

RADIOAKTIVE STOFFE IN FISCHEN

M.-O. Aust, P. Nogueira

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Fischereiökologie

*Leitstelle für Fisch und Fischereierzeugnisse, Krustentiere, Schalentiere, Meereswasserpflanzen
(Leitstelle G)*

Fische und Fischereiprodukte sowie Krusten- und Schalentiere aus deutschen Binnengewässern werden durch die amtlichen Messstellen der Bundesländer auf radioaktive Stoffe untersucht und die Messwerte in das Integrierte Mess- und Informationssystem des Bundes (IMIS) übertragen. Das Thünen-Institut für Fischereiökologie als zuständige Leitstelle des Bundes nimmt sowohl die Plausibilisierung als auch die Zusammenführung und Bewertung dieser Messwerte vor. Zusätzlich ist das Thünen-Institut für Fischereiökologie mit der Überwachung der Radionuklidkonzentrationen in Organismen auf der Hohen See betraut. Die Probenentnahme in Nord- und Ostsee erfolgt im Rahmen zweier jährlich stattfindender Fischereiforschungsausfahrten an Bord von FFS Walther Herwig III. Zusätzliche Proben, zum Teil auch aus anderen Meeresgebieten wie der Grönlandsee, werden u. a. von den Thünen-Instituten für Seefischerei und Ostseefischerei bereitgestellt.

Binnenseen

Die mittlere spezifische Aktivität von ^{137}Cs in Fischen aus Binnenseen ist seit 1986, als die Messwerte in Süddeutschland (Baden-Württemberg und Bayern) 200 Bq/kg Feuchtmasse (FM) überstiegen, deutlich gesunken. Im Zeitraum 2018 bis 2022 schwankte sie um den Wert von 1 Bq/kg FM (siehe Abbildung 9.1). In denselben Zeiträumen verringerte sich die mittlere spezifische Aktivität von ^{137}Cs in Binnenseen Norddeutschlands (Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Bremen, ab 1991 auch Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern) von 90 Bq/kg FM ebenfalls auf etwa 1 Bq/kg FM.

Das Maximum im Jahr 1986 und die hohen Messwerte der nachfolgenden Jahre sind auf den Eintrag aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen. Süddeutschland war damals wesentlich stärker betroffen als die norddeutschen Bundesländer. Durch das physikalische Abklingen des Cäsiums mit einer Halbwertszeit von 30,2 Jahren und die Verdünnung in einigen der Seen verringerte sich die spezifische Aktivität auch in Fischen deutlich. Dieses Abklingen fand in zwei Phasen statt [28]. Die erste Phase war geprägt durch eine effektive Halbwertszeit von 0,7 Jahren, die zweite von 7 Jahren.

Fließgewässer

Die mittleren spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs in Fischen aus Fließgewässern Nord- und Süddeutschlands sanken seit den 1980er Jahren von maximal 30 Bq/kg FM, infolge des Ereignisses in Tschernobyl, auf Werte stabil unter 0,5 Bq/kg FM (inklusive Mitteldeutschland; siehe Abbildung 9.3). Aktuell sind die ermittelten spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs in Fischen aus Fließgewässern Nord- und Süddeutschlands etwa um den Faktor fünf niedriger als jene aus Binnenseen, was bedeutet, dass sich die Werte der beiden Gewässertypen immer weiter annähern.

Fischteiche

In Fischen aus Teichhaltung in Nord- und Süddeutschland wurden in den 1980er Jahren mittlere spezifische ^{137}Cs -Aktivitäten von maximal 22 Bq/kg FM ermittelt, während die heutigen mittleren Messwerte maximal 0,5 Bq/kg FM betragen (inklusive Mitteldeutschland; Abbildung 9.2). Der zeitliche Verlauf der mittleren spezifischen ^{137}Cs -Aktivität in Fischen aus Teichhaltung (Fischwirtschaften, Angelteiche, Baggerseen) verhält sich damit qualitativ ähnlich der Entwicklung in Fließgewässern (siehe Abbildung 9.3). Bis 1989 waren die in Fischteichen gefundenen Mittelwerte der spezifischen Aktivität etwa um die Hälfte niedriger als in Fließgewässern. Seit 1990 ist praktisch kein Unterschied mehr nachweisbar.

Karpfen und Forellen

Eine Einzelbetrachtung der beiden wirtschaftlich bedeutendsten in Aquakultur erzeugten Fischarten Karpfen und Forelle ist in Abbildung 9.4 dargestellt. Die mittleren spezifischen Aktivitäten von ^{137}Cs nahmen seit ihrem Maximum von etwa 16 Bq/kg bzw. 7 Bq/kg in den Jahren 1986 und 1987 kontinuierlich ab und liegen seit dem Jahr 2012 unterhalb von 0,2 Bq/kg. Im Jahr 2022 wurden so viele Werte unterhalb der Nachweisgrenze berichtet, dass der Mittelwert unterhalb der Nachweisgrenze von 0,15 Bq/kg lag. Da jeweils Forellen und Karpfen aus verschiedenen Binnengewässern gemeinsam ausgewertet wurden, zeigen sich in der Zeitreihe der Karpfen gelegentlich höhere Messwerte, wenn die Fische vermehrt aus Binnenseen entnommen wurden.

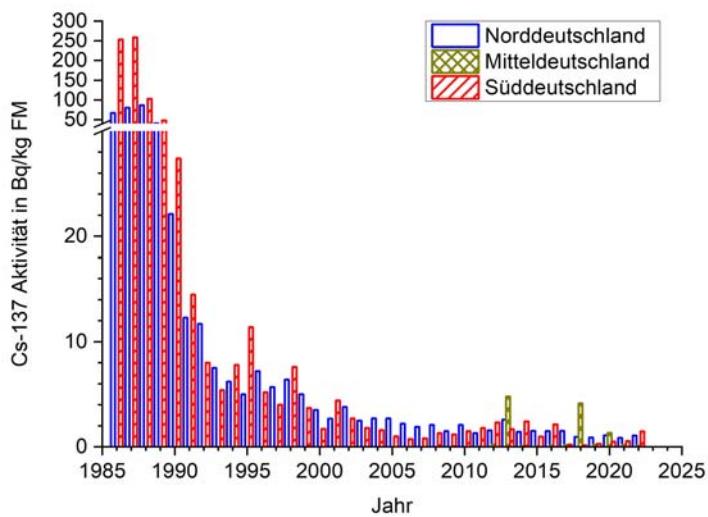


Abbildung 9.1
Jahresmittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität
in Fischen aus Binnenseen in
Bq/kg FM

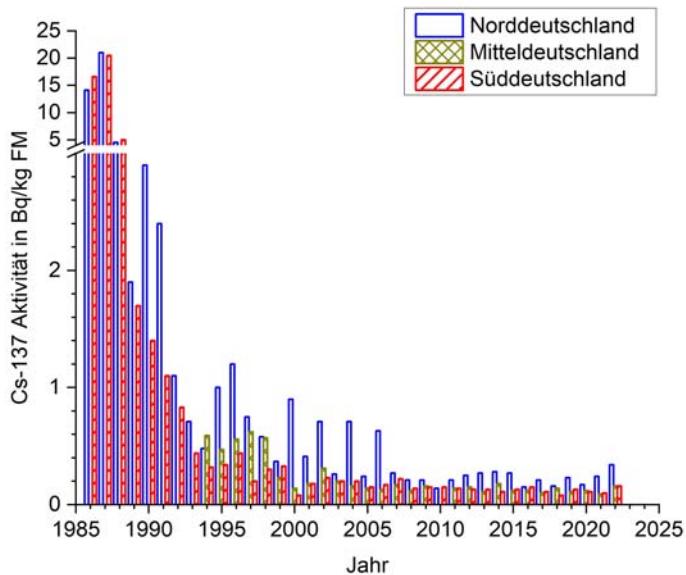


Abbildung 9.2
Jahresmittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität
in Fischen aus Fischteichen in
Bq/kg FM

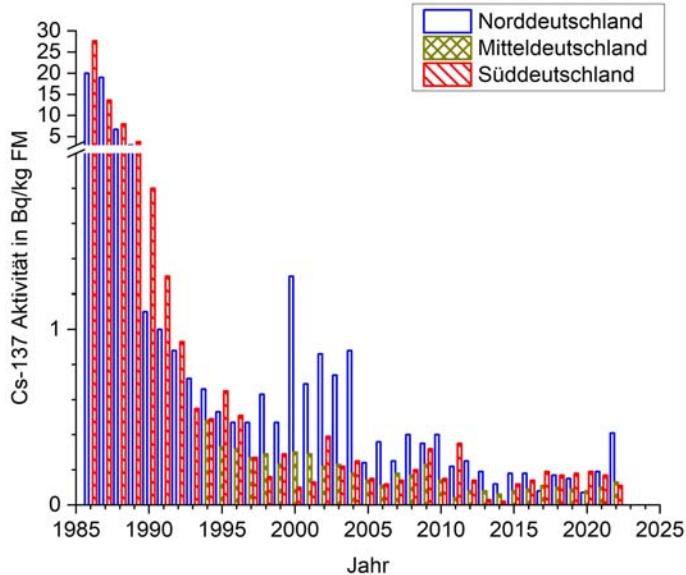


Abbildung 9.3
Jahresmittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität
in Fischen aus Fließgewässern
in Bq/kg FM

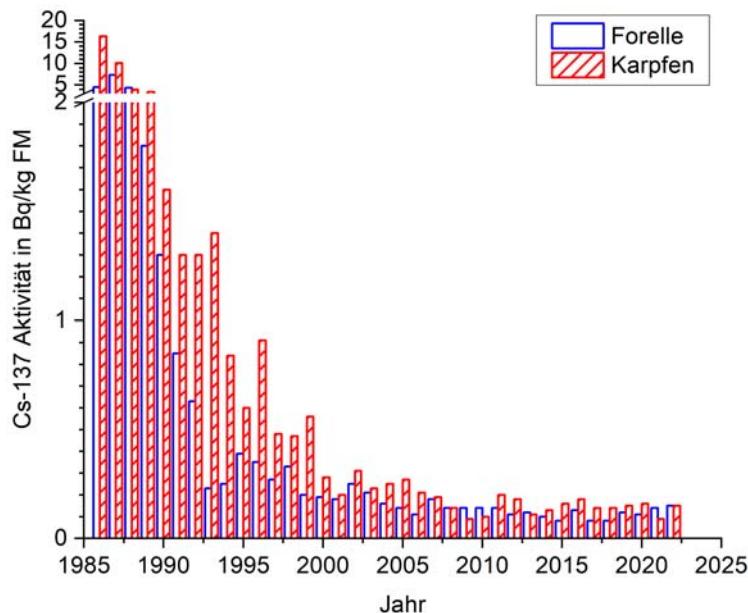


Abbildung 9.4
Jahresmittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität
in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM

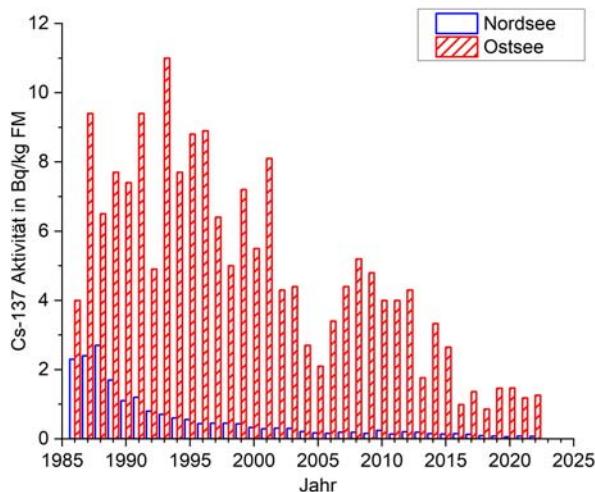


Abbildung 9.5
Jahresmittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität
in Fischen aus Nord- und Ostsee
in Bq/kg FM

Quelle: Johann Heinrich von Thünen-Institut

Nord- und Ostsee

Die mittlere spezifische Aktivität von ^{137}Cs in Fischen aus der Nordsee sank im Zeitraum 1987 bis 2019 von knapp 3 Bq/kg FM auf Werte unterhalb 0,1 Bq/kg FM (siehe Abbildung 9.5), wobei der Maximalwert im Jahr 1987 wiederum dem Reaktorunfall von Tschernobyl geschuldet ist. Allerdings wurde in Fischen der Nordsee bereits vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl eine spezifische ^{137}Cs -Aktivität von etwa 2 Bq/kg gemessen, weil ein Teil der Ableitungen der europäischen Wiederaufbereitungsanlagen durch die Nordsee transportiert wird [29].

Insgesamt ist der Einfluss des Fallouts aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl wegen des raschen Abtransports der Radionuklide mit dem Wasser der Nordsee gering. Von 1988 bis Mitte

der 1990er Jahre wurde im Wasser der Nordsee eine Aktivitätsabnahme verzeichnet, während die Messwerte der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität in Fischen dort anschließend nahezu stagnierten. Die Abnahme über den gesamten Zeitraum ist im Wesentlichen mit der kontinuierlichen Verringerung der Ableitungen aus der englischen Wiederaufbereitungsanlage Sellafield verbunden [30]. Seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre stagniert die spezifische ^{137}Cs -Aktivität. Vorher wurden die Ableitungen aus der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield deutlich reduziert, durch das Gleichgewicht zwischen den Konzentrationen von ^{137}Cs in Wasser und Sediment wird seitdem ^{137}Cs , das vorher an das Sediment der Irischen See angelagert wurde, wieder freigesetzt [31]. Dieses remobilisierte ^{137}Cs gelangt zusammen mit den Resten des sogenannten „globalen Fallouts“ (siehe auch Kapitel

„Radioaktive Stoffe in Nord- und Ostsee“) mit den Meeresströmungen in die Nordsee und damit, angereichert um einen Faktor von etwa 100, in den dort lebenden Fisch.

Die ermittelte mittlere spezifische Aktivität von ^{137}Cs in Fischen der Ostsee ist mit aktuell bis zu 1,2 Bq/kg deutlich höher als jene der Nordsee (siehe Abbildung 9.5). Grund dafür sind etwa 4700 TBq ^{137}Cs -Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschornobyl [32]. Damit war und ist die Ostsee deutlich stärker von dem Reaktorunfall in Tschornobyl betroffen als die Nordsee. Im Vergleich zum Maximalwert hat sich die spezifische ^{137}Cs -Aktivität in der Ostsee bis zum Jahr 2022 um eine Größenordnung reduziert. Der deutlich langsamere Anstieg, die starken Schwankungen wie auch die deutlich langsamere Abnahme haben verschiedene Ursachen. Zuallererst wurde der Tschornobyl-Fallout sehr ungleichmäßig über die Ostsee verteilt. Die Bottnische See und der Golf von Finnland waren damals am stärksten betroffen. Eine Konzentrationsabnahme durch Verdünnung findet aber nur sehr langsam statt, weil die Wasserbewegung innerhalb der Ostsee wie auch der Austausch des Wassers mit der Nordsee wesentlich geringer sind als vergleichbare Prozesse in der Nordsee. Im Rahmen des Untersuchungsprogrammes des Thünen-Instituts für Fischereiökologie wurden im Jahr 1991 in den östlich gelegenen Untersuchungsgebieten der Ostsee innerhalb der Deutschen deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone maximale spezifische ^{137}Cs -Aktivitäten knapp über 29 Bq/kg FM im Jahr 1991 im Fischfilet gefunden; im Jahr 2022 waren es nur noch maximal 2,2 Bq/kg FM. Im Gegensatz dazu wurden in der Kieler Bucht seit 1986 Maximalwerte bis 9 Bq/kg FM ermittelt, während diese aktuell etwa 1 Bq/kg FM betragen. Damit liegen die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Kieler Bucht im Bereich der vor dem Reaktorunfall in Tschornobyl gemessenen Werte [33]. In Abbildung 9.6 werden die jährlichen Mittelwerte der in Filets von Dorsch/Kabeljau, Wittling, Scholle, Flunder und Makrele ermittelten spezifischen Aktivitäten der Jahre 2010 bis 2022 gezeigt. Sie geben sowohl die unterschiedlichen Niveaus der spezifischen Aktivität von ^{137}Cs in Nord- und Ostsee als auch die Verteilung der Cs-Werte innerhalb der Ostsee wieder.

Konzentrationsfaktoren von ^{137}Cs in Dorschartigen aus der Ostsee

Mittels Konzentrationsfaktoren kann die Aufnahme radioaktiver Stoffe aus dem Wasser oder über die Nahrung in den Fisch abgeschätzt werden.

Im Falle von Ereignissen mit möglichen nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen sind sie wichtige Parameter, weil so Ausbreitungsrechnungen und Dosisabschätzungen über die Menge radioaktiver Ableitungen möglich sind. Für ihre Ermittlung ist ein Gleichgewicht (stationärer Fall) zwischen der Aktivitätskonzentration im Wasser der spezifischen Aktivität in Fisch erforderlich. Da dieser stationäre Fall auch in der Ostsee seit Anfang der 1990er Jahre gegeben ist, werden die Konzentrationsfaktoren im vorliegenden Fall aus dem Verhältnis der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität in Fisch (Bq/kg) zur ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in Meerwasser (Bq/L) berechnet.

Abbildung 9.7 zeigt die Verläufe der mittleren Aktivitätskonzentration in Wasser und der mittleren spezifischen Aktivität in Fisch sowie die daraus berechneten Konzentrationsfaktoren in drei Gebieten der Ostsee (Kieler Bucht, Mecklenburger Bucht und Rügen/Arkonasee) im Zeitraum 1990 bis 2018. Die mittleren Konzentrationsfaktoren in Dorschartigen (Kabeljau und Wittling) betrugen zwischen etwa 90 L/kg und 300 L/kg. Diese Schwankungsbreite ist geringer als jene, die Steele [34] zwischen 1978 und 1985 in Dorschfilet der Nordsee ermittelte konnte (8 L/kg bis 1100 L/kg). Die mittleren Konzentrationsfaktoren im Zeitraum 1990 bis 2022 betragen für die Kieler Bucht 135 L/kg, für die Mecklenburger Bucht 140 L/kg sowie 200 L/kg in der Arkonasee (Abbildung 9.7). Die in der Ostsee ermittelten mittleren Konzentrationsfaktoren sind damit höher als der Wert 100 L/kg, den die IAEA als mittleren Anreicherungsfaktor für Fisch empfiehlt [35]. Dagegen sind die hier angegebenen Konzentrationsfaktoren in derselben Größenordnung wie sie Steele [34] in Dorschfilet aus der Nordsee ermittelte. Ähnlich den spezifischen Aktivitäten in Fisch der Ostsee stiegen auch die mittleren Konzentrationsfaktoren von West nach Ost an (Vergleich Abbildungen 9.6 und 9.7). Das liegt hauptsächlich an der von West nach Ost abnehmenden Salinität der Ostsee und der damit einhergehenden Verringerung des Kalium-Angebotes. Ereignisse wie Tschornobyl sind aus den Verläufen nur schlecht erkennbar, weil sich i. d. R. innerhalb des Beobachtungszeitraumes sowohl die Aktivitätskonzentration im Wasser als auch die spezifischen Aktivitäten in Fisch in ähnlicher Weise ändern. Ob Wanderungen der Fische, Beprobung unterschiedlicher Fischbestände (wie in der Arkonasee Vermischung des östlichen und westlichen Dorschbestandes der Ostsee) oder Süßwassereinbrüche für die kurzfristigen Schwankungen der ermittelten Konzentrationsfaktoren verantwortlich sind, wird zukünftig weiter zu evaluieren sein.

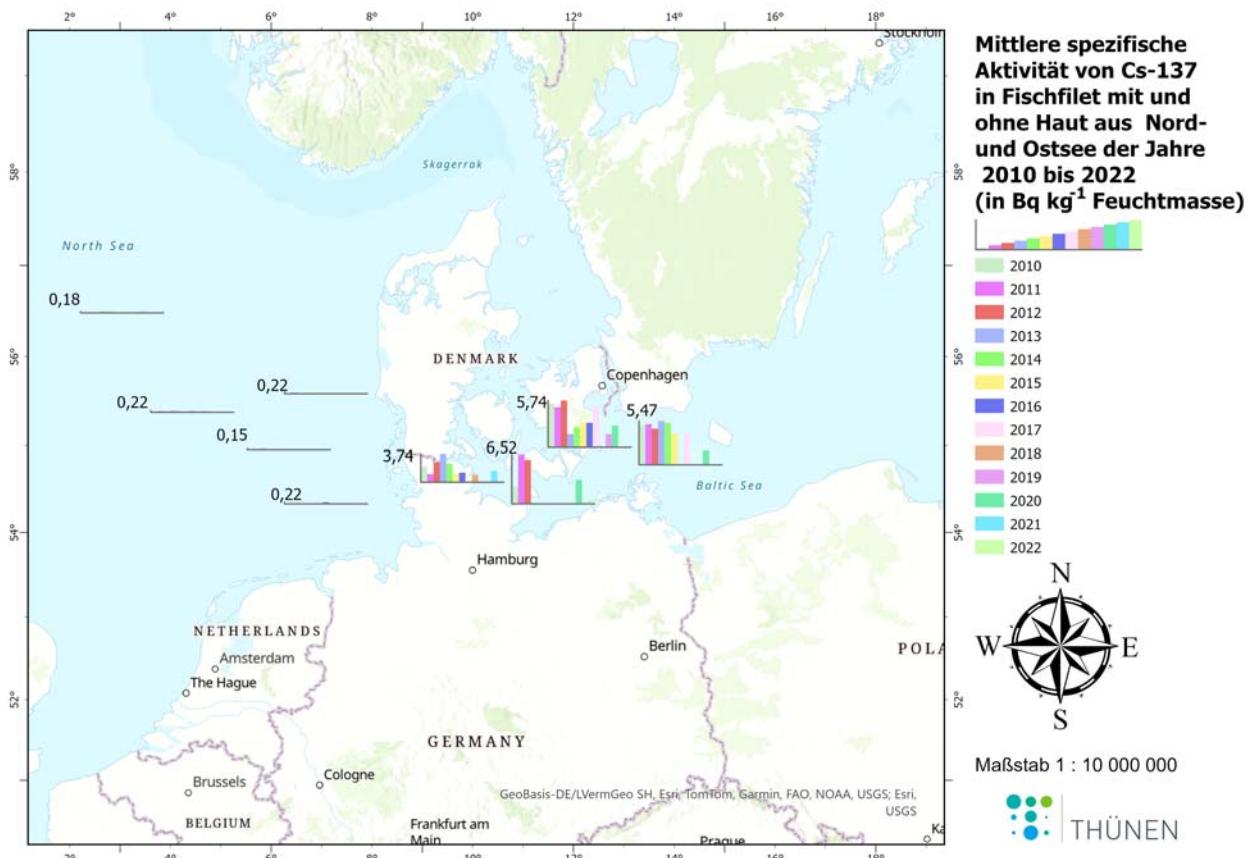


Abbildung 9.6

Mittlere spezifische Aktivität von ^{137}Cs der Jahre 2010 bis 2022, ermittelt in Fischfilet von Dorsch/Kabeljau, Wittling, Scholle, Flunder und Makrele mit und ohne Haut in verschiedenen Untersuchungsgebieten von Nord- und Ostsee. Die Zahlen an den Achsen geben den Maximalwert an der jeweiligen Station über den Beobachtungszeitraum an.

Fazit

Die Ergebnisse machen deutlich, dass der Fallout aus der Reaktorkatastrophe von Tschornobyl die dominierende Quelle der Kontamination von Fischen der Ostsee und der deutschen Binnengewässer mit Radionukliden war und ist. Die mittleren ^{137}Cs -Werte in Fischen aus der Ostsee sind auch 2022 weiterhin höher als in Fischen aus Binnenseen. Die effektive Halbwertszeit für die Abnahme in Wasser und Fisch ist mit 6 bis 11 Jahren in der Ostsee [36] etwas größer als diejenige in Binnengewässern mit etwa 7 Jahren [28]. Dass auch die Abnahme in Binnengewässern relativ langsam erfolgt, liegt daran, dass bis heute kontinuierlich ^{137}Cs aus den Böden der Wassereinzugsgebiete in die Gewässer eingetragen wird. Dabei war der Einfluss des Fallouts aus der Reaktorkatastrophe von Tschornobyl in den Binnengewässern zunächst höher, wobei hier die größten Auswirkungen auf Fische aus Binnenseen beobachtet wurden. Bis 2022 wurde in den Binnenseen aller-

dings ein deutlicher Rückgang der mittleren spezifischen Aktivität von ^{137}Cs auf unter 1 Bq/kg FM festgestellt. Im Vergleich dazu war die Kontamination von Fischen aus Teichen und Fließgewässern nur etwa halb so groß. Die spezifischen ^{137}Cs -Aktivitäten in Fischen aus Fließgewässern und Teichen nahmen von den 1990er Jahren bis etwa zum Jahr 2005 nur noch langsam ab und schwanken seitdem geringfügig auf dem erreichten niedrigen Niveau.

Ein wichtiger Parameter zur Einschätzung der aktuellen Kontaminationslage ist zudem die Strahlenexposition der Bevölkerung, beispielsweise durch den Verzehr von Fisch und Produkten des Meeres. Diese wurde im Jahr 2010 für einen überdurchschnittlich hohen Verzehr von jährlich 90 kg Meeresfisch aus der Ostsee (im Mittel 8 Bq/kg FM für ^{137}Cs) mit einem Wert von etwa 10 μSv im Jahr angegeben [33]. Dieses entspricht weniger als 0,04 % der mittleren natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung. Unter Ver-

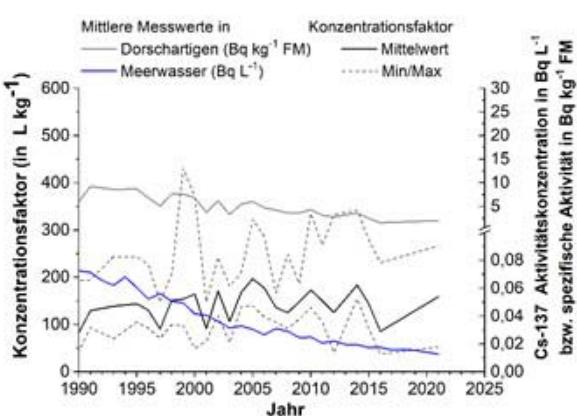
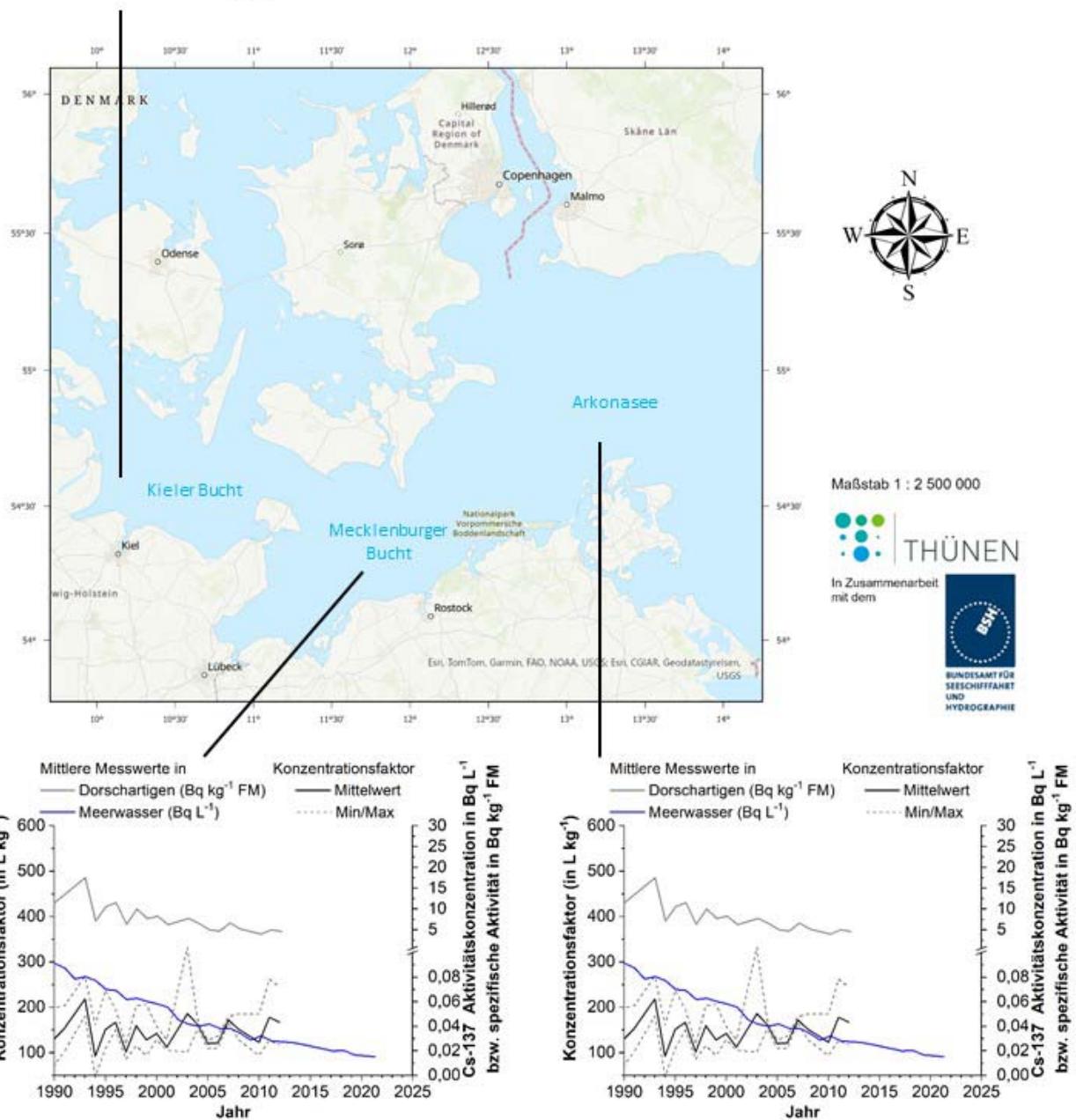


Abbildung 9.7
Mittlere Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in Wasser (in Bq L^{-1} ; Daten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie; siehe dazu BMUV-Jahresbericht [1]) und der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität in den Dorschartigen (Dorsch/Kabeljau) und Wittling (in Bq/kg FM ; eigene Messdaten) in drei Untersuchungsgebieten der Ostsee der Jahre 1990 bis 2022 (sowie daraus berechnete Konzentrationsfaktoren der Aufnahme des Organismus (in L/kg))



wendung der oben angegebenen Mittelwerte der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs sind durch Verzehr von Fischen aus Binnengewässern noch niedrigere Strahlenexpositionen zu erwarten. Für den Verzehr von Fisch, Krusten- und Weichtieren aus der zentralen Nordsee wurde für 2012 mit Hilfe eines Kompartimentmodells [37] eine Strahlenexposition der Bevölkerung von etwa 0,05 μSv im Jahr abgeschätzt, was etwa 0,0022 % der mittle-

ren natürlichen Strahlenexposition entspricht. Dabei wurde ein Fischverzehr von 5,6 kg im Jahr und ein mittlerer Konsum von Krusten- und Weichtieren von je 0,55 kg im Jahr zugrunde gelegt, was den mittleren Verzehrsraten der vergangenen Jahre entspricht.

