dem Hintergrundwert liegen. Das so berechnete Bewertungskriterium BAC liegt möglicherweise etwas höher als der BC, kommt diesem aber nahe.

	Anzahl	Mittelwert	Maximum	BAC (Perzentil 5 %)
1OHPyr ng/ml	856	31,73	970,36	3,75
1OHPyr ng/AE 380	856	8,48	103,00	0,38
1OHPyr ng/AE 660	822	18,41	598,62	1,20

Tab. 2: Hintergrund-Bewertungskriterien (BAC, Background Assessment Criteria), sowie Mittel- und Maximalwerte für weibliche Kleschen (20 - 25 cm) aus der Nordsee (Sommer 1998 - 2006). 1-Hydroxypyren (1-OHPyr) bezogen auf ml oder Gallenpigmente (AE 380 und AE660).

Table 2: Background assessment criteria, and mean and maximum values for female dab (20-25 cm) from the North Sea (summer 1998-2006). 1-hydroxypyrene (1-OHPyr) referred to ml or bile pigment (AE 380 and AE660)

Vergleicht man die Stationsmittelwerte für 1-Hydroxypyren aus Tabelle 1 mit dem 5% Perzentil für 1-Hydroxypyren (Hintergrund-Bewertungskriterium: 3,75 ng/ml) aus Tabelle 2, so wird deutlich, dass die ermittelten Gehalte an 1-Hydroxypyren in der zentralen Nordsee im Mittel leicht oberhalb des Hintergrund-Bewertungskriteriums liegen. Die Belastung einzelner Tiere („Bereich“ in Tabelle 1) liegen in der zentralen Nordsee zum Teil unterhalb

dieses Wertes. Die in Fischen aus der Deutschen Bucht, z.B. Station GB1, gemessenen Gehalte sind dagegen deutlich höher.

Es bleibt aber zu beachten, dass die so berechneten Hintergrund-Bewertungskriterien nur für die angegebene Jahreszeit gelten und auch nicht ohne weiteres auf andere Meeresgebiete oder Fischarten übertragbar sind.

## Literatur

- KAMMANN, U., BISELLI, S., HÜHNERFUSS, H., REINEKE, N., THEOBALD, N., VOBACH, M., and W. WOSNIOK, 2004: Genotoxic and teratogenic potential of marine sediment extracts investigated with comet assay and zebrafish test. *Environ. Pollut.*, 132(2), p. 279-287.
- KAMMANN, U., LANG, T., VOBACH, M. and W. WOSNIOK, 2005: Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activity in dab (*Limanda limanda*) as biomarker for marine monitoring. *Environ. Sci. Pollut. R.*, 12(3), p. 140-145.
- KAMMANN, U., 2007: PAH metabolites in bile fluids of dab (*Limanda limanda*) and flounder (*Platichthys flesus*) - spatial distribution and seasonal changes. *Environ. Sci. Pollut. R.*, 14(2), p. 102-108.
- KAMMANN, U. und M. HAARICH, 2008: PAK-Metaboliten in Fischen aus der Ostsee 1999-2006. *Meeresumwelt Aktuell Nord- und Ostsee*, Nr. 4, 2008.
- LACORN, M., PIECHOTTA, G., WOSNIOK, W., SIMAT, T.J., KAMMANN, U., LANG T., MÜLLER W.E.G., SCHRÖDER H.C., JENKE, H.-S. and H. STEINHART, 2001: Annual cycles of apoptosis, DNA strand breaks, heat shock proteins, and metallothionein isoforms in dab (*Limanda limanda*): Influences of natural factors and consequences for biological effect monitoring. *Biomarkers*, 6(2), p. 108-126.
- OSPAR, 2005: 2005 Assessment of data collected under the Co-ordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP), Chapter 6 and 8. ISBN 1-904426-77-8, Publication Number: 005/235.
- OSPAR, 2006: Updated values for Background Concentrations (BCs) and Background Assessment Concentrations (BACs). Summary Record of the Meeting of the Working Group on Monitoring(MON), Copenhagen 28.11.-1.12.2006. MON 06/8/1-E, Annex 6.
- OSPAR, 2007: Development of Background Assessment Criteria for Contaminants in biota. Summary Record of the Meeting of the Working Group on Monitoring(MON), Copenhagen 4.-7.12.2007. MON 07/7/1-E, Annex 5.

### Autoren dieses Berichts:

Dr. Ulrike Kammann  
Dr. Michael Haarich

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)  
Bundesforschungsanstalt für Ländliche Räume,  
Wald und Fischerei  
Institut für Fischereiökologie

E-Mail:  
ulrike.kammann@vti.bund.de  
michael.haarich@vti.bund.de



## ARGE BLMP Nord- und Ostsee

Auf der 34. Umweltministerkonferenz Norddeutschland am 17. April 1997 sind die zuständigen Ressorts des Bundes und der Länder Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein übereingekommen, für die Zusammenarbeit bei der Überwachung der Meeresumwelt von Nord- und Ostsee eine Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (ARGE BLMP Nord- und Ostsee) zu bilden.

Mitglieder der ARGE BLMP sind:

- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

## Impressum

Herausgegeben vom  
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)  
Sekretariat Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP)  
Bernhard-Nocht-Straße 78  
20359 Hamburg

[www.blmp-online.de](http://www.blmp-online.de)

Zu zitieren als: Meeresumwelt Aktuell Nord- und Ostsee, 2009 / 3  
© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)  
Hamburg und Rostock 2009

Ein Glossar zur Reihe findet sich auf der oben genannten Webseite.

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des BSH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.