

S. Schmied

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Leitstelle für Meerwasser, Meeresschwebstoff und -sediment (Leitstelle D)

In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich zwei Überwachungsfahrten mit eigenen und gecharterten Forschungsschiffen durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch der zeitlichen Trends möglich.

In Nord- und Ostsee können künstliche Radionuklide aus folgenden Quellen nachgewiesen werden:

- Globaler Fallout aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre,
- Ableitungen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 und
- Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen wie Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See die Aktivitätskonzentration künstlicher Radionuklide in der Nordsee. Diese Kontaminationen werden von Meeresströmungen in andere Meeresgebiete verfrachtet und konnten dort auch über Entfernungen von mehreren tausend Kilometern nachgewiesen werden. Entsprechend der langen Transportzeiten sind nur langlebige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als ein Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Reaktorunfall von Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee bestimmt.

Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres kaum eine Rolle. Sie sind nur in unmittelbarer Umgebung dieser

Anlagen nachzuweisen. Dies gilt auch für die bis 1982 durchgeführte Versenkung schwach-radioaktiver Abfälle in mehr als 4000 Metern Tiefe im Nordostatlantik. Auch die früheren Versenkungen radioaktiver Abfälle durch die ehemalige UdSSR in der Barents- und Karasee sowie das 1989 gesunkene russische Atom-U-Boot „Komsomolts“ in einer Tiefe von etwa 1700 m in der Norwegensee führen zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield lagen in den 70er Jahren um mehrere Größenordnungen höher als in den letzten Jahren. Erhebliche Anstrengungen der Betreiber auf internationalen Druck hin führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufarbeitungsanlagen für fast alle Radionuklide stark reduziert wurden. Dies führt auch im Meerwasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an ^{137}Cs in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab und hat heutzutage nahezu die Hintergrundkonzentration des globalen Fallouts im Wasser des Nordatlantiks erreicht.

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Meerwasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegats ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Ausstrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für ^{137}Cs im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt jedoch auch hier die ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration deutlich ab.

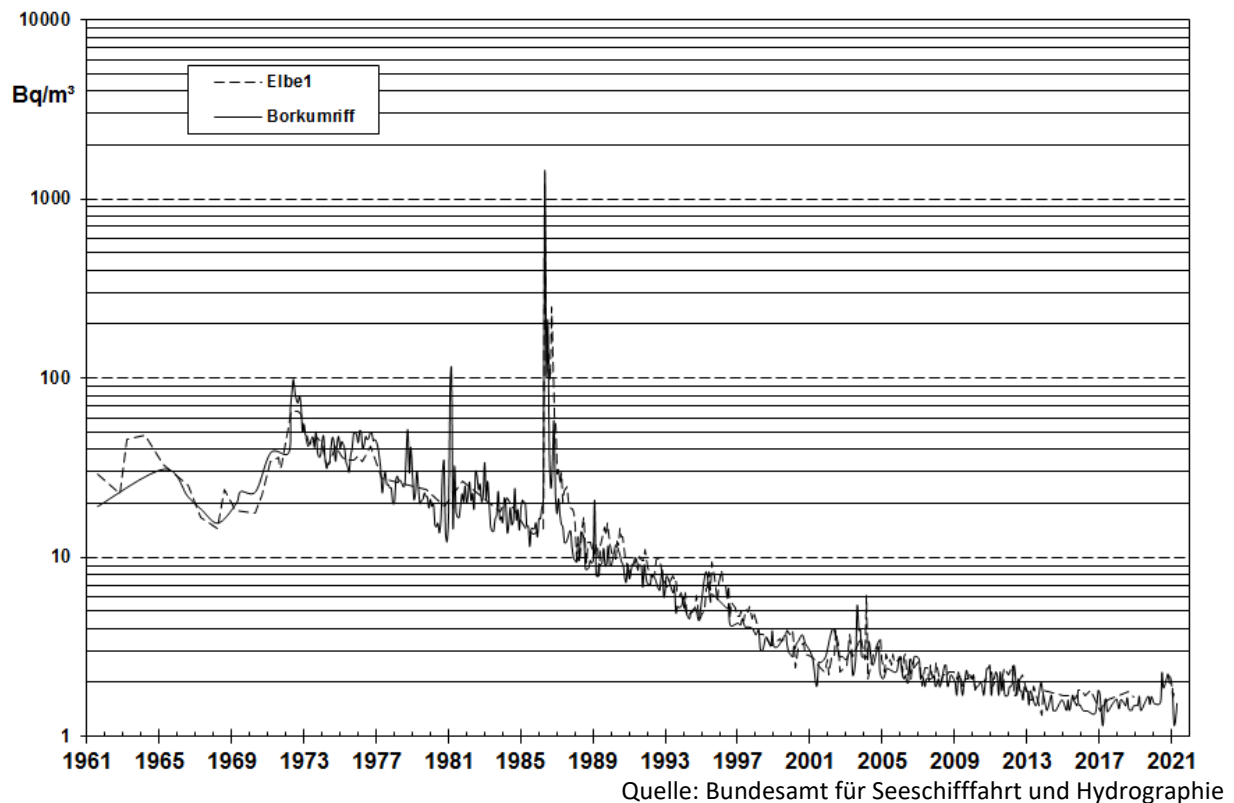


Abbildung 9.1
Zeitlicher Verlauf der ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration (Bq/m^3) an den Positionen der ehemaligen Feuerschiffe „Borkumriff“ und „Elbe 1“ in der Deutschen Bucht

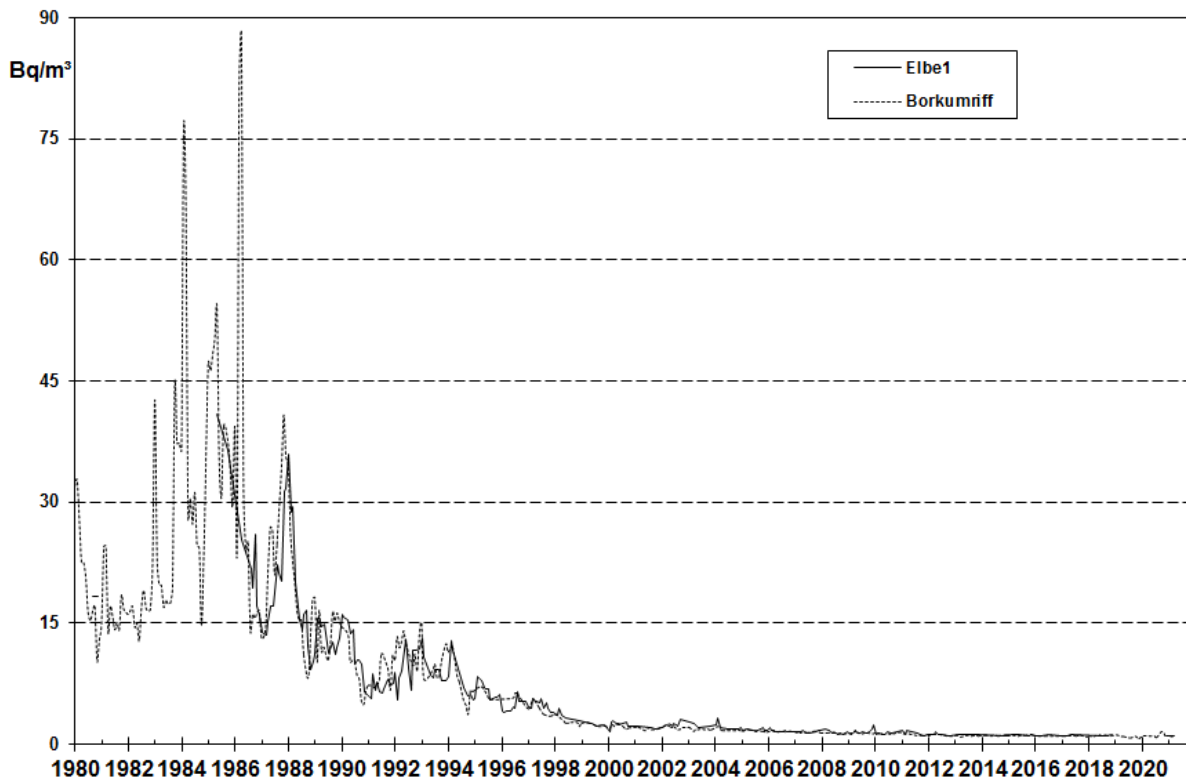
Meerwasser in der Nordsee

Die Probenentnahme zur Überwachung der Deutschen Bucht bzw. Nordsee erfolgte in den Jahren 2017 bis 2019 auf Fahrten im Januar und August. Zusätzlich werden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

Die Zeitreihen der Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr in den Abbildungen 9.1 und 9.2 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 lassen seit einigen Jahren nur noch sehr niedrige Werte erkennen. Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague nur noch sehr niedrige Ableitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentrationen nur noch geringfügig über den Kontaminationswerten des Oberflächenwassers des Atlantiks. Dieses ist im Wesentlichen durch die Reste des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests der sechziger Jahre gekennzeichnet. Ein Eintrag von ^{137}Cs aus der Elbe ist nicht zu erkennen. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristi-

schen Verhältnis der Radionuklide ^{134}Cs zu ^{137}Cs war in der deutschen Bucht bereits zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr zu messen. ^{134}Cs ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG ca. $0,3 \text{ Bq}/\text{m}^3$).

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Deutschen Bucht im Jahr 2017 (Abbildung 9.3) liegt zwischen $0,7 \text{ Bq}/\text{m}^3$ an der Elbemündung bis $2,6 \text{ Bq}/\text{m}^3$ in der äußeren Deutschen Bucht. Im Vergleich mit früheren Jahren sind die Konzentrationen von ^{137}Cs sehr niedrig. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle ist bei diesen geringen Werten kaum noch möglich. Dagegen ist die Aktivitätskonzentration von $4,9 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (Abbildung 9.4), die am Ausgang des Skagerrak nachzuweisen war, eindeutig dem Ausfluss aus der Ostsee zuzuordnen. Wie die Vergleichsprobe aus der Elbe bei Stade ($0,8 \text{ Bq}/\text{m}^3$) zeigt, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar. Die geringe Höhe der Einträge aus der Elbe ist darauf zurückzuführen, dass ^{137}Cs im Vergleich zu ^{90}Sr an den Tonmineralen der Böden stärker adsorbiert wird und deshalb über die Flüsse weniger eingetragen wird.



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.2

Zeitlicher Verlauf der ^{90}Sr -Aktivitätskonzentration (Bq/m^3) an den Positionen der ehemaligen Feuerschiffe „Borkumriff“ und „Elbe 1“ in der Deutschen Bucht

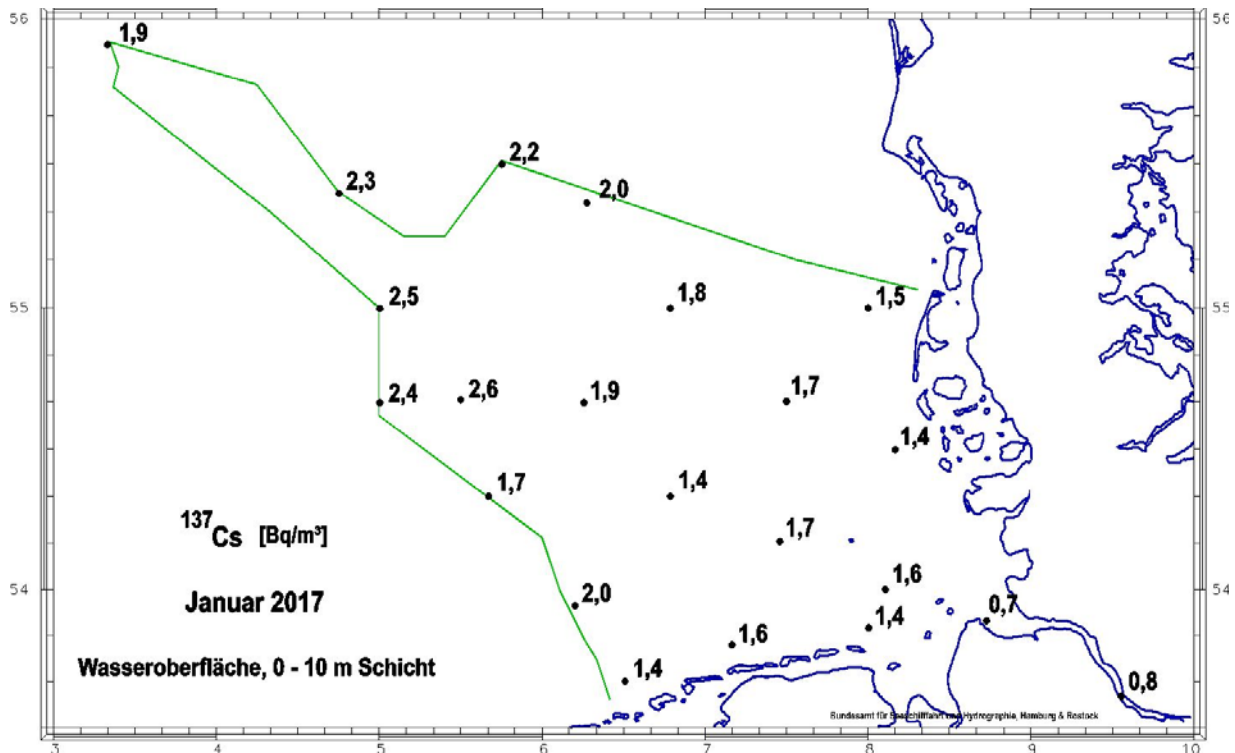
Meerwasser in der Ostsee

Die Ostsee erfuhr aus dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout. Der Schwerpunkt des Eintrages lag in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und – in geringem Maße – in der Lübecker Bucht. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit dem Welt-ozean dauert es Jahrzehnte, bis Schadstoffe aus der Ostsee entfernt werden. Dies ist seit über 30 Jahren auch mit dem ^{137}Cs aus Tschernobyl zu beobachten. Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee ausgetragen wird. In der dichteren Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Ozeanwassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids ^{137}Cs wider. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden wir meist etwas niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt. Besonders deutlich ist dies im Bereich des Großen Belts zu sehen. Aktuelle Berechnungen zeigen, dass das Vor-Tschernobyl-Niveau der ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration von $15 \text{ Bq}/\text{m}^3$ voraussichtlich zwi-

schen 2020 und 2030 wieder erreicht werden wird.

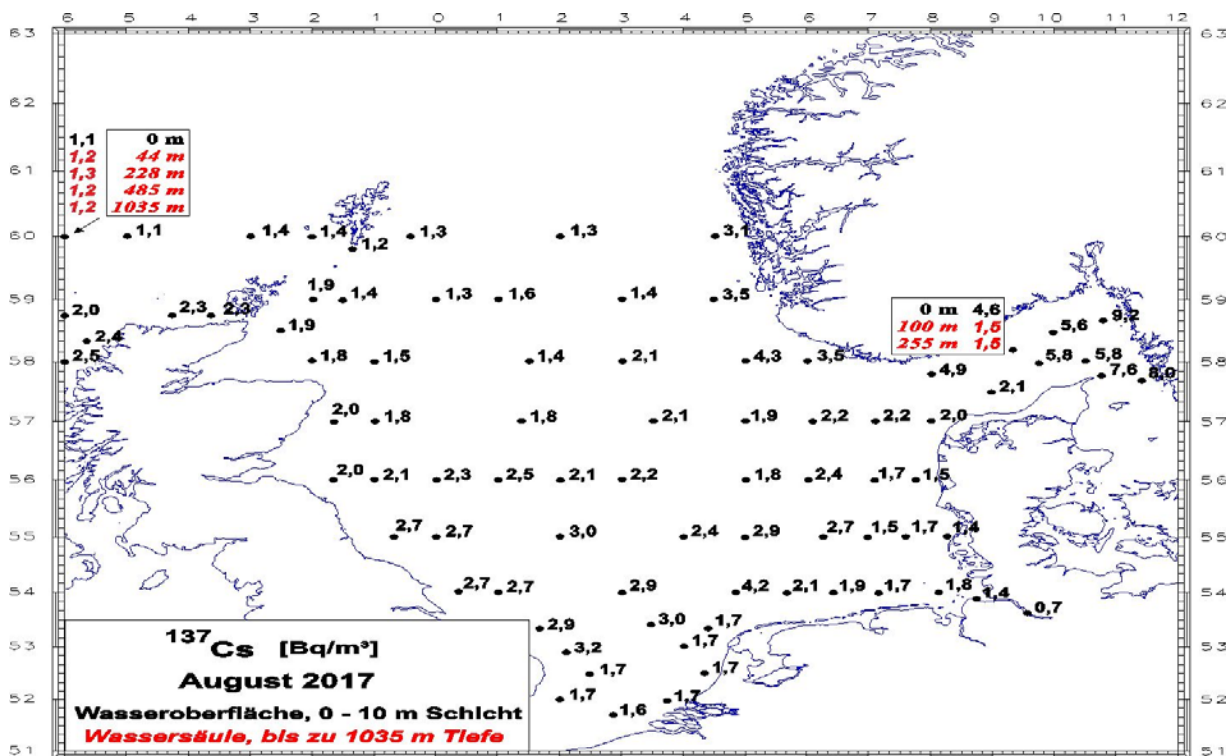
Abbildung 9.5 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und die höhere Konzentration des ^{137}Cs seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der ^{137}Cs -Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs an der Wasseroberfläche in der westlichen Ostsee lag in den Jahren 2017 und 2018 unter $20 \text{ Bq}/\text{m}^3$ im westlichen und über $20 \text{ Bq}/\text{m}^3$ im östlichen Teil des überwachten Gebietes (Abbildung 9.6 und 9.7). Die Konzentrationen nehmen nach Osten nach wie vor leicht zu – in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallouts. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, liegt sie immer noch um den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der Ostsee im



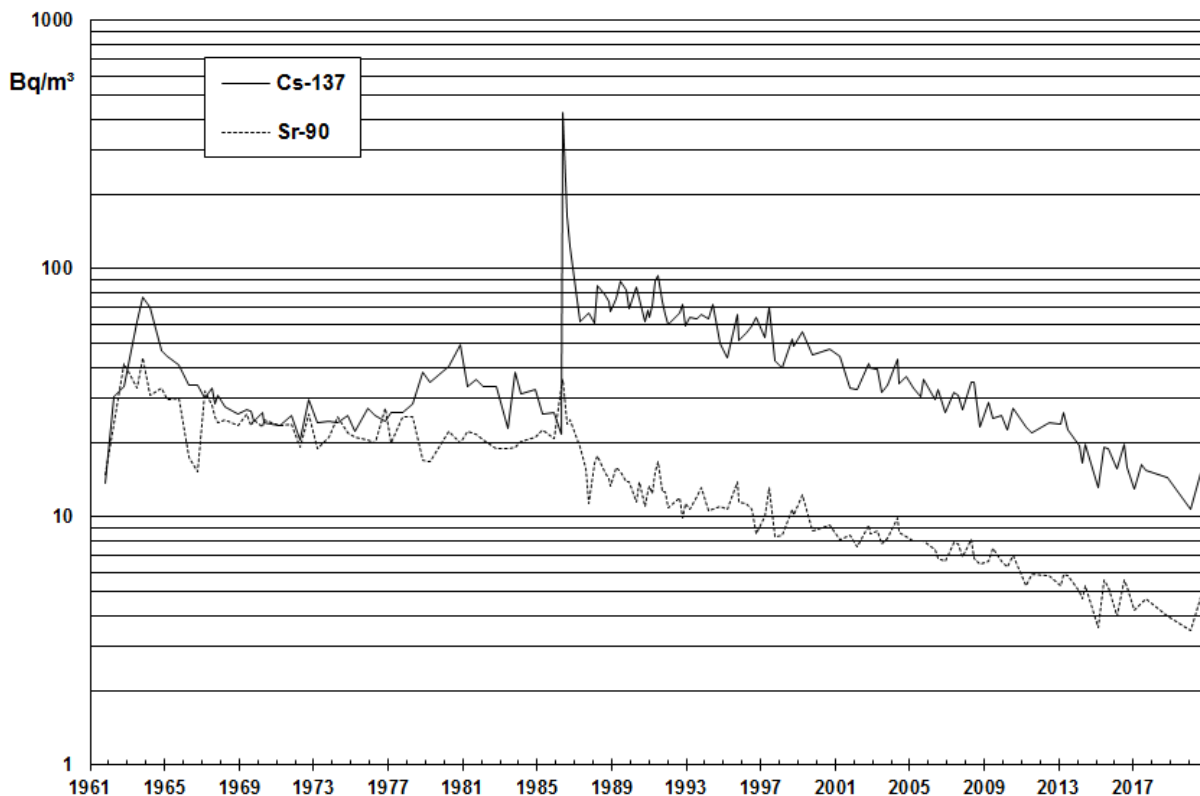
Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.3
Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Deutschen Bucht im Januar 2017



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.4
Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im August 2017 in der Nordsee



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.5
Zeitlicher Verlauf der ^{137}Cs - und ^{90}Sr -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Schleimündung“ ($54^\circ 40' \text{N}$, $010^\circ 05' \text{O}$) seit 1961

überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine große Homogenität der Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers durch den deutlich geringeren Gehalt von ^{137}Cs nachweisen. Dabei weisen die Proben im Bereich der Mecklenburger Bucht den größten Unterschied in der ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf.

Die Konzentrationen von ^{90}Sr liegen in der westlichen Ostsee im Jahr 2017 (Abbildung 9.8) zwischen $4,6 \text{ Bq}/\text{m}^3$ und $9,1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ und damit bis um den Faktor 5 höher als in der Deutschen Bucht. Die Quelle des ^{90}Sr ist nahezu ausschließlich der globale Fallout aus den sechziger Jahren. Die Kombination aus hoher Mobilität des ^{90}Sr mit dem sehr umfangreichen Einzugsgebiet der Ostsee und dem damit verbundenen hohen Süßwasserzufluss führen schon lange zu einem vergleichsweise höheren Gehalt an Radiostrontium.

Sedimente in der Nordsee

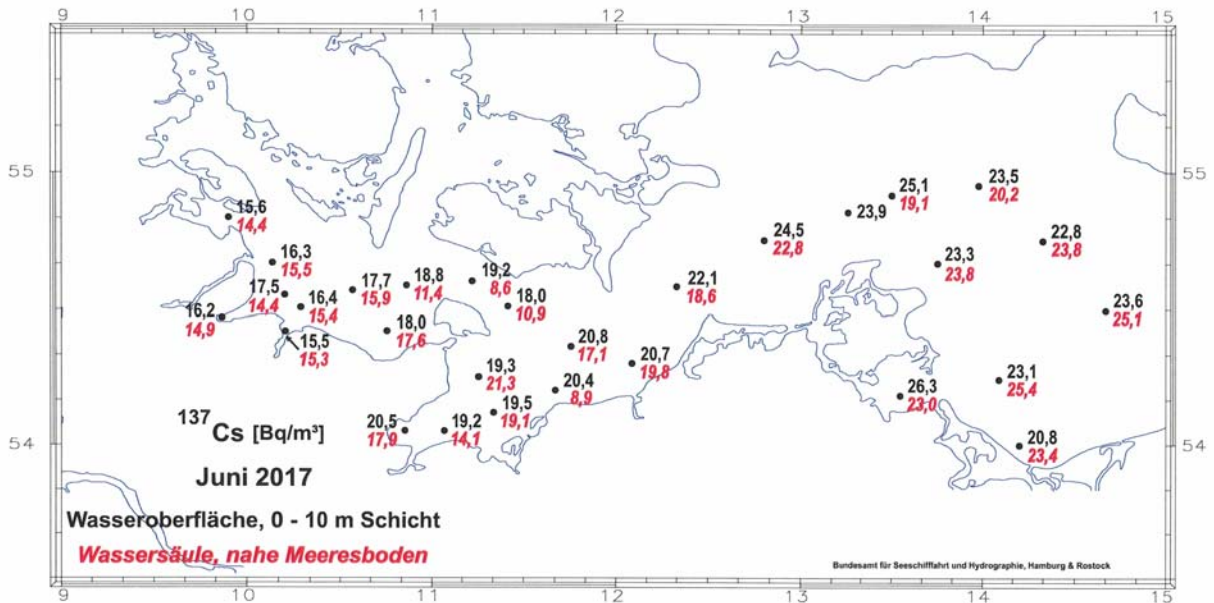
Die Sedimente der Nordsee sind zum überwiegenden Teil stark sandig, nur lokal finden sich

Schlickablagerungen, die nennenswerte Konzentrationen von Radionukliden beeinhalteten. Sedimentproben wurden im Berichtszeitraum an den üblichen Stationen der Deutschen Bucht entnommen. Auf Grund personeller Engpässe waren die Messergebnisse bis zum Redaktionsschluss nicht vollständig abgabebereit. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen keine auffälligen Werte.

Sedimente in der Ostsee

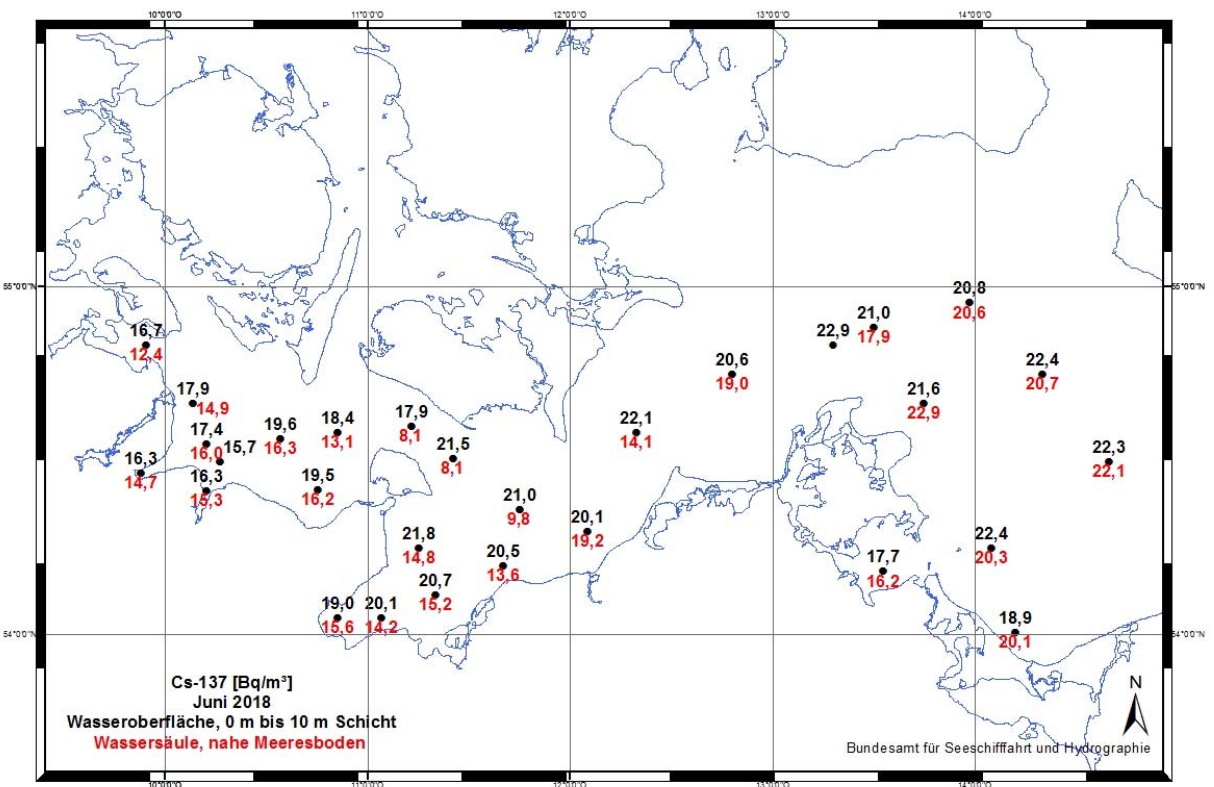
Das ^{137}Cs aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in verschiedenen Tiefen.

Das Inventar an ^{137}Cs betrug im Jahr 2017 zwischen $0,5 \text{ kBq}/\text{m}^2$ und $4,3 \text{ kBq}/\text{m}^2$, wobei die höchsten Werte in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden sind (Abbildung 9.9). Die Inventare hängen stark von der Körnigkeit der Sedimente und nicht direkt von den umgebenden Aktivitätskonzentrationen im Meerwasser ab.



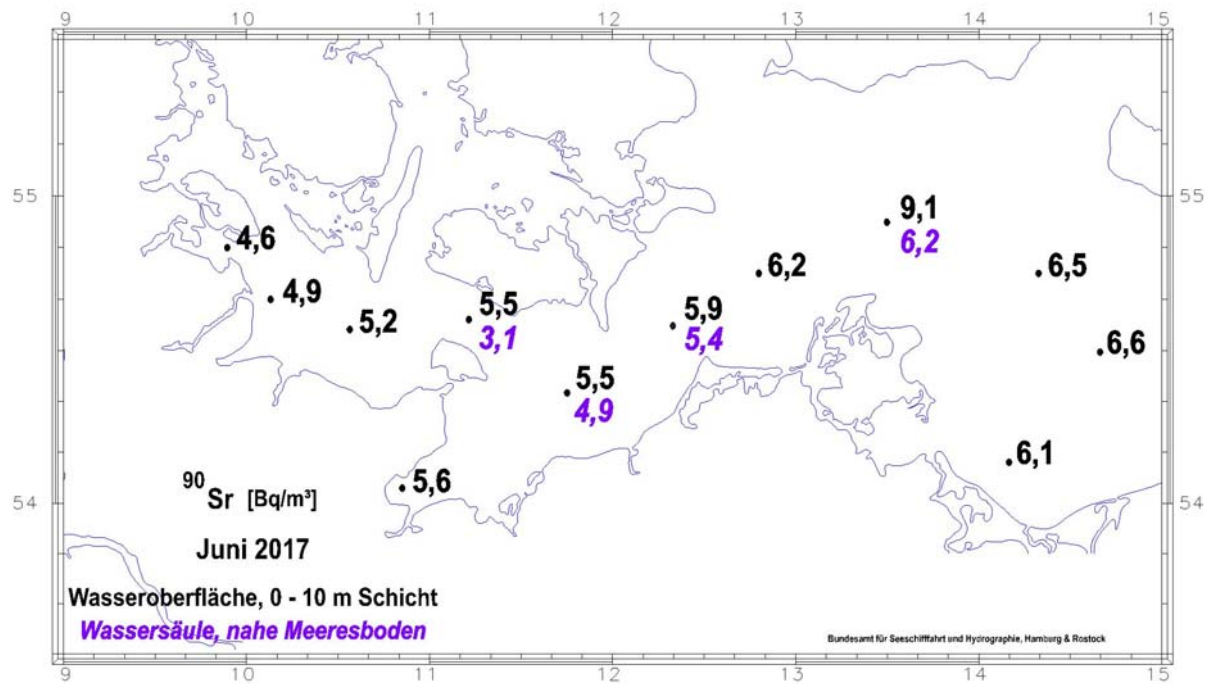
Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.6
Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs an der Wasseroberfläche und in der Wassersäule in der westlichen Ostsee



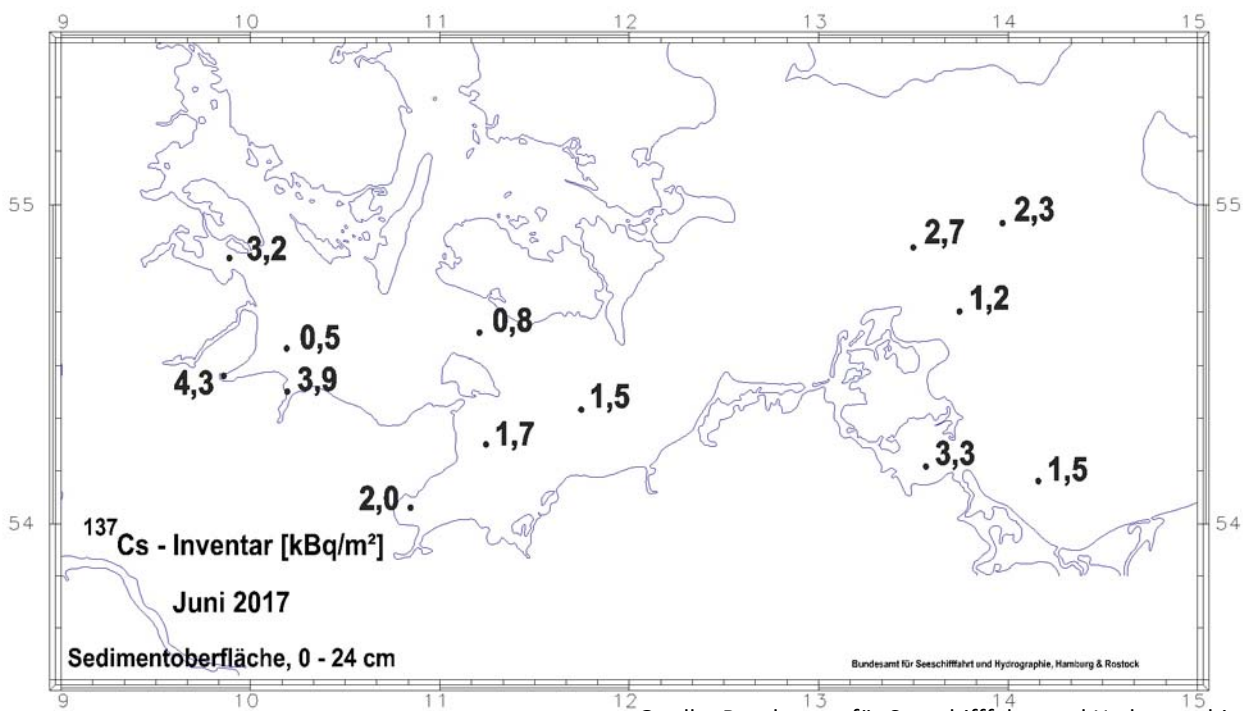
Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.7
Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs an der Wasseroberfläche und in der Wassersäule in der westlichen Ostsee



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.8
 Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr an der Wasseroberfläche und in der Wassersäule in der westlichen Ostsee im Juni 2017



Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Abbildung 9.9
 Inventar an ^{137}Cs im Meeressediment im Juni 2017