

Die Radioaktivität in Fischen und anderen Meerestieren der Nordsee wird wesentlich durch die Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield (England) und La Hague (Frankreich) sowie – in geringerem Maße – in Dounreay (Nordschottland) bestimmt. Durch Änderungen der Ableitungsgenehmigung darf die Anlage in Sellafield seit 1994 bestimmte Radionuklide (^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{99}Tc und ^{129}I) in größeren Mengen in das Wasser ableiten. Dagegen wurden insbesondere für Alpha-Strahler (Isotope des Plutonium und Americium) die Genehmigungswerte reduziert. Jetzt ist es an der Zeit, näher zu untersuchen, wie sich die Radioaktivität in den Meerestieren der Nordsee und damit die Strahlenexposition des Menschen in den Jahren nach 1994 tatsächlich entwickelt hat.

Grundlagen

Da unser Institut im Rahmen der internationalen Arbeitsteilung für die Radioaktivität in den Meerestieren der Nordsee zuständig ist, stellen wir im Folgenden die Situation in diesem Seegebiet dar. Auf die besonderen Verhältnisse in der Irischen See und auf Prognosen einer früheren Studie unseres Institutes zu maximal möglichen Auswirkungen der neuen Sellafield-Genehmigung wird am Ende des Beitrags eingegangen.

Um auf direktem Wege zu ermitteln, welcher Strahlenmenge der Verbraucher durch den Verzehr von Seefisch, Muscheln und Krebsen ausgesetzt (exponiert) ist, müsste großräumig gemessen werden, wie hoch die Konzentrationen der Radionuklide in den entsprechenden Tieren sind. Solche Untersuchungen sind jedoch wegen des hohen Laborkaufwandes nicht machbar. Über den Umweg von Modellen, die angeben, wie sich die radioaktiven Elemente in den untersuchten Seegebieten verteilen, kann eine Abschätzung dennoch vorge-



Radioaktivität

Welcher Strahlung ist Meerestieren ausgesetzt?

Günter Kanisch (Hamburg)

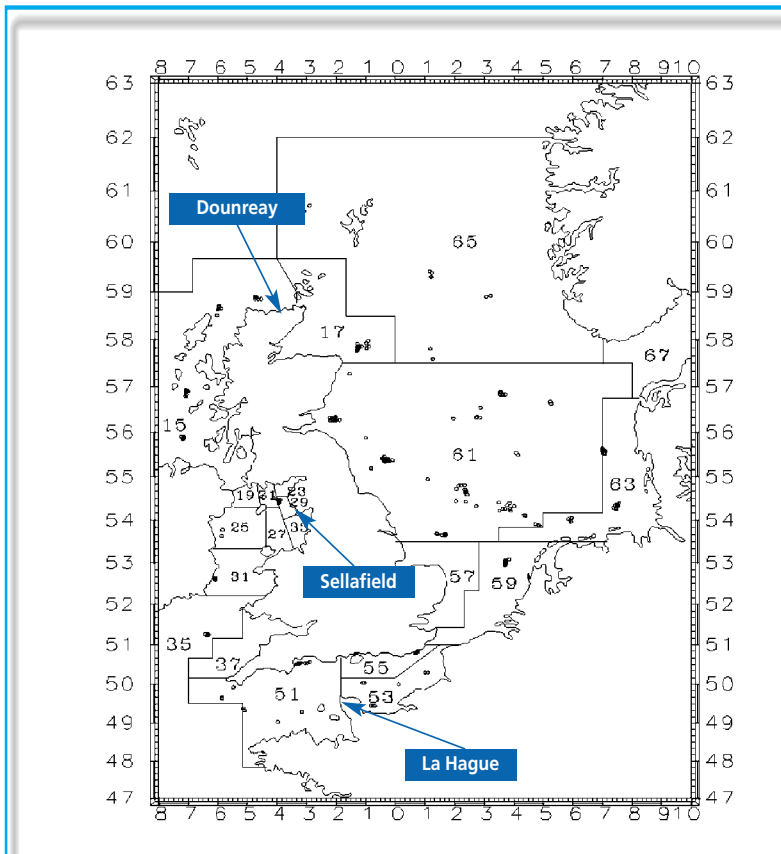


Abb. 1: Einteilung des betrachteten Meeresgebietes in Modellboxen; Probenstationen sowie die Lage der Wiederaufarbeitungsanlagen sind eingezeichnet.

nommen werden. Diesen Weg hat unsere Arbeitsgruppe am Institut für Fischereioökologie der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) beschritten.

Es wurde ein Rechenmodell verwendet, das den Transport von Radionukliden im Wasser der betrachteten Meeresregion (Nordsee und angrenzende Seegebiete) simuliert. Dafür passten wir ein der Fachliteratur entnommenes Modell an die Erfordernisse unserer Untersuchung an. Das Modell beschreibt den Transport von Radionukliden in 46 so genannten 'Wasserboxen' des Nordost-Atlantiks. Bei diesen Boxen handelt es sich um Wasserkörper, die in bestimmten Unterregionen der verschiedenen Seegebiete liegen. Abb. 1 zeigt die Einteilung der betrachteten Region in Modellboxen.

Um zu ermitteln, wie hoch die radioaktive Belastung in den einzelnen betrachteten Tiergruppen (Fische, Krebstiere, Muscheln) ist, wurden zunächst die Konzentrationen der 12 wichtigsten Radionuklide im Wasser der Modellboxen berechnet (in Bq/l) und diese Werte mit den Biokonzentrationen für die Tiere multipliziert. Diese Faktoren geben an, wie stark die Tiere die Radionuklide in ihrem Körper anrei-

tät in der Nordsee

die Bevölkerung durch den Verzehr von

tz?

chern (in Bq/kg).

Multipliziert man die so ermittelten Radioaktivitätsgehalte der drei Tiergruppen mit den dazugehörigen Pro-Kopf-Verzehrsraten, erhält man die Jahresaktivitätszufuhren (in Bq/Jahr). Diese werden für jedes Radionuklid noch mit einem so genannten Dosisfaktor (in Sievert/Bq) für die effektive Dosis bei Aufnahme mit der Nahrung multipliziert (es wird hier nur der Erwachsene betrachtet). Die Dosisfaktoren sind der Richtlinie 96/29/EURATOM zu entnehmen.

Wie die im Simulationsmodell errechneten Werte mit der tatsächlichen Situation übereinstimmen, lässt sich mit Hilfe von BFAFi-eigenen Radioaktivitätsmessdaten in den Meerestieren überprüfen.

Details zum Modell für den Nordost-Atlantik

Das Modell aus der Fachliteratur musste an die vorliegende Untersuchung angepasst werden. Im Einzelnen ging es dabei um folgende Punkte:

- für jede Wasserbox: mittlere Schwebstoffkonzentration; Volumen; mittlere

Tiefe; Volumenaustauschraten zwischen den Boxen.

- Entfernung von Radionukliden aus der Wassersäule durch Anlagerung an Schwebstoff und anschließende Sedimentation.
- Rücktransport aus dem Sediment ins Wasser (Re-Mobilisierung): nur in der Irischen See berücksichtigt.
- Radioaktive Einleitungen von: Sellafield (Box 29), Dounreay (Box 15) und La Hague (Box 51).
- Kernwaffenfallout (^{137}Cs , ^{90}Sr).
- Eintrag des Tschernobyl-Fallouts (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr) auf das Gebiet der Ostsee, der Nordsee und der südlichen Nordsee.
- Hier betrachtete Radionuklide: ^{14}C , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{106}Ru , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{241}Pu , ^{241}Am .

Re-Mobilisierung aus dem Sediment der Irischen See

Es ist lange bekannt, dass eine Re-Mobilisierung von Radionukliden aus dem Sediment der Irischen See in das Meer-

wasser stattfindet. 1992 wurde zum Beispiel ermittelt, dass 30 % mehr Plutonium aus der Irischen See durch den North Channel flossen als 1991 von der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield abgeleitet worden war. Für Caesium ergaben die Messungen sogar das 2,2-fache der Sellafield-Ableitungen der Jahre 1991 und 1992. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass das im Sediment des Meeresbodens gebundene Plutonium und Caesium wieder in Lösung gehen kann.

Die Re-Mobilisierung aus dem Sediment der Irischen See wurde mit einem einfachen, aber für dieses Seegebiet durchaus realistischen Verfahren in das Simulationsmodell einbezogen.

Glossar

RADIOAKTIVITER ZERFALL:

- a-Strahlung: Bei alpha-Strahlern sendet der Atomkern einen Helium-Kern (2 Protonen + 2 Neutronen) aus. Er verringert sich so in seiner Masse und wandelt sich in ein anderes Element um. Die positiv geladenen a-Teilchen sind nicht sehr durchdringend und werden bereits durch dünne Schichten absorbiert.
- b-Strahlung: Elemente mit beta-Zerfall senden ein Elektron aus. Diese b-Teilchen sind negativ geladen. Auch das Aussenden eines Positrons sowie das Einfangen eines Elektrons der Atomhülle durch den Atomkern zählen als b-Strahlung.
- g-Strahlung: Elemente mit gamma-Strahlung senden elektromagnetische Wellen aus. Zur Abschirmung dieser kurzwelligeren, energiereichen Strahlung bedarf es relativ dicker, dichter Schichten.

RADIOAKTIVE ELEMENTE:

Bei den im Text genannten chemischen Elementen mit radioaktivem Zerfall handelt es sich um:

^3H	Wasserstoff	^{14}C	Kohlenstoff
^{60}Co	Kobalt	^{90}Sr	Strontium
^{99}Tc	Technetium	^{106}Ru	Ruthenium
^{129}I	Iod	$^{134/137}\text{Cs}$	Caesium
^{210}Po	Polonium	$^{239/240/241}\text{Pu}$	Plutonium
^{241}Am	Americium		

Die Ziffer oben links gibt die Anzahl der Protonen und Neutronen im Atomkern an.

^{137}Cs im Kabeljau aus der zentralen Nordsee

Seit 1982 wurden jährlich Fischproben mit dem Forschungsschiff „Walther Herwig“ aus der Nordsee und angrenzenden Seegebieten genommen. Verwendete Probenahmestationen sind in Abb. 1 eingetragen.

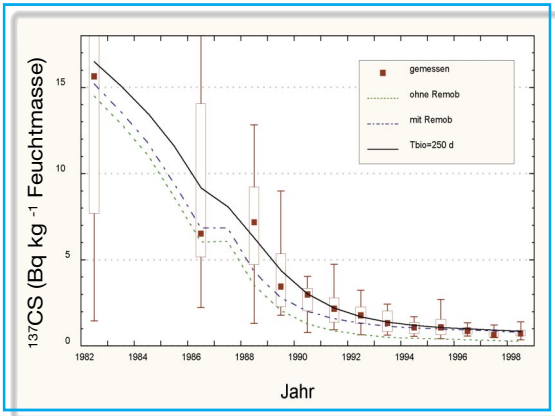


Abb. 2: Vergleich einer Zeitreihe von ¹³⁷Cs im Kabeljaufleisch der zentralen Nordsee (Boxen 17, 61, 63; Min-Max-Werte, Quartile und Medianwerte) mit aus dem Modell erhaltenen Kurven.

Untere, gepunktete Kurve: ohne Re-Mobilisierung aus dem Sediment der Irischen See.

Mittlere, gestrichelte Kurve: mit Hinzunahme der Re-Mobilisierung aus dem Sediment der Irischen See.

Obere, durchgezogene Kurve: mit Re-Mobilisierung aus dem Sediment der Irischen See und Berücksichtigung einer biologischen Halbwertszeit (T_{bio}) von 250 Tagen.

Abb. 2 zeigt die zeitliche Änderung der ¹³⁷Cs-Konzentration im Kabeljaufleisch aus der zentralen Nordsee. Die deutliche Abnahme ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Ableitungen der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield seit Ende der siebziger Jahre erheblich reduziert wurden.

Die Re-Mobilisierung des Caesiums in der Irischen See erklärt den Effekt, dass seit etwa 1993 die ¹³⁷Cs-Aktivität im Nordseefisch stagniert und nur noch langsam weiter abnimmt. Dies kann an den gepunkteten und gestrichelten Kurven in Abb. 2 abgelesen werden. Aus ihnen ergibt sich auch, dass die verbleibende Caesium-Konzentration bei geringer werdender Ableitung immer mehr auf den Re-Mobilisierungseffekt zurück zu führen ist: Lag dieser im Jahr 1982 noch bei 4 %, so betrug er 1998 rund 60 %.

Die Aufnahme bzw. Ausscheidung von ¹³⁷Cs durch den Fisch geschieht nicht schlagartig, sondern vollzieht sich „allmählich“. Dies kann in der Modellrechnung durch eine „biologische Halbwertszeit“ berücksichtigt werden. Die für die Rechnung in Abb. 2 angenommene biologische Halbwertszeit von 250 Tagen führt in der Phase der deutlichen Abnahme von ¹³⁷Cs im Wasser – von 1982 bis etwa 1990 – zu einer sichtbaren Erhöhung der Aktivitätskonzentration im Fisch gegenüber den Daten des einfachen Modells, das die biologische Halbwertszeit nicht berücksichtigt.

Wassermassen vom Modell derzeit noch nicht hinreichend berücksichtigt werden.

Die vom Institut für Fischereibiologie erhobenen Daten an Miesmuschelfleisch (1992-1997) und an Garnelenfleisch (ab 1995) wurden ebenfalls mit den errechneten Modellwerten verglichen. Hier überschätzt das Modell die tatsächliche Belastungssituation noch deutlicher als bei Fisch. Lediglich für ⁹⁰Sr ist eine Unterschätzung durch das Modell festzustellen.

Insgesamt zeigte der Vergleich, dass die Modellwerte die tatsächlichen Gegebenheiten generell zufriedenstellend widerspiegeln und eher eine zu starke als eine zu schwache Belastung vorgeben.

Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

Für die folgende Abschätzung wurden die Verzehrswerte für Meerestiere aus dem „Jahresbericht über die Deutsche Fischwirtschaft 1998“ herangezogen. Danach verzehrt ein Durchschnittsverbraucher in Deutschland pro Jahr 5,6 kg Seefisch und je 0,55 kg Krebstiere und Muscheln (Gewichtangaben bezogen auf verzehrbare Anteile).

Es werden zwei Gebiete betrachtet:

- zentrale Nordsee
- südliche Nordsee und Ärmelkanal

Die Abb. 3 zeigt die für den Zeitraum 1992-98 berechneten Strahlenexpositionen in den zwei Gebieten, wobei jeweils zwischen Fisch, Krebstieren und Muscheln unterschieden wurde. In die Berechnungen sind alle 12 im Modell berücksichtigten Radionuklide eingegangen.

Für die zentrale Nordsee ergibt sich die größere Exposition. Den Hauptanteil macht Fisch aus, da er in viel größerem Umfang verzehrt wird als Muscheln und Krebstiere.

In beiden Gebieten nahm die Strahlenexposition langsam ab. In der überwiegend durch Sellafield-Ableitungen betroffenen zentralen Nordsee ist dies hauptsächlich durch die geringeren Konzentrationen im Lebensmittel Fisch bedingt. In dem südlichen Gebiet blieben die Werte für Fisch dagegen nahezu konstant, während die Abnahme

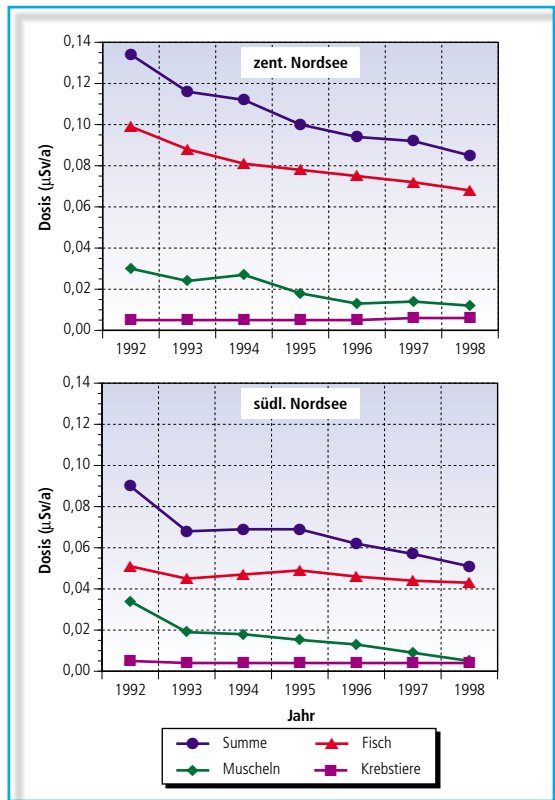


Abb. 3: Für den Zeitraum 1992-98 berechnete Strahlenexposition der Bevölkerung durch Verzehr von Fisch, Krebstieren und Muscheln aus der zentralen Nordsee (Boxen 17, 61, 63) und aus der südlichen Nordsee und dem Ärmelkanal (Boxen 53, 55, 57, 59).

Vergleich zwischen Modell und Messungen

Die mit Hilfe des Modells ermittelten Daten wurden mit den BFAF-eigenen Werten aus dem Fleisch von Fisch, Miesmuscheln und Garnelen verglichen (Aktivitätskonzentrationen in Bq/kg). Für Fisch aus der zentralen und der südlichen Nordsee zeigte sich, dass das Modell bei den Elementen ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs und ^{239/240}Pu die tatsächlichen Aktivitätskonzentrationen gut wiedergibt bzw. sogar überschätzt. Für Fisch aus dem Ärmelkanal und westlich davon liegt eher eine Unterschätzung durch das Modell vor. Dies liegt vor allem daran, daß die niedrigen Konzentrationen der aus dem Atlantik einströmenden





Abb. 5: Messraum mit der Low-level-Alpha-Spektrometrie (links im Vordergrund) sowie zwei Low-level-Gamma-Spektrometern mit Bleiabschirmungen (in blau).

hauptsächlich bei den Mollusken zu verzeichnen war.

Die Beiträge einzelner Radionuklide zur Strahlenexposition durch Verzehr von Fisch zeigt die Abb. 4. In beiden Gebieten machen ¹³⁷Cs und ¹⁴C den Hauptanteil aus. Die ¹⁴C-Komponente weist eine ansteigende Tendenz auf, bedingt durch Zunahmen der ¹⁴C-Ableitungen sowohl bei Sellafield als auch bei La Hague. Im südlichen Bereich weist das sehr langlebige ¹²⁹I ebenfalls eine leicht ansteigende Tendenz auf.

Bei den Muscheln (ohne Abb.) aus der zentralen Nordsee wird die Strahlenexposition durch die Alpha-Strahler (²⁴¹Am und Plutoniumisotope) sowie durch ⁹⁹Tc und ¹⁰⁶Ru bestimmt, während im südlich anschließenden Bereich vor allem ¹⁰⁶Ru und ¹⁴C dominieren.

Bei den Krebstieren (ohne Abb.) aus der zentralen Nordsee machen neben ¹³⁷Cs in den letzten Jahren ¹⁴C und ⁹⁹Tc wesentliche Anteile aus, während im südlich anschließenden Bereich ¹⁴C dominiert.

Bewertung

Die Modellrechnungen haben ergeben, dass die Aufnahme radioaktiver Elemente durch den Verzehr von Seefisch, Krebstieren und Muscheln aus der Nordsee von 1992 bis 1998 abgenommen hat: in der zentralen Nordsee – dem Gebiet mit der höheren Exposition – von etwa 0,13 auf 0,08 Mikrosievert (µSv) pro Jahr. Um diese Werte einschätzen zu können, ist ein Vergleich mit der mittleren natürli-

chen Strahlenexposition hilfreich. Sie beträgt rund 2400 µSv/Jahr. Dieser Dosis ist jede Person aus der Bevölkerung ausgesetzt. Die 0,08 µSv von 1998 sind also weniger als 0,004 % der mittleren natürlichen Strahlenexposition. Dies ist ein sehr kleiner Wert und gibt zu keinerlei Bedenken hinsichtlich des Verzehrs von Fisch und anderen Meerestieren aus der Nordsee Anlass.

Mit der Nahrung aus dem Meer nimmt der Mensch auch natürliche Radionuklide zu sich, die im Fleisch der Tiere generell vorhanden sind. Es handelt sich vor allem um das Isotop ²¹⁰Po. Die daraus resultierende Strahlenexposition beträgt rund 42 µSv/Jahr (Summe aus verzehrten Fischen, Krebsen und Muscheln). Auch diese natürliche Belastung ist damit etwa 500-mal so groß wie diejenige, die 1998 von den künstlichen Radionukliden ausging.

Situation in der Irischen See

Die Irische See zählt wegen der recht hohen radioaktiven Einleitungen durch Sellafield seit langem zu den am intensivsten untersuchten Seegebieten der Welt. Dies betrifft sowohl die regelmäßige Kontrolle der Verzehrsgewohnheiten verschiedener lokaler Verbrauchergruppen, die größeren Schwankungen unterliegen, als auch die Vielzahl der in den Meeresorganismen gemessenen Radionukliden.

In einer früheren Studie unseres Instituts wurde mit Prognose-Rechnungen untersucht, wie sich die 1994 geänderte Ableitungsgenehmigung für Sellafield auf die Strahlenexposition von Verbrauchergruppen der Irischen See wie auch der Nordsee im Höchstfall auswirken (Schriften der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Nr. 23, 1997). Dabei wurden Ergebnisse britischer Untersuchungen bestätigt, wonach die maximale Strahlenexposition der Sellafield-nahen Verbrauchergruppe bei etwa 200 µSv pro Jahr liegen würde. Für Verbraucher der Nordsee wurde von uns seinerzeit ein maximal zu erwartender Wert von nur etwa 0,5 µSv im Jahr geschätzt. Die Messdaten und die daraus abgeleiteten Strahlenexpositionen der Verbrauchergruppen der Irischen See wurden in den Folgejahren (wie zuvor

auch) von britischen Behörden jährlich veröffentlicht.

1995 bis 1997 war die Sellafield-naher Gruppe durch den Verzehr von Meerestieren einer Strahlendosis von 100 bis 140 µSv pro Jahr ausgesetzt, gegenüber rund 100 µSv pro Jahr in den Vorjahren. Hervorgerufen wurde die Zunahme vor allem durch ⁹⁹Tc. 1998 stieg der Wert wegen deutlich höherer Verzehrsmengen auf 200 µSv/Jahr. Für andere, Sellafield-fernere britische Verbrauchergruppen der

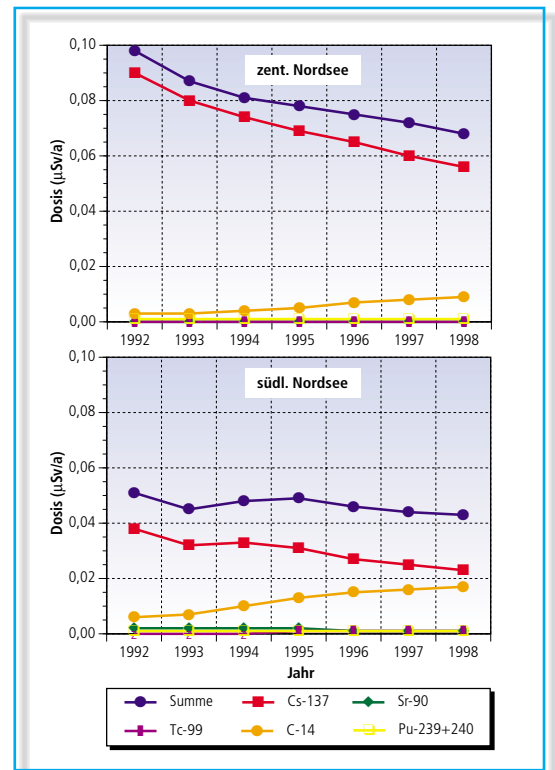


Abb. 4: Beiträge einzelner Radionuklide zur Strahlenexposition durch den Verzehr von Fisch aus der zentralen Nordsee (Boxen 17, 61, 63) und aus der südlichen Nordsee und dem Ärmelkanal (Boxen 53, 55, 57, 59). Bei „Gesamt“ ist jeweils die Summe aller 12 betrachteten Radionuklide dargestellt.

Irischen See mit höheren Verzehrsmengen wurden 1998 Werte im Bereich von wenigen zehn µSv/Jahr angegeben. Der „typische britische Fischesser“ (Verzehr von jährlich 15 kg Fischfleisch aus der Irischen See) erhält dagegen eine Exposition von nur 2 µSv pro Jahr.

Dipl.-Phys. Günter Kanisch, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Fischereiökologie, Wüstland 2, 22589 Hamburg