

3.3 Gewässer (Bodies of water)

3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer (Surface water, suspended matter, and sediment in inland waters)

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Im vorliegenden Beitrag wird über die Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das Jahr 2004 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen sind in Teil II Abschnitt 1.4.3 zusammengefasst und bewertet.

Zusammenfassungen der Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI können der Tabelle 3.3.1-1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 139 Gewässern - davon 69 Fließgewässer und 70 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt 15.570 Messwerten ausgewertet. Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte (JMW) der Aktivitätskonzentrationen berechnet und zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt: Tabelle 3.3.1-2 für Fließgewässer und Tabelle 3.3.1-3 für Seen bzw. Talsperren. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit "<" gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätskonzentrationen eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Tabelle "nn" angegeben.

Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Bühnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch eine Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwassersituationen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich, wofür die Schwebstoffe wiederum ein wichtiger Indikator sind.

Bei den in Binnengewässern derzeit im Wesentlichen nachweisbaren künstlichen Radionukliden handelt es sich um Tritium (H-3), Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137). H-3 stammt, neben einem natürlichen Anteil, aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotopen verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl in 1986 - hier insbesondere Cs-137 - in die Gewässer eingetragen. In geringerem Ausmaß treten die Aktivierungsprodukte Kobalt-58 (Co-58) und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen auf sowie sporadisch das kurzlebige Jod-131 (I-131) aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen der Konzentrationen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 3.3.1-1 bis 3.3.1-4 beispielhaft aufgezeigt.

Bewertung

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2004 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des Routinemessprogramms (RMP) von 10 Bq/l auf. Bei Flüssen, in die aus kerntechnischen Anlagen H-3 eingeleitet wurde, betragen die Jahresmittelwerte bis ca. 32 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzenvorgaben des RMP. Die von

kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren – von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. Lediglich Co-60 wurde in der Ems in geringfügigen Konzentrationen von unter 0,01 Bq/l gemessen. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,06 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für Uran-234 (U-234), U-235 und U-238 durchweg mittlere Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen 0,0003 und 0,07 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 konnten oberhalb der Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l nicht nachgewiesen werden.

In Schwebstoffen erreichte Cs-137 überwiegend mittlere Konzentrationen bis 100 (meist unter 50) Bq/kg TM. Von einzelnen Seen wurden - wie in den vergangenen Jahren – höhere Werte für Cs-137 berichtet, z. B. vom Steinhuder Meer 315 und vom Starnberger See 249 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 und Co-60 konnten in Ems, Mosel und Rhein gemessen werden. Die Jahresmittelwerte betragen unter 5 Bq/kg TM und lagen noch unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. Für I-131 wurden Einzelkonzentrationen von meist bis 50 Bq/kg TM gemessen; höhere Werte bis ca. 160 Bq/kg TM stammten von Neckar und Oldenburger Graben (Schleswig-Holstein).

In Sedimenten trat Cs-137 überwiegend in mittleren Gehalten bis 100 Bq/kg TM auf. In einzelnen Seen lagen auch hier immer noch höhere mittlere Konzentrationen an Cs-137 vor: z. B. im Schollener See (Sachsen-Anhalt) 223, in der Aabach-Talsperre (Nordrhein-Westfalen) 200 und im Lanker See (Schleswig-Holstein) 198 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten aus Ems, Jadebusen, Mosel und Rhein in mittleren Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit deutlich die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

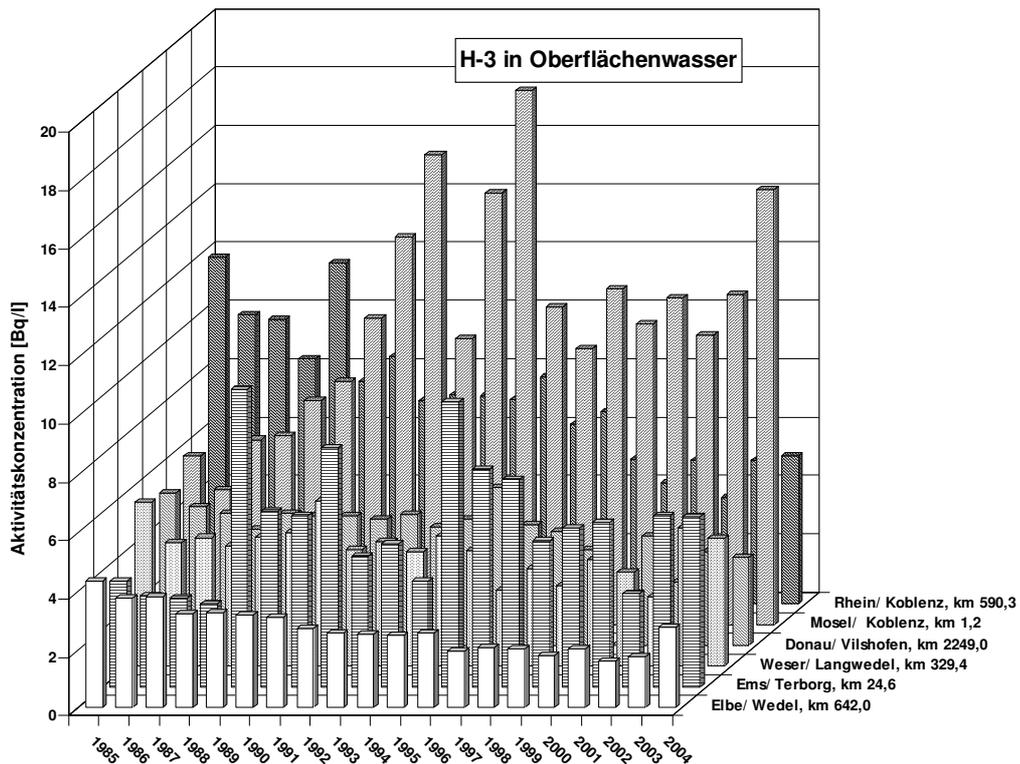
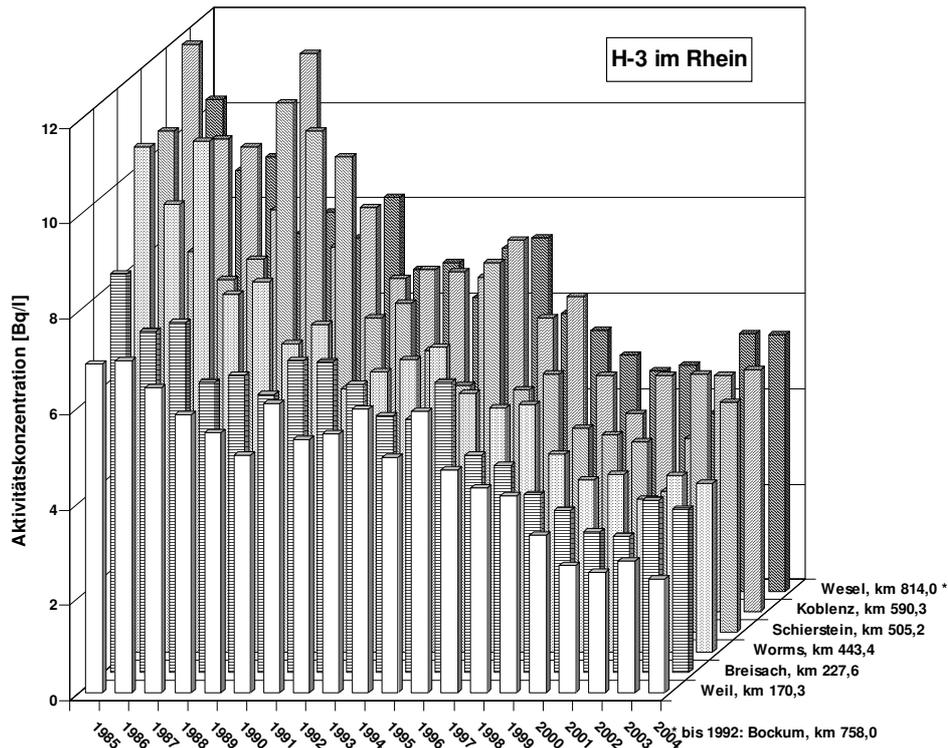
Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2004 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der Jahresmittelwerte der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden, die zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen können. In Sedimenten variieren die Radionuklidkonzentrationen – wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung. Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

Strahlenexposition

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können über die für den aquatischen Bereich sensitiven Expositionspfade "Trinkwasser" und "Aufenthalt auf Spülfeldern" eine interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken.

Nimmt man eine Kontamination von Oberflächenwasser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem "Trinkwasser"-Pfad zu ca. 0,21 μ Sv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (\leq 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 μ Sv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid Kalium-40 (K-40) für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 μ Sv/a deutlich darüber.

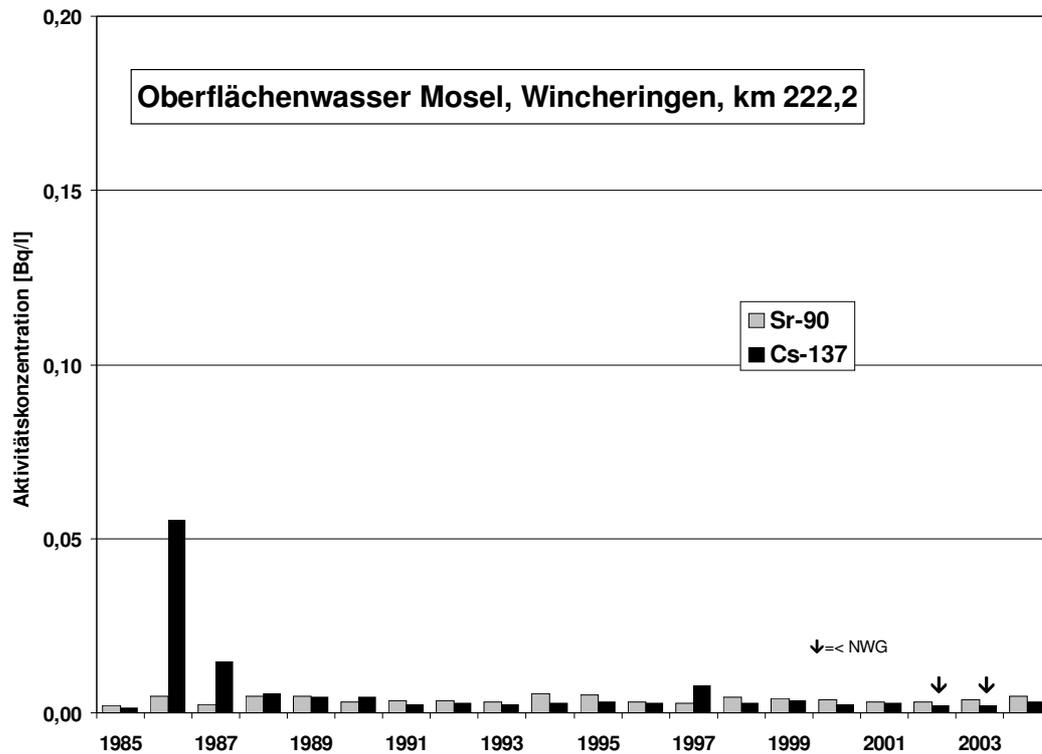
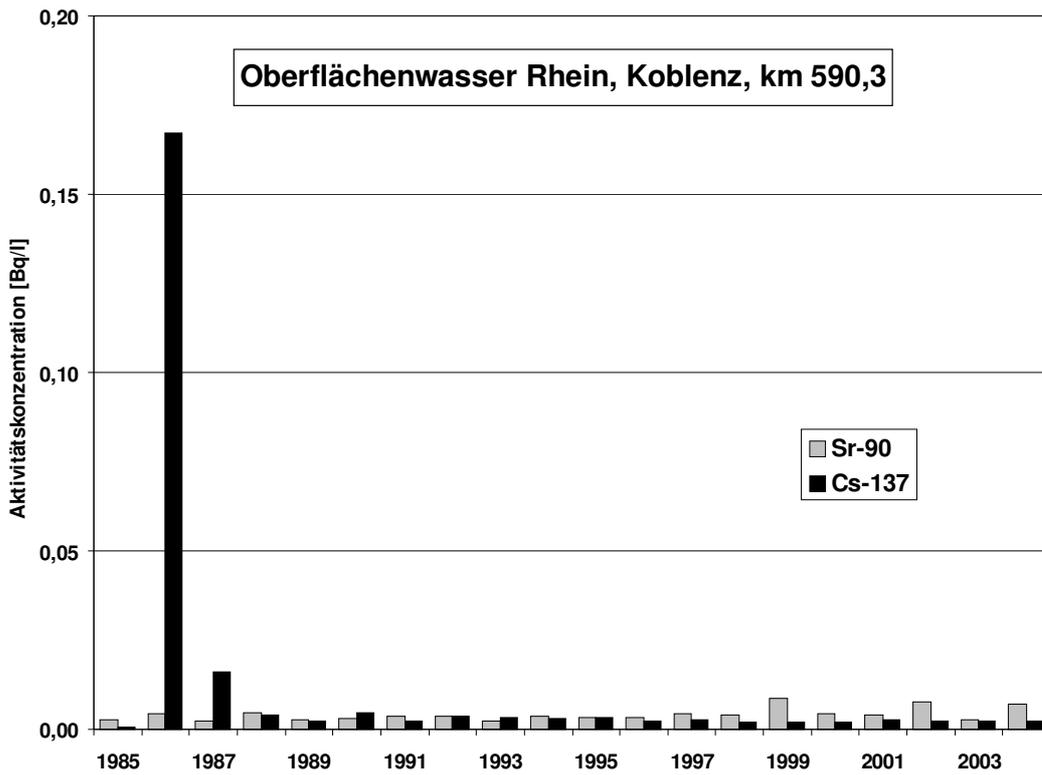
Insbesondere Cs-137 war auch 2004 noch in Sedimenten deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau noch mittlere Cs-137-Gehalte von 108 Bq/kg TM gemessen werden. Würde dieses Sediment bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad "Aufenthalt auf Spülfeldern" für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11,5 μ Sv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag für diesen Expositionspfad der natürlichen Radionuklide K-40, Thorium-nat (Th-nat) und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM mit insgesamt ca. 28 μ Sv/a wesentlich höher.



BfG

Tritiumgehalte [Bq/l] in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
 (Jahresmittelwerte)
 (Contents of Tritium [Bq/l] in surface water fom selected inland waters - annual
 mean values)

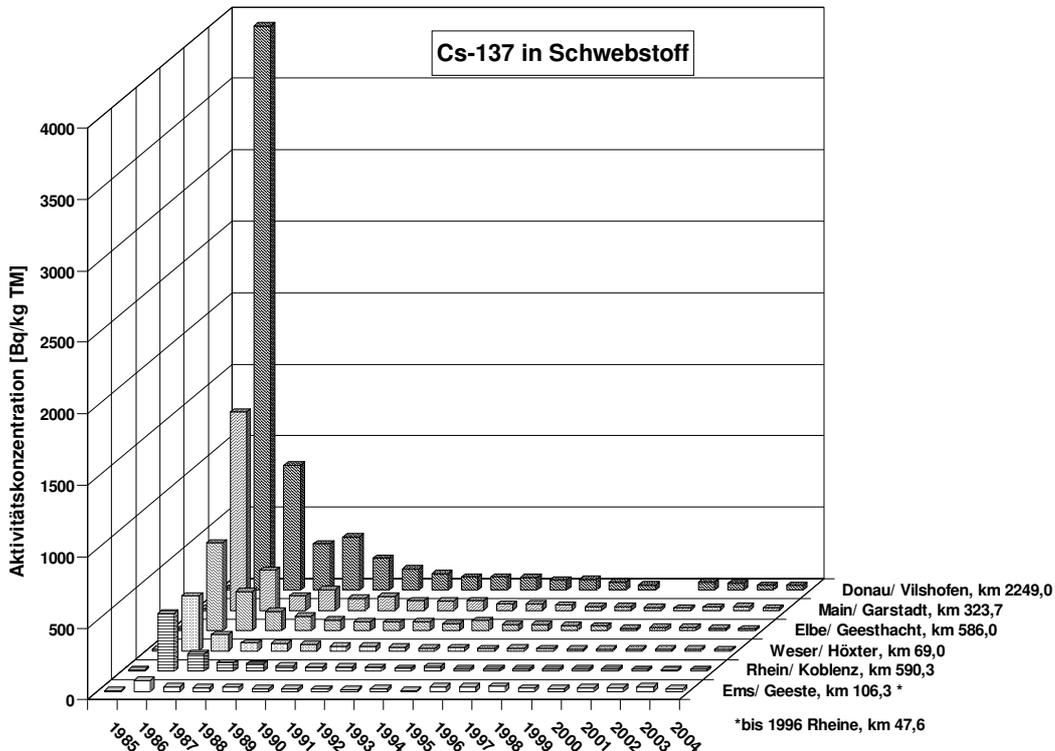
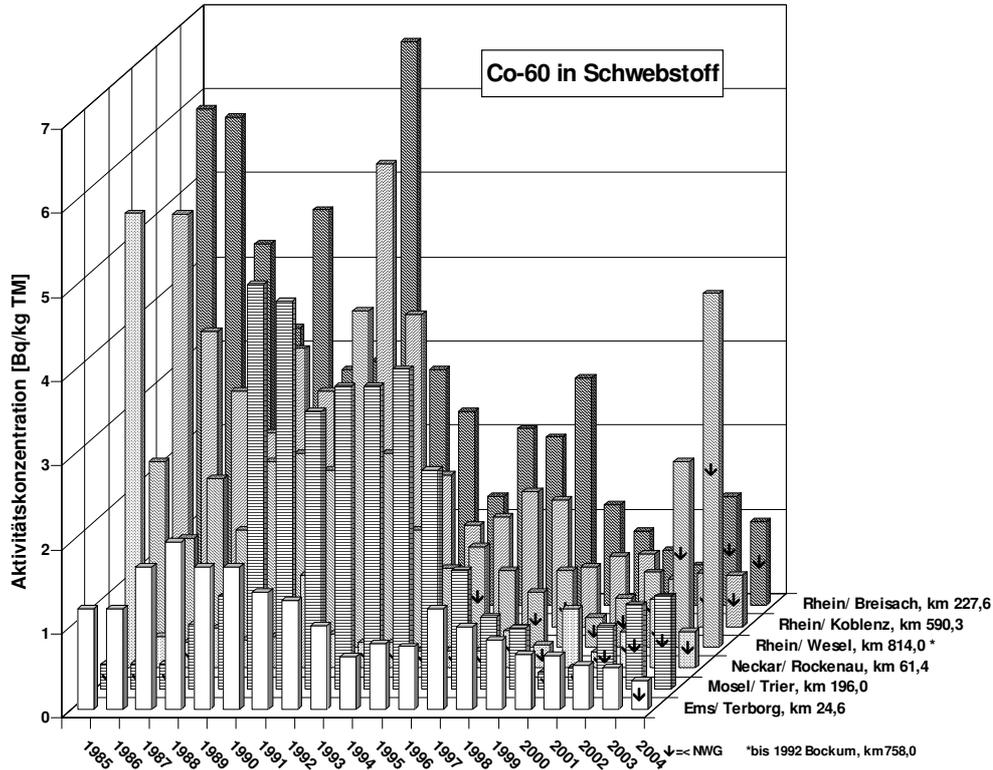
3.3.1-1



BfG

Aktivitätskonzentrationen von Strontium-90 und Cäsium-137
in Rhein und Mosel (Jahresmittelwerte)
(*Strontium-90 and cesium-137 activity concentrations in the rivers Rhine and
Mosel - annual mean values*)

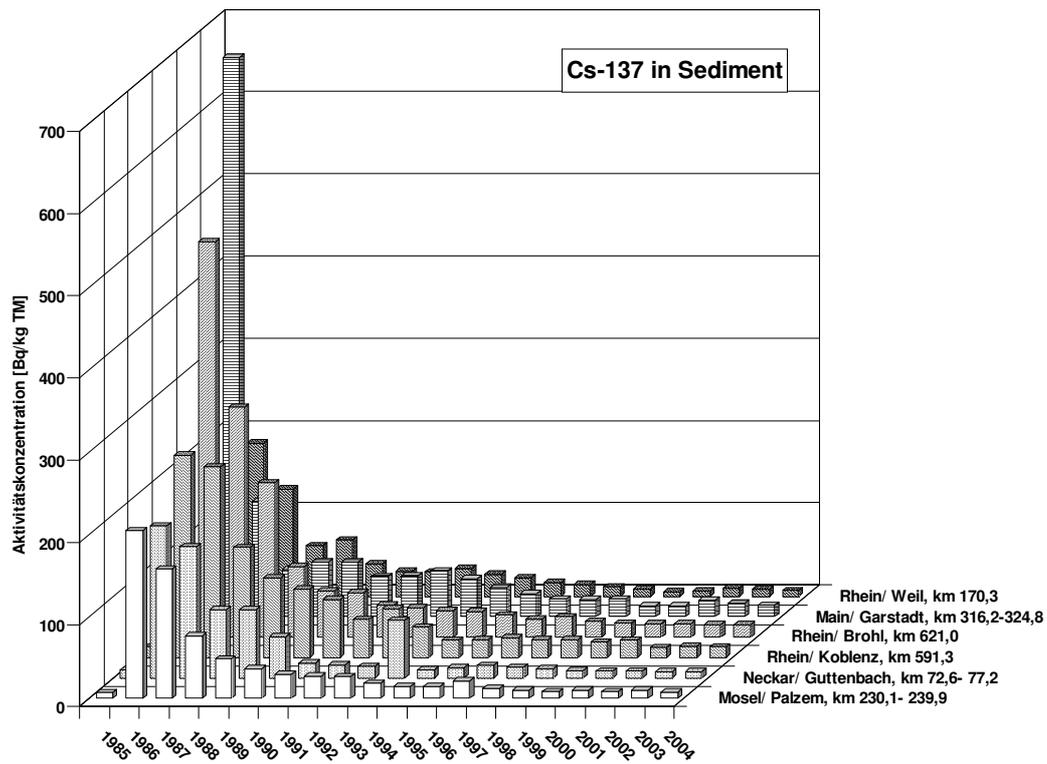
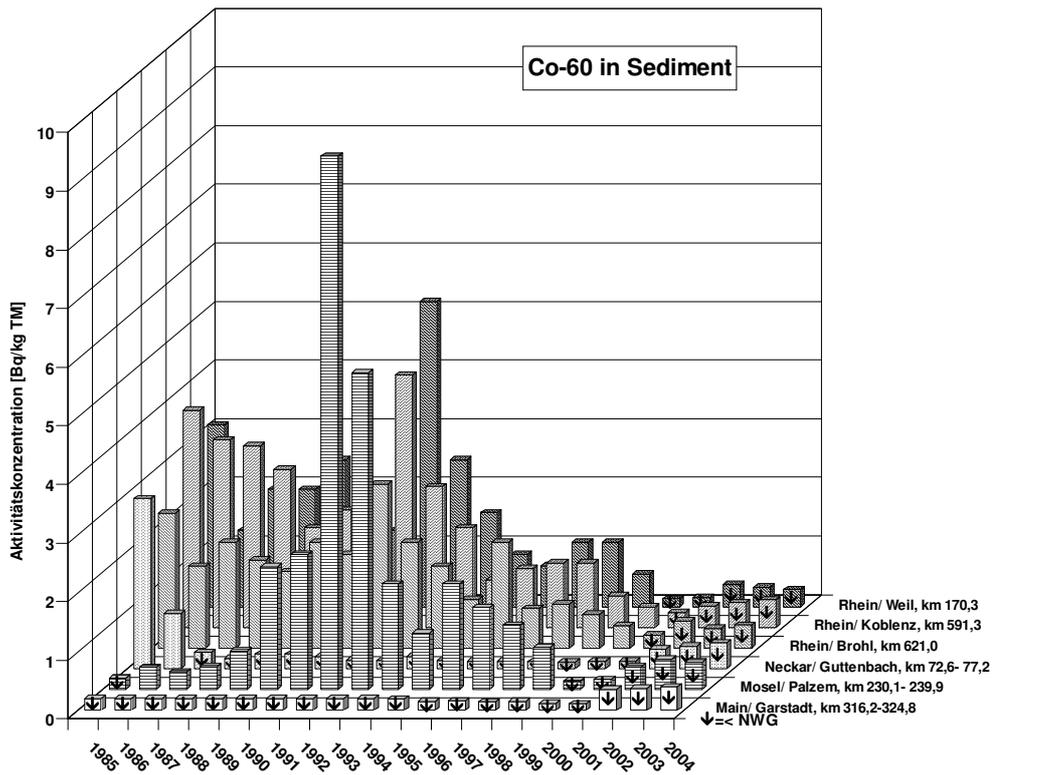
3.3.1-2



BfG

Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

3.3.1-3



BfG

Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

3.3.1-4

Tabelle 3.3.1-1 Übersicht über die für 2004 insgesamt ausgewerteten Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI
(Overview of all measuring results for water, suspended matter, and sediment evaluated in 2004, in accordance with the StrVG and REI)

Kompartiment	Nuklid	Anzahl der Werte	Max. Messwert	Gewässer	Ort/KT-Anlage	Datum/Zeitraum
Oberflächenwasser Bq/l	G α -Aktivität	173	0,67	Ems, km 24,64	Terborg	August
	G β -Aktivität	80	8,7	Salzbach	Endlager Morsleben	Juni
	H-3	1608	6500	Ems	KKW Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Co-60	1634	0,02	Hauptentwässerungs- kanal	FZ Jülich	Juni
	Sr-90	315	0,040	Möhne-Stausee	Möhnesee	12.5.
	I-131	340	0,06	Rur	FZ Jülich	5.7.
	Cs-137	1493	0,091	Arendsee	Arendsee	10.8.
	Übrige	3710	-	-	-	-
Schwebstoff Bq/kg TM	Co-58	88	10,1	Rhein, km 172,97	Weil	Dezember
	Co-60	555	8,3	Mosel	Perl, km 241,96	März
	I-131	185	157	Oldenburger Graben und Neckar, km 208,0	Göhl	28.1.
	Cs-137	554	330	Steinhuder Meer	Wendlingen Wunstorf	I. Quartal IV. Quartal
	Übrige	2330	-	-	-	-
Sediment Bq/kg TM	G α -Aktivität	2	650	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal
	G β -Aktivität	2	1300	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal
	Co-58	107	2,9	Rhein	KKW Philippsburg, Auslaufbauwerk	Juni
	Co-60	1211	45	Hauptentwässerungs- kanal Donau, km	FZ Jülich	5.10.
	Cs-137	1210	314	2297,5	Bad Abbach	Mai
	Am-241	12	3,59	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	1.10.
	Übrige	4830	-	-	-	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.3.1-2 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG
(Monitoring of surface waters, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration				
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte		
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003	
RHEIN									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	1,38	5,86	2,37	2,76	
		Koblenz, km 590,3	12	0	3,11	6,98	5,07	4,94	
		Wesel, km 814,0	12	0	3,53	7,33	5,38	5,39	
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	0	0,0023	0,0071	0,0043	0,0036	
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0042	0,0103	0,0069	0,0027	
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0047	0,0067	0,0057	0,0062	
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	6	<0,0012	0,0064	<0,0026	0,0031	
		Koblenz, km 590,3	12	2	0,0012	0,0053	0,0025	0,0025	
		Wesel, km 814,0	12	10	<0,0011	<0,0032	<0,0020	0,0037	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	8	0	1,03	10,1	4,6	11,9	
		Koblenz, km 590,3	6	0	1,22	1,76	1,42	0,60	
	Co-60	Weil, km 172,97	12	7	<0,23	<4,41	<1,51	<3,34	
		Koblenz, km 590,3	11	6	<0,37	<0,91	<0,61	<0,64	
		Wesel, km 814,0	9	9	<1,76	<9,43	nn	nn	
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	2,27	34,4	11,6	15,8	
		Koblenz, km 590,3	11	0	9,13	15,5	11,1	10,2	
		Wesel, km 814,0	9	0	10,1	23,9	14,5	11,3	
	I-131	Weil, km 172,97	6	2	<2,82	26,6	12,9	-	
		Koblenz, km 590,3	8	0	4,87	63,9	23,3	20,9	
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	1	0	0,26	0,26	0,26	0,37
		Co-60	Weil, km 170,3	24	18	<0,21	<0,38	<0,29	<0,33
Worms, km 444,50-446,60			33	32	<0,14	<0,70	<0,30	<0,33	
Koblenz, km 591,3			3	3	<0,42	<0,52	nn	<0,42	
Cs-137		Düsseldorf, km 740,3-748,9	20	20	<0,20	<0,83	nn	nn	
		Weil, km 170,3	24	0	5,9	10,4	7,5	9,0	
		Worms, km 444,50-446,60	33	3	<0,19	12,9	3,1	7,0	
		Koblenz, km 591,3	3	0	12,3	14,1	13,2	13,9	
Düsseldorf, km 740,3-748,9		20	0	4,7	15,7	10,9	13,7		
NECKAR									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	8,91	51,0	20,5	26,9	
		Rockenau, km 61,4	11	0	4,41	29,5	15,7	16,8	
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	0	0,0019	0,0089	0,0043	0,0039	
		Rockenau, km 61,4	4	1	0,0040	0,0084	0,0057	0,0022	
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	7	<0,0012	0,0040	<0,0021	<0,0024	
Rockenau, km 61,4		12	6	<0,0012	0,0032	<0,0020	<0,0023		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	8,82	11,2	10,3	11,5	
		Rockenau, km 61,4	4	0	5,44	10,2	7,2	9,2	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	14	0	3,52	32,6	9,7	10,6	
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	0	2,52	21,8	11,0	24,0	
		Guttenbach, km 72,0-77,0	15	0	0,81	18,1	7,6	7,4	
MAIN									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	1,95	16,9	7,0	8,5	
		Eddersheim, km 15,3	9	0	1,41	13,5	4,7	5,3	
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0028	0,0086	0,0055	0,0041	
		Eddersheim, km 15,3	2	0	0,0046	0,0077	0,0062	0,0044	
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	7	<0,0012	0,0030	<0,0021	0,0028	
		Eddersheim, km 15,3	8	4	<0,0011	0,0064	<0,0023	0,0036	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	3	0	28,3	34,1	31,5	29,1	
		Garstadt, km 323,7	3	0	14,2	18,9	16,2	25,1	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	6,36	14,2	9,7	14,7	
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	0	1,68	59,7	14,0	16,6	

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	11	0	20,3	45,2	31,7	25,8
		Koblenz, km 1,2	10	0	8,37	20,0	14,9	11,3
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0019	0,0088	0,0048	0,0037
		Koblenz, km 1,2	4	0	0,0032	0,0105	0,0071	0,0051
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	11	5	<0,0011	0,0062	0,0029	<0,0022
		Koblenz, km 1,2	11	6	<0,0014	0,0045	<0,0022	<0,0021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	4	0	0,63	1,57	1,10	1,07
		Co-60	Perl, km 241,96	12	2	<0,61	8,30	2,66
	Cs-137	Trier, km 196,0	12	6	<0,66	1,69	<1,11	nn
		Perl, km 241,96	12	0	11,0	19,9	14,6	18,9
	I-131	Trier, km 196,0	12	0	11,1	22,3	14,3	14,9
		Perl, km 241,96	11	0	10,7	112	37	22,2
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	18	11	<0,17	<0,67	<0,34	<0,43
		Trier, km 184,1-196,1	24	21	<0,25	<0,72	<0,44	<0,47
		Koblenz, Güls km 4,05	2	2	<0,334	<0,534	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	18	0	1,06	45,7	8,5	9,0
		Trier, km 184,1-196,1	24	0	5,08	17,7	10,6	12,4
		Koblenz/Güls, km 4,05	2	0	8,70	9,43	9,06	66
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	10	0	1,21	1,73	1,37	1,52
	Sr-90		3	0	0,0032	0,0071	0,0058	0,0057
	Cs-137		8	6	0,0013	0,0044	<0,0026	<0,0035
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	0	16,0	23,8	19,7	22,1
DONAU								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	0	1,70	3,08	2,09	2,29
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	2,33	3,81	3,03	3,22
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	4	0	0,0021	0,0113	0,0068	0,0042
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0022	0,0070	0,0049	0,004
	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	3	<0,0044	0,0117	<0,0070	nn
Geisling, km 2354,28		11	6	<0,0012	0,0039	<0,0020	<0,0022	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Vilshofen, km 2249,0	12	4	<0,0012	0,0049	0,0030	0,0029
		Ulm-Wiblingen 2590,8	2	0	115	152	134	122
		Regensburg, km 2381,3	4	0	44,2	50,9	48,7	48,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Vilshofen, km 2249,0	10	0	23,9	42,5	33,4	33,5
		Ulm-Wiblingen 2590,8	4	0	53,9	126	101	109
		Regensburg, km 2379,1-2381,3	5	0	4,48	196	108	48,7
		Straubing, km 2326,65	2	0	34,2	58,1	46,2	37,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Grünau, km 2205,5	2	0	14,4	14,6	14,5	18,5
ISAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	2	1,07	<5,20	<3,22	1,33
		Platting, km 9,1	4	4	<5,20	<5,20	nn	<7,3
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0055	<0,0072	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	0,0043	0,0060	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	18,7	31,1	23,8	26,4
		Platting, km 9,1	4	0	47,8	75,6	64,7	69,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	3	0	29,5	30,2	29,8	27,2
		Platting, km 9,1	4	0	18,0	34,1	29,6	17,7
EMS								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,63	73,9	14,1	12,7
		Terborg, km 24,64	12	0	1,77	15,2	5,8	5,9
	Co-60	Terborg, km 24,64	10	2	<0,0017	0,0069	0,0042	0,0037
		Geeste, km 106,3	4	0	0,0048	0,0106	0,0063	0,0051
	Sr-90	Terborg, km 24,64	3	0	0,0080	0,0335	0,0203	0,0066
		Geeste, km 106,3	12	3	<0,0013	0,0154	0,0042	<0,0032
	Cs-137	Terborg, km 24,64	10	0	0,0066	0,0627	0,0289	0,0225

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,393	<1,18	nn	nn
		Terborg, km 24,64	4	2	0,29	0,47	<0,35	0,503
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	17,4	20,0	18,7	31,3
		Terborg, km 24,64	4	0	2,95	3,78	3,36	3,91
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	4	3	0,50	<0,99	<0,85	0,76
	Cs-137	Herbrum, km 212,75	4	0	6,34	12,3	9,2	6,17
WESER / UNTERWESER/ JADEBUSEN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,24	21,3	7,4	8,5
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,39	11,6	4,4	4,7
		Blexen, km 430,00	8	0	1,99	7,07	4,62	5,0
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	0	0,0033	0,0054	0,0042	0,0043
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0029	0,0077	0,0054	0,0046
		Blexen, km 430,0	3	0	0,0059	0,0131	0,0087	0,0040
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	4	<0,0015	0,0052	0,0030	0,0036
		Langwedel, km 329,4	12	4	0,0013	0,0035	0,0021	<0,0021
		Blexen, km 430,0	6	0	0,0037	0,0069	0,0057	0,0075
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	6,76	12,9	9,7	11,4
		Langwedel, km 329,4	11	0	12,2	16,6	14,3	12,4
		Wilhelmshaven/Jadebusen	2	1	<3,01	3,25	<3,13	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	9,59	12,0	10,7	9,0
		Bremen, km 373,97	2	0	10,4	17,5	14,0	-
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	9	0	2,44	5,21	3,54	2,13
		Tangermünde, km 389,10	8	0	1,82	5,06	2,89	1,67
		Geesthacht, km 586,0	10	0	1,73	6,18	2,99	1,58
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	1,22	2,16	1,65	1,48
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	3,75	4,34	4,13	3,53
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0042	0,0053	0,0047	0,0046
		Tangermünde, km 389,10	2	0	0,0050	0,0068	0,0059	0,0061
		Geesthacht, km 586,0	3	0	0,0048	0,0072	0,0062	0,0031
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0035	0,0048	0,0043	0,0033
		Cuxhaven, km 724,5	1	1	0,0079	0,0079	0,0079	0,0037
	Cs-137	Dresden, km 58,0	9	5	<0,0011	0,0052	<0,0022	<0,0033
		Tangermünde, km 389,10	7	3	0,0014	0,0125	0,0046	0,0060
		Geesthacht, km 586,0	9	5	<0,0011	0,0065	<0,0027	<0,0020
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0021	0,0058	0,0034	0,0036
		Cuxhaven, km 724,5	4	1	0,0029	0,0116	0,0065	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	20,1	29,4	24,7	21,3
		Geesthacht, km 586,0	4	0	8,87	15,4	12,6	14,9
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	9,88	25,0	14,7	-
		Cuxhaven, km 724,5	2	0	0,30	0,37	0,33	0,51
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	0	20,0	30,6	24,7	8,2
		Tangermünde, km 389,1	10	0	7,48	93,8	29,8	-
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	21,1	57,0	34,2	68
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	0	1,00	1,44	1,24	1,25
		Hohensaaten, km 667,5	1	0	1,22	1,22	1,22	-
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	0	0,0045	0,0114	0,0082	0,0063
		Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	6	<0,0014	<0,0119	<0,0033
		Hohensaaten, km 667,5	1	1	<0,0016	<0,0016	nn	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	18,1	31,5	24,0	28,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	1	0	30,7	30,7	30,7	-
		Hohensaaten, km 667,5	6	0	1,64	33,6	22,5	28,4

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,18	<3,70	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	0	0,77	1,13	0,95	1,07
	Sr-90 Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	0	0,0032	0,0082	0,0053	0,0041
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0014	0,0017	0,0016	0,0020
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	11	5	<0,0011	0,0030	0,0022	0,0032
Schwebstoffe (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	10	0	20,6	34,2	25,0	32,6
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	1,5	13,0	6,3	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	13,0	22,0	17,0	12,7
HAVEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,69	1,28	1,13	1,21
			4	0	0,0046	0,0164	0,0097	0,0042
			12	4	<0,0017	0,0082	0,0047	0,0050
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	8	0	51,4	76,0	63,3	69
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	9	0	28,8	51,3	37,3	37,3
SAALE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	11	0	1,02	1,44	1,22	1,14
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,56	<4,01	nn	nn
	Sr-90 Cs-137	Merseburg, km 104,5	4	0	0,0034	0,0087	0,0070	0,0086
		Camburg, km 187,0	4	0	0,0039	0,0079	0,0057	0,0042
		Merseburg, km 104,5	11	4	<0,0011	0,0048	0,0026	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	8	0	9,06	13,9	11,9	11,2
		Camburg, km 187,0	4	0	23,8	40,7	30,4	20,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 105,5	10	0	7,21	14,8	10,2	7,4
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	22,7	30,8	25,0	-
PEENE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Anklam, km 96,1	11	0	0,93	1,42	1,17	1,17
			4	0	0,0039	0,0086	0,0056	0,0063
			11	5	<0,0016	0,0052	0,0037	0,0030
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	5	0	32,6	51,1	39,4	31,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	9	0	23,2	39,9	30,3	38,5
TRAVE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Travemünde, km 26,9	10	0	1,14	1,75	1,48	1,51
			4	0	0,0024	0,0096	0,0063	0,0037
			9	0	0,0036	0,0220	0,0105	0,0210
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	28,8	54,6	43,8	41,4
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	1,30	1,98	1,59	1,44
			4	0	0,0064	0,0158	0,0089	0,0030
			12	0	0,0047	0,0295	0,0115	0,0207
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	30,0	44,0	34,7	42,0

nn nicht nachgewiesen / nicht nachweisbar
- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.3.1-3 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG
(Monitoring of surface waters, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
BADEN-WÜRTTEMBERG								
Bodensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Langenargen	8	8	<8,00	<8,0	nn	nn
			8	8	<0,0031	<0,0104	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	3,28	9,38	5,75	-
BAYERN								
Chiemsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seeon-Seebruck	4	2	1,05	<5,20	<3,17	1,41
			4	0	0,0036	0,0069	0,0056	0,009
			4	4	<0,0039	<0,0071	nn	<0,0041
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	38,7	74,5	56,2	64,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	1,78	14,7	10,9	13,7
Starnberger See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Starnberg	4	2	1,74	<5,20	<3,73	2,09
			4	0	0,0076	0,0116	0,0100	0,0074
			4	3	0,0039	0,0081	<0,0063	<0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	3	0	229	268	249	294
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	1,98	8,33	5,67	35,9
BERLIN								
Müggelsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	PE-Stelle41035	4	4	<2,20	<3,70	nn	nn
			4	0	0,0031	0,0046	0,0037	0,0051
			4	2	<0,0011	<0,0030	<0,0021	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	1	<1,6	12,0	9,1	2,70
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	15	79	47	34,6
Stössensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Siemenswerder	4	4	<2,19	<3,70	nn	nn
			4	0	0,0025	0,0047	0,0036	0,005
			4	0	0,0015	0,0032	0,0220	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	3,0	14,4	7,7	6,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	82	120	98	90
BRANDENBURG								
Stechlinsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Neuglobsow	4	4	<5,28	<6,81	nn	nn
			4	0	0,017	0,024	0,020	0,018
			4	0	0,007	0,010	0,009	0,008
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	2,9	18	13	10,6
Neuendorfer See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Alt-Schadow	4	4	<6,70	<9,40	nn	nn
			4	0	0,0037	0,0043	0,0041	0,0036
			4	3	<0,0033	0,0090	<0,0051	<0,0053
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	26	29	27	-

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	1,1	1,5	1,4	1,8
HESSEN								
Marbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,01	<0,01	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0070	<0,0122	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	17,5	20,9	19,2	23,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	19,5	23,5	21,4	20,1
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
Borgwallsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	3,49	<4,95	<4,41	nn
	Cs-137		4	1	0,0017	<0,0057	0,0246	<0,0040
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	7,22	15,0	10,7	12,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	3,2	25,8	10,5	15,8
SchwerinerSee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<4,60	<4,99	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,004	0,006	0,005	0,005
	Cs-137		4	0	0,0100	0,0109	0,0104	0,0124
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	53,9	107	86	81
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	21,8	38,9	29,6	31,4
NIEDERSACHSEN								
Sösetalsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	3	<1,10	<2,40	<1,73	1,15
	Sr-90		4	0	0,0007	0,0028	0,0015	0,0025
	Cs-137		4	4	<0,0005	<0,0009	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	27	57	43	41,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	49	95	69	61,8
Steinhuder Meer								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	2	0,86	<2,30	<1,69	1,75
	Cs-137		4	0	0,0043	0,0250	0,0116	0,0084
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	2	0	300	330	315	333
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	100	220	143	57,5
NORDRHEIN-WESTFALEN								
Möhne-Stausee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<10	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0398	0,0398	0,0398	0,0224
	Cs-137		4	4	<0,0039	<0,0062	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,0003	0,0008	<0,0004	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	4,47	12,6	7,9	8,26
RHEINLAND-PFALZ								
Laacher See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	3	1,7	3,5	<2,6	nn
	Cs-137		4	0	0,031	0,034	0,032	0,037

GEWÄSSER Umwelt- medium	Nuklid	Probenentnahmeort	Anzahl 2004		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2004		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2004	2003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	47	110	73	87
SACHSEN								
Talperre Pöhl								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Thoßfell	4 4	4 4	<6,3 <0,0050	<8,2 <0,0055	nn nn	<7,20 <0,0028
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	12,5	22,4	16,7	23,6
SACHSEN-ANHALT								
Arendsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4 4	4 0	<5,0 0,0548	<5,0 0,0911	nn 0,0685	nn 0,0795
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	15,3	67,8	34,4	81,1
SchollenerSee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollene	4 4	4 0	<5,0 0,0198	<5,0 0,0542	nn 0,0360	nn 0,0325
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	117	302	223	262
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
Schaalsee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seedorf	4 4 4	4 0 2	<10 0,010 <0,008	<10 0,012 0,013	nn 0,011 <0,011	nn 0,012 0,015
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	106	202	159	180
Wittensee								
Oberflächen- wasser(Bq/l)	H-3 Cs-137	Gr. Wittensee	4 4	4 4	<10 <0,007	<10 <0,013	nn nn	nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	0	12,1	23,0	15,4	15,4
THÜRINGEN								
Talperre Schmalwasser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Tambach-Dietharz	4 4	4 4	<3,29 <0,0064	<4,16 <0,0065	nn nn	nn nn

nn nicht nachgewiesen / nicht nachweisbar

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment (*Seawater, suspended matter, and sediment*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg

In diesem Kapitel wird der Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide der letzten Jahre beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cäsium-137 bzw. Cäsium-134, Strontium-90, Plutonium-239/240, Plutonium-238 und Americium-241 untersucht.

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 Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986,
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen 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 über einem Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk 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.

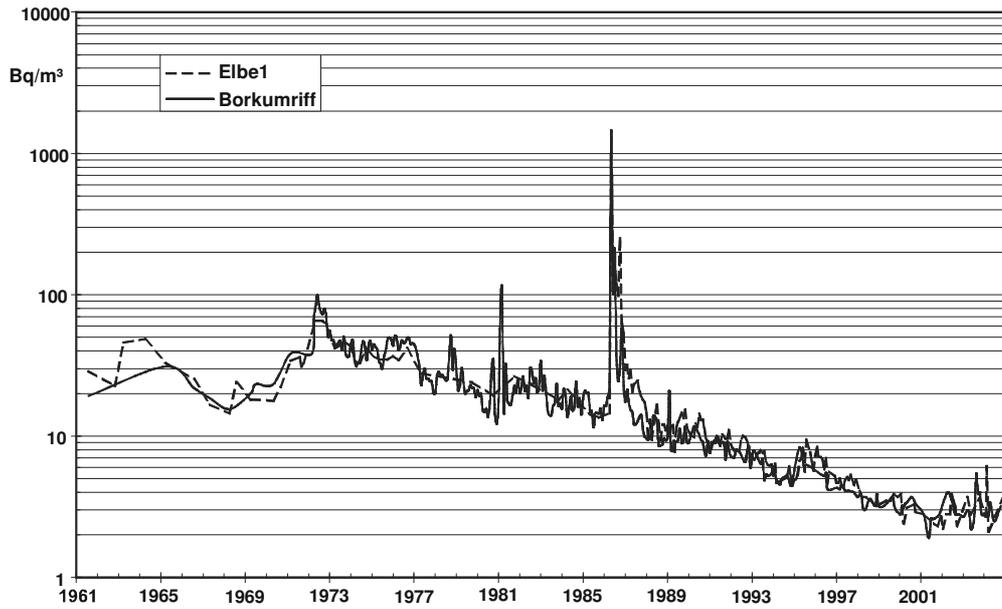
Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres kaum eine Rolle. Sie sind nur in unmittelbarer Umgebung dieser Anlagen nachzuweisen. Dies gilt auch für die bis 1982 durchgeführte Versenkung schwach-radioaktiver Abfälle in mehr als 4000 m 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 "*Komsomolets*" in etwa 1700 m Tiefe in der Norwegensee führt zu keiner erhöhten Belastung dieser Meeresgebiete oder gar der Nordsee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen 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 führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen für fast alle Radionuklide stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm auch bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab.

Eine Ausnahme bildet das Tritium. Da dieses Radionuklid aber praktisch in Meeresorganismen nicht angereichert wird, ist es für eine Strahlenexposition des Menschen oder der Meeresorganismen von geringerer Bedeutung.

In den Abbildungen 3.3.2-1 und 3.3.2-2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137- bzw. Sr-90-Aktivitätskonzentration an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Der Fallout von Tschernobyl war in der Nordsee schon zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr nachzuweisen. Die direkten oder indirekten Ableitungen aus der WAA Sellafield sind auch nur noch durch leicht erhöhte Werte in der äußeren Deutschen Bucht nachzuweisen. In der Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen des atlantischen Meerwassers. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee nicht mehr nachweisbar (NWG ca. 0,2 Bq/m³).

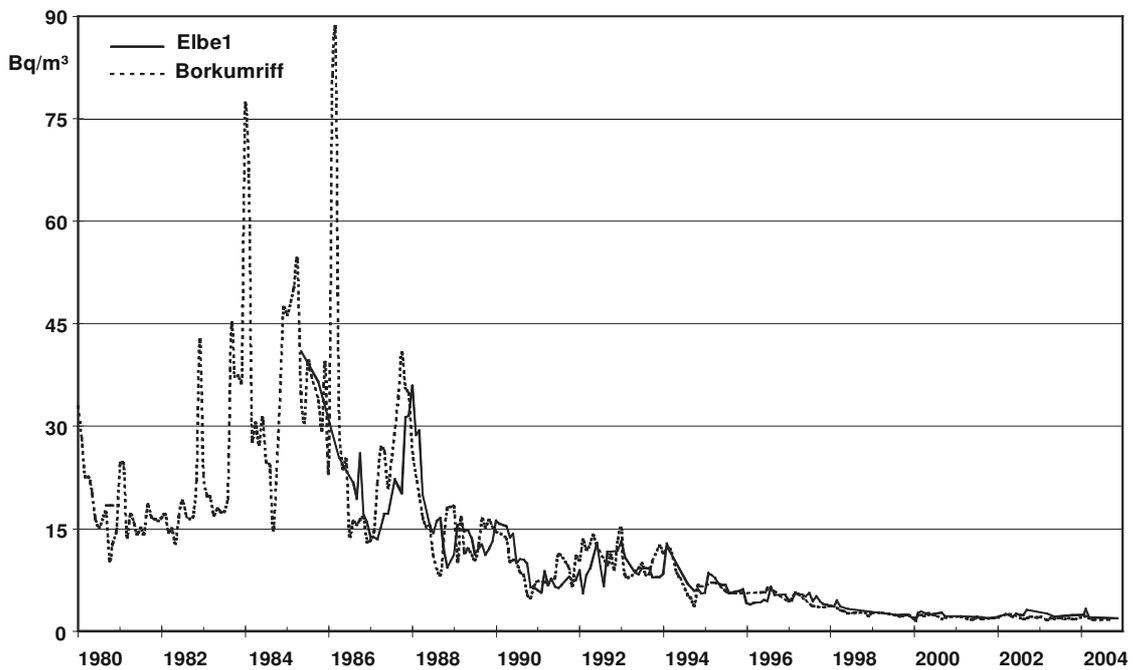
Das Sediment vor allem der Irischen See, aber auch in geringerem Maße der kontinentalen Küste, ist durch Einleitungen der Wiederaufbereitungsanlagen in den siebziger Jahren stark kontaminiert worden. Durch natürliche Vorgänge wie Stürme und Bioturbation aber auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei werden abgelagerte Radionuklide wieder in die Wasserphase und anschließend wieder in Lösung gebracht. Diesen Vorgang bezeichnet man als Resuspension. Das Sediment der Irischen See ist seit mindestens sechs Jahren eine stärkere Quelle für Cs-137 und Transurannuklide als die vergleichbaren Einleitungen der Anlage Sellafield.



BSH

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 [Bq/m³] an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 [Bq/m³] at two positions in the German Bight since 1961)

3.3.2-1



BSH

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 [Bq/m³] an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980
(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 [Bq/m³] at two positions in the German Bight since 1980)

3.3.2-2

In den Abbildungen 3.3.2-3, 3.3.2-5, 3.3.2-10 und 3.3.2-12 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche in der Deutschen Bucht im Januar, März, August und November 2004 dargestellt. Die Konzentrationen bewegen sich in einem schmalen Bereich von 1,4 bis 6,1 Bq/m³, wobei die höheren Konzentrationen regelmässig in der mittleren Deutschen Bucht zu finden sind. Im Vergleich mit früheren Jahren sind die Konzentrationen von Cs-137 sehr niedrig. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle ist bei diesen geringen Werten nicht mehr möglich. Wie an einer Vergleichsprobe aus der Elbe (<0,4 Bq/m³; November 2004) gezeigt, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar.

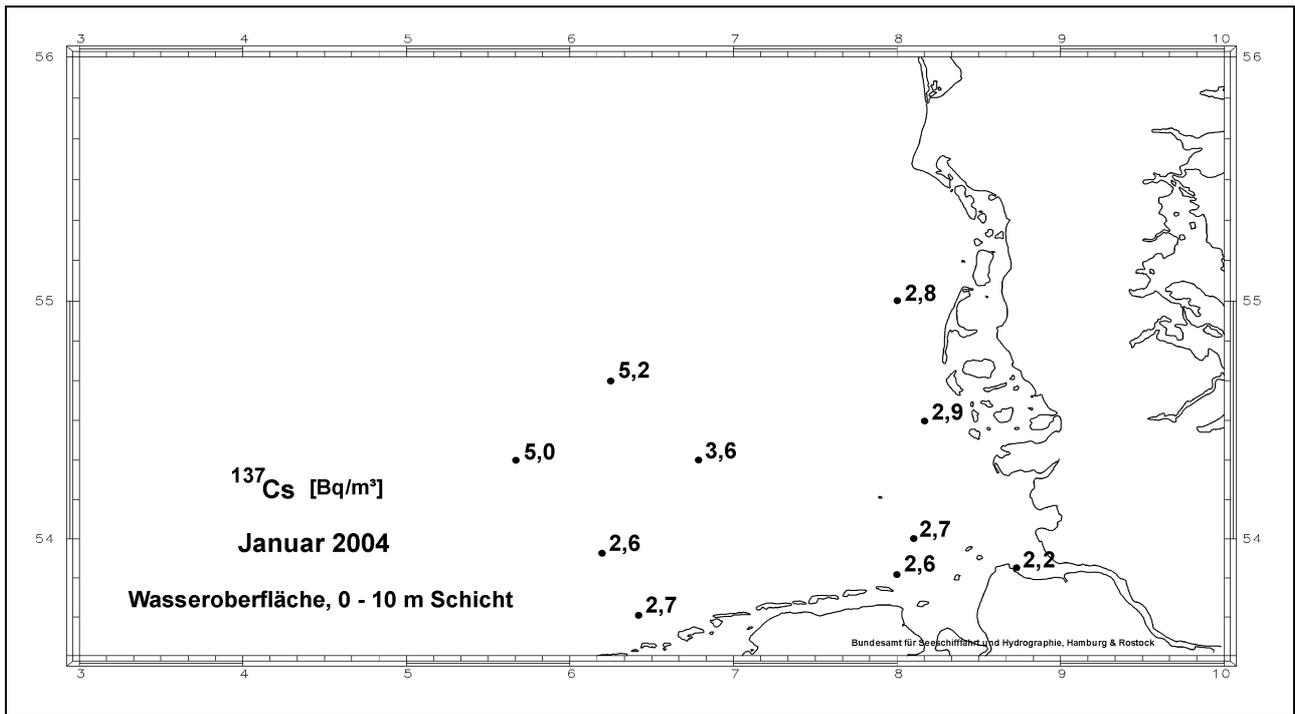
In den Abbildungen 3.3.2-4, 3.3.2-6 und 3.3.2-11 sind die Verteilungen der Aktivitätskonzentration von Sr-90 an der Wasseroberfläche der Deutschen Bucht im Januar, März und August 2004 dargestellt. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass sich die Konzentrationen an der Wasseroberfläche der flachen Seegebiete der Nordsee nicht signifikant von denen nahe des Meeresbodens unterscheiden. Strömung und Seegang sorgen zusammen mit den langen Transportwegen für eine gute Durchmischung unterschiedlich kontaminierter Wasserkörper und damit für eine über die Wassersäule homogene Radionuklidkonzentration, so dass eine Beprobung der Oberfläche ausreichend ist. Die gefundenen Konzentrationen reichen von 1,7 bis 3,7 Bq/m³ und sind im Mittel geringer als die des Cs-137. Während der 90er Jahre war dieses Verhältnis umgekehrt, da für einige Jahre die Anlage La Hague relativ viel Sr-90 eingeleitet hat. Die jetzt gefundenen sehr geringen Konzentrationen dieses Radionuklids sind ein Indiz dafür, dass auch diese Wiederaufarbeitungsanlage ihre Emissionen in die Meeresumwelt deutlich reduziert hat. Sr-90 wird im Gegensatz zu Cs-137 und Transurannukliden auf Grund seiner chemischen Eigenschaften fast überhaupt nicht an Sedimenten angelagert, so dass die im Jahre 2004 in der Deutschen Bucht gefundenen Werte ein exaktes Abbild der Einleitungen in den Jahren 2002/2003 ergeben. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die Transportzeit vom Englischen Kanal in das Gebiet der Deutschen Bucht ca. 1,5 Jahre beträgt.

Gelegentlich, z. B. im März und August 2004, können im Mündungstrichter der Elbe etwas höhere Sr-90-Werte als auf offener See gemessen werden. Dies ist auf ausgewaschenes Fallout-Sr-90 zurückzuführen, welches in der Umwelt sehr mobil ist. Eine akute Kontamination aus einer Nuklearanlage liegt hier nicht vor, da sonst Cs-134 hätte nachweisbar sein müssen. Die Tatsache, dass Flusseinträge, wenn auch sehr gering, mittlerweile höhere Konzentrationen aufweisen als Meerwasser, zeigt, dass die Massnahmen zur Reduzierung der Einträge von Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren erfolgreich gewesen sind.

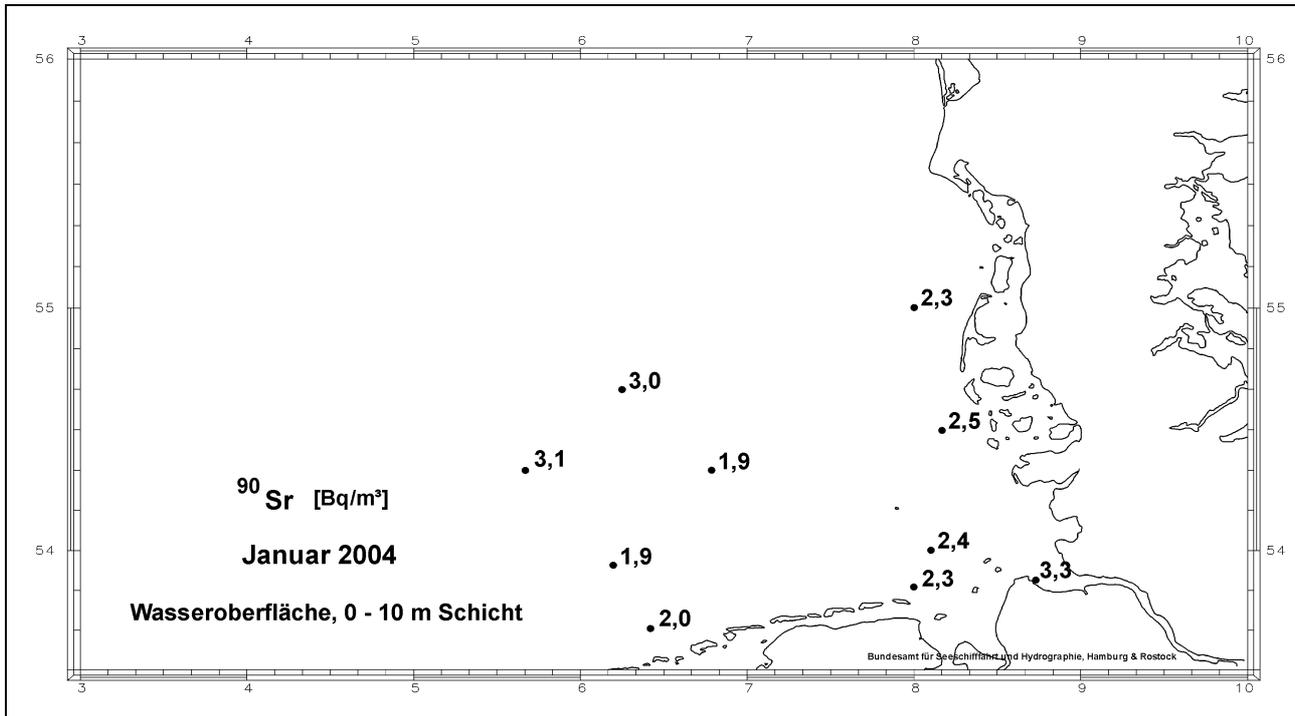
In den Abbildungen 3.3.2-7 bis 3.3.2-9 und 3.3.2-13 bis 3.3.2-15 sind Ergebnisse der Untersuchungen zur Verteilung der Transurane Pu-239/240, Pu-238 und Am-241 dargestellt, wobei die Konzentration von Pu-238 durch das Aktivitätsverhältnis der beiden Plutoniumisotope wiedergegeben ist. Aus diesem Verhältnis kann man die Herkunft dieser Nuklide erkennen. Der globale Fallout weist ein Verhältnis von etwa 0,02 bis 0,06 auf, Pu-Isotope aus den Wiederaufbereitungsanlagen liegen mit Verhältnissen von 0,15 bis 0,2 (Sellafield) bzw. 0,4 bis über 0,5 (La Hague) deutlich darüber. Die gefundenen Verhältnisse lassen daher darauf schließen, dass der überwiegende Teil der in der Nordsee vorhandenen Plutoniumisotope aus den Anlagen Sellafield und La Hague stammt. Die Konzentrationen sind gering und liegen nur geringfügig über dem Niveau des globalen Fallouts des Nordatlantikoberflächenwassers. In der Wasserphase vorhandenes Plutonium wird durch Partikel sehr stark aufgenommen und im Sediment deponiert. Dies gilt im Übrigen auch für Am-241, das tendenziell noch stärker durch Partikel adsorbiert wird. Dessen Verteilung ist in den Abbildungen 3.3.2-9 und 3.3.2-15 dargestellt. Das in der Nordsee nachgewiesene Plutonium und Americium stellt damit eine Mischung aus globalem Fallout und demjenigen dar, das aus europäischen Wiederaufbereitungsanlagen eingeleitet wurde, wobei inzwischen Gleichgewichte zwischen der Wasserphase und resuspendiertem Sediment vorliegen sollten. Diese resuspendierten Partikel werden durch Meeresströmungen weiterverfrachtet. Dadurch können diese Transurane aus den Wiederaufbereitungsanlagen in der gesamten Nordsee oder auch darüber hinaus nachgewiesen werden.

Ein außergewöhnliches Messergebnis stellen die über 70 mBq/m³ Pu-239/240 bzw. über 60 mBq/m³ Am-241 auf der Elbe Vergleichsstation Stade dar. Wenn auch die Konzentration vergleichsweise hoch ist, dürfte die Ursache vermutlich auf der hohen Schwebstoffbelastung der unfiltriert untersuchten Wasserprobe beruhen. Dieses Ergebnis ist jedoch durch weitere Untersuchungen zu erhärten.

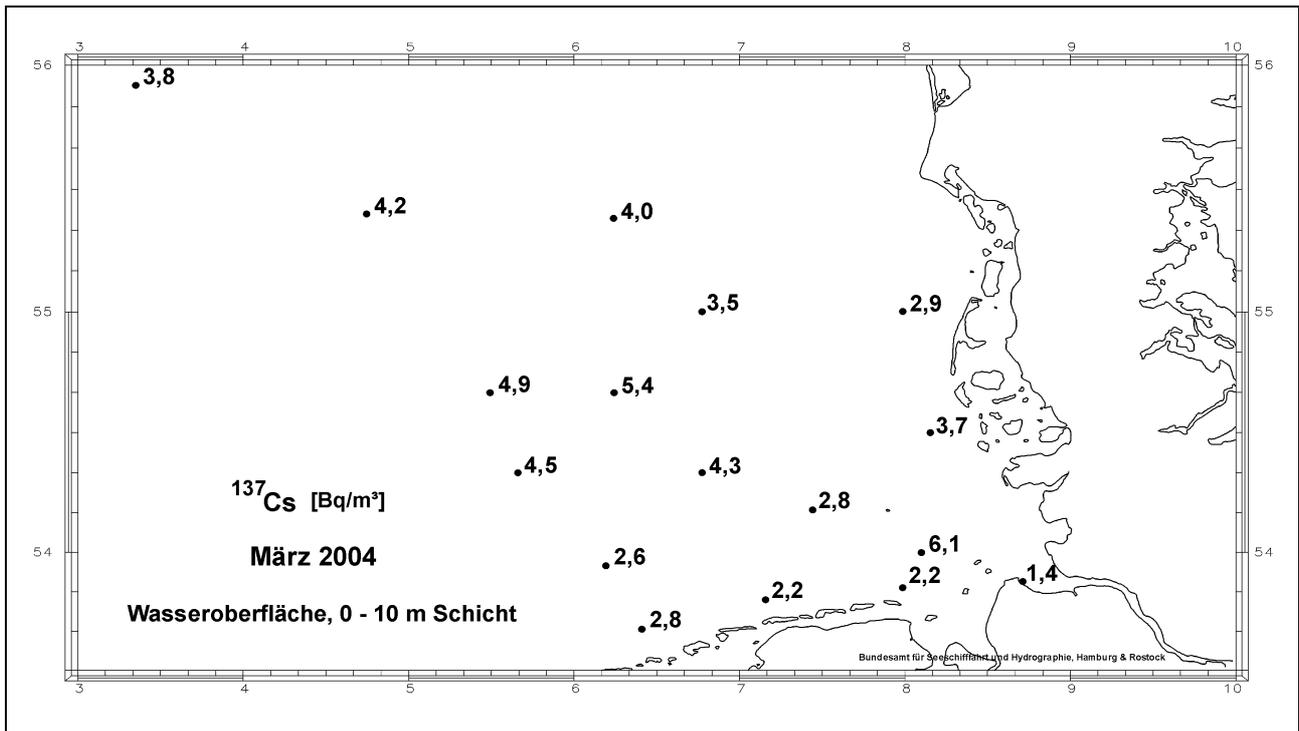
Neben den genannten Transuranen Plutonium und Americium kann im Einstromgebiet entlang der Kontinentalküste, wie auch auf der Vergleichsstation Stade, das Nuklid Curium-244 nachgewiesen werden.



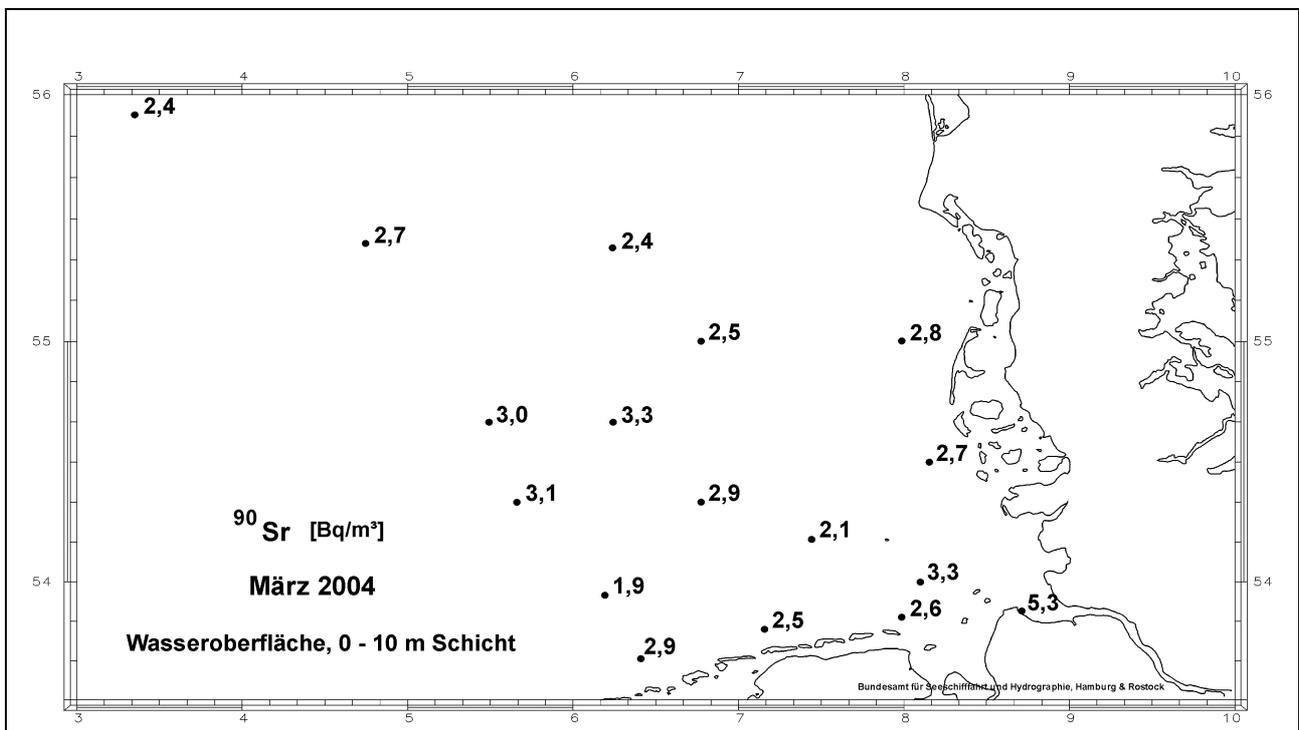
BSH	Die Verteilung von Cs-137 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2004 <i>(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in January 2004)</i>	3.3.2-3
------------	---	----------------



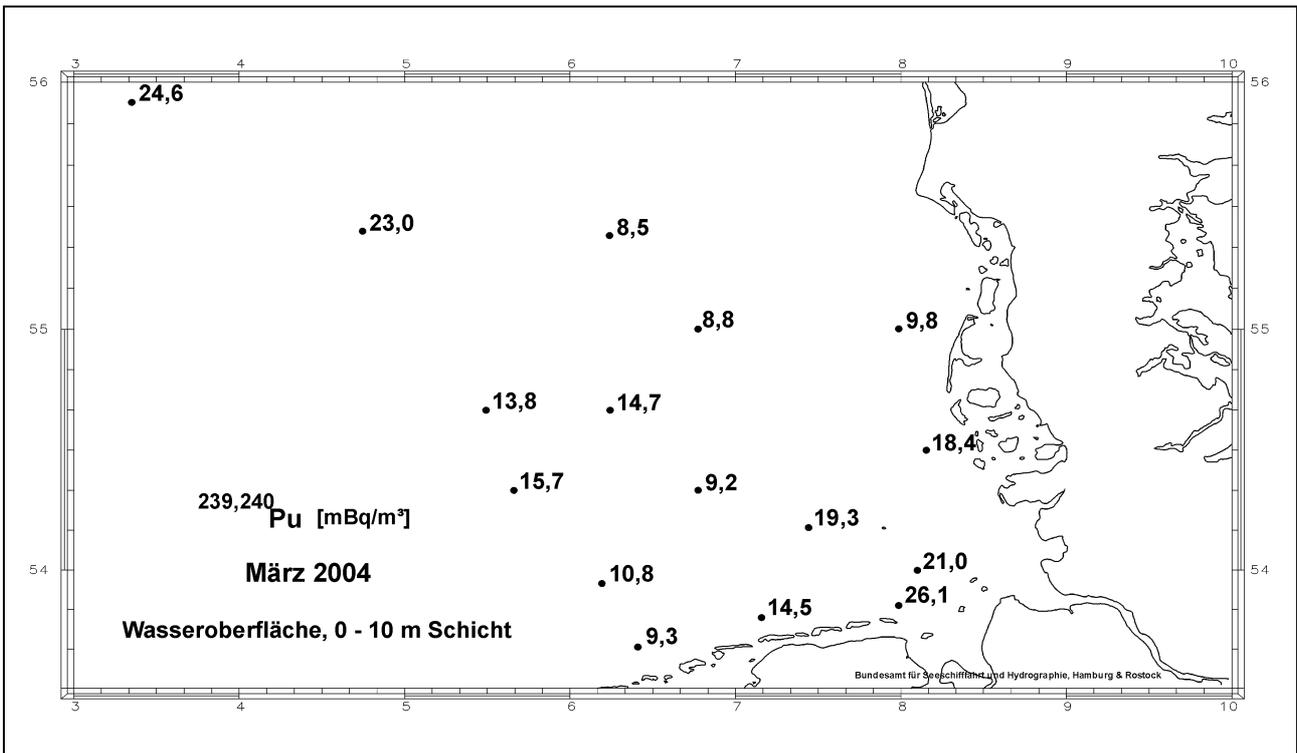
BSH	Die Verteilung von Sr-90 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2004 <i>(Distribution of Sr-90 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in January 2004)</i>	3.3.2-4
------------	---	----------------



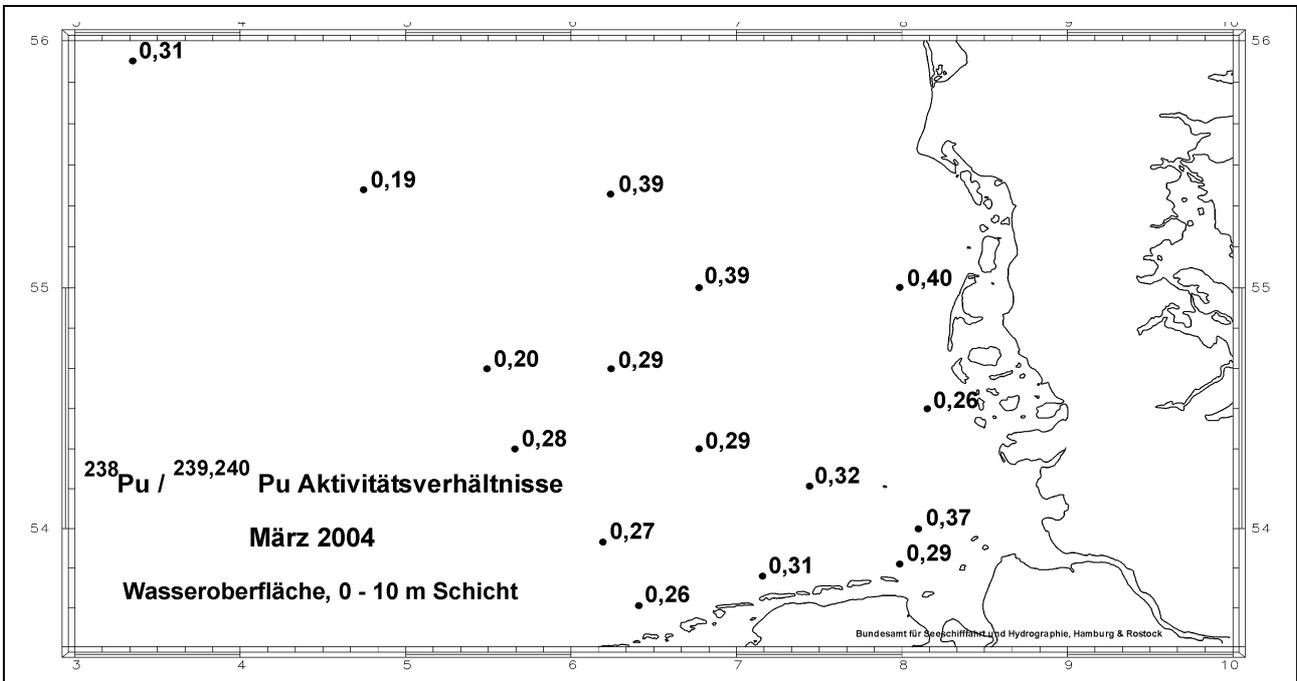
BSH	Verteilung von Cs-137 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-5
------------	--	----------------



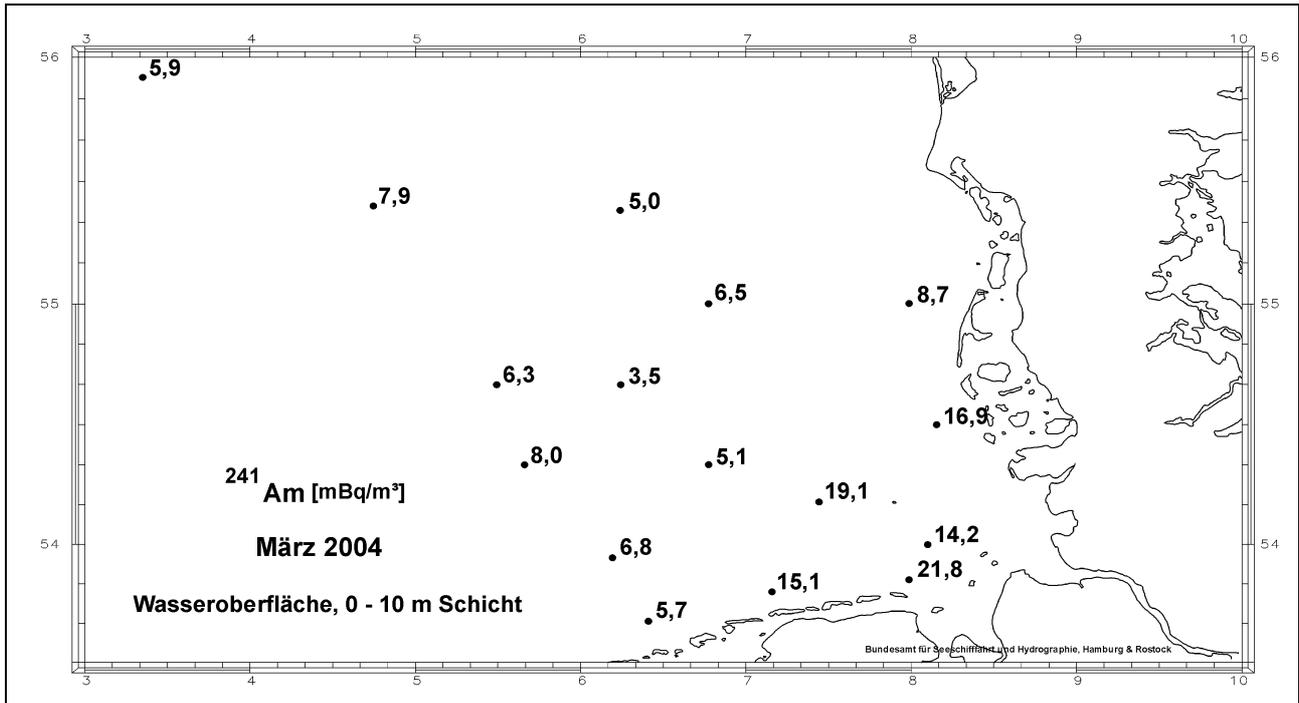
BSH	Die Verteilung von Sr-90 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of Sr-90 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-6
------------	--	----------------



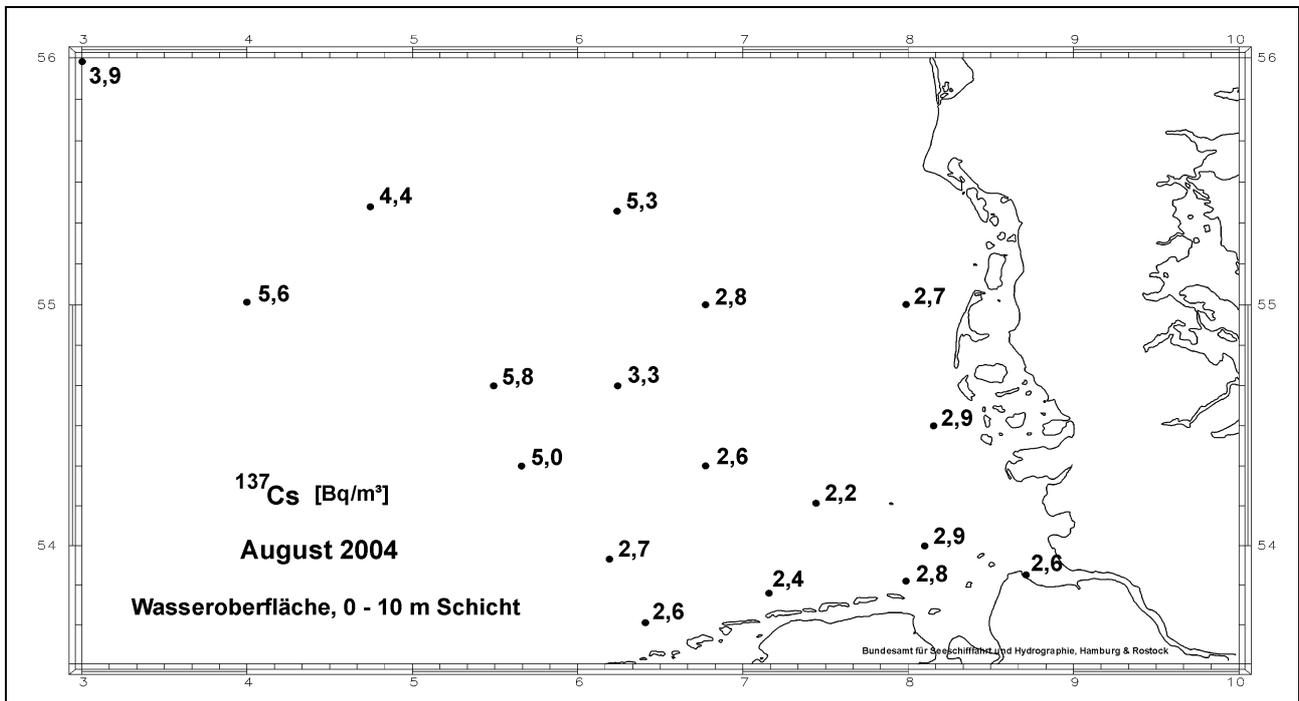
BSH	Verteilung der Konzentration an Pu-239/240 [mBq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of the activity concentration of Pu-239/240 [mBq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-7
------------	--	----------------



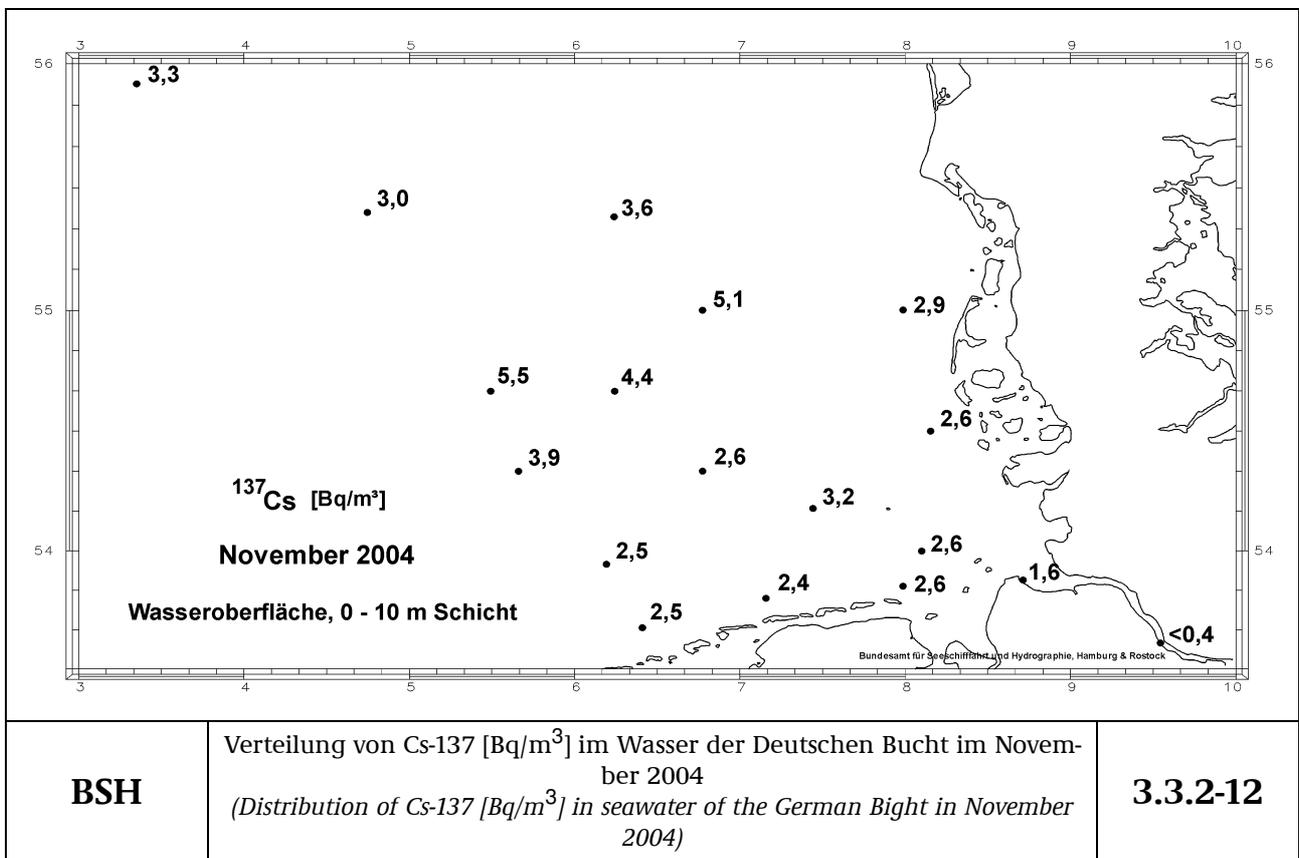
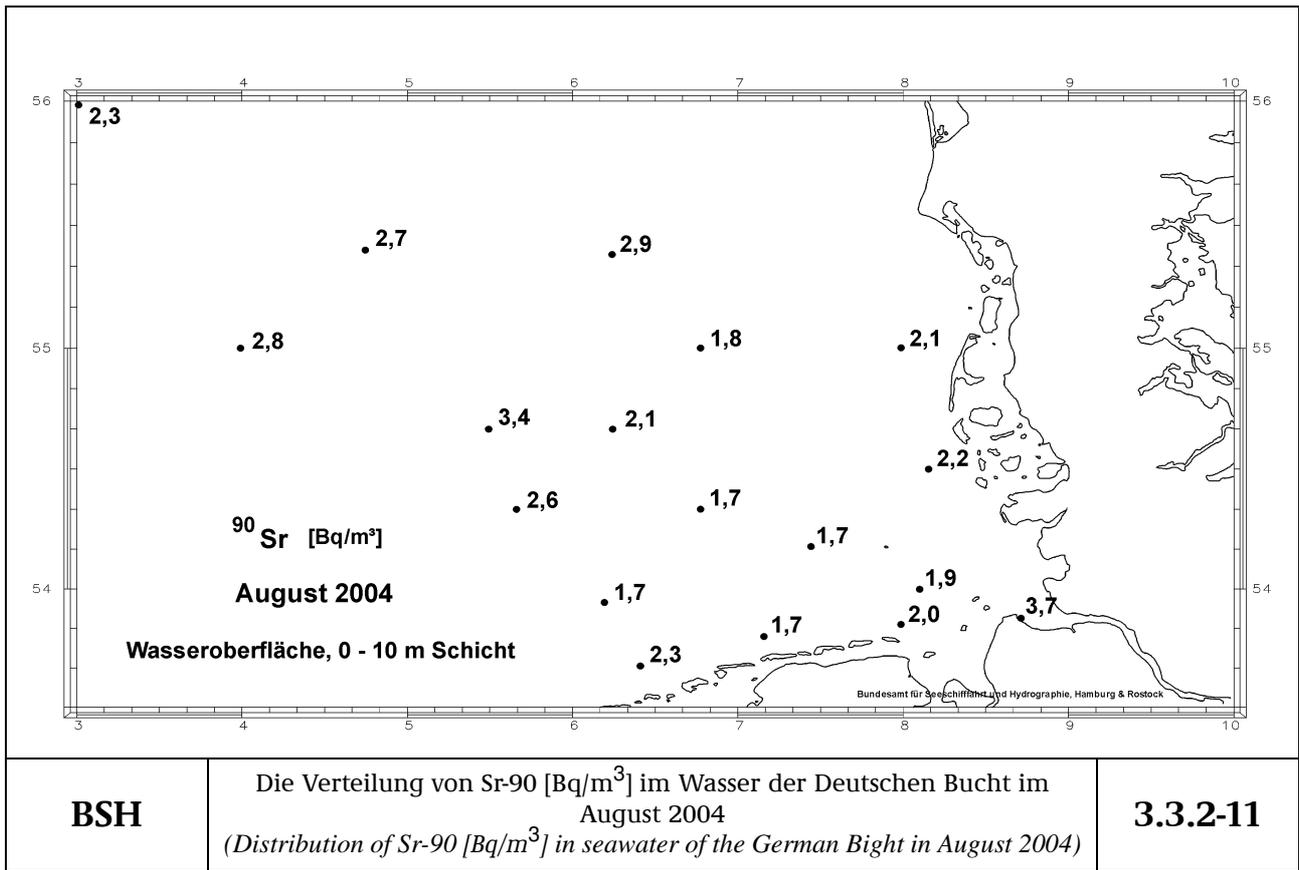
BSH	Verteilung der Aktivitätsverhältnisse zwischen Pu-238 und Pu-239/240 im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of activity ratios of Pu-238 and Pu-239/240 in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-8
------------	--	----------------

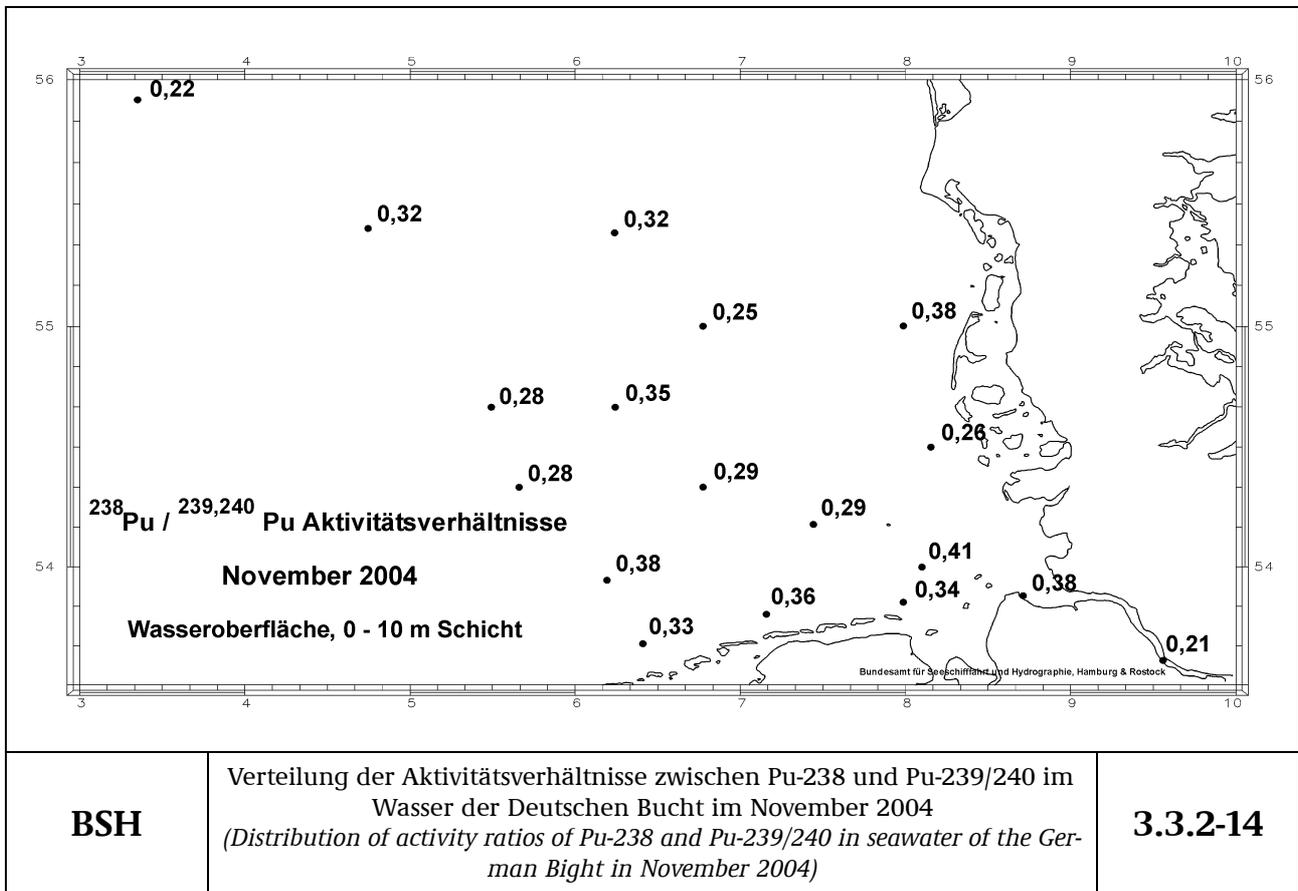
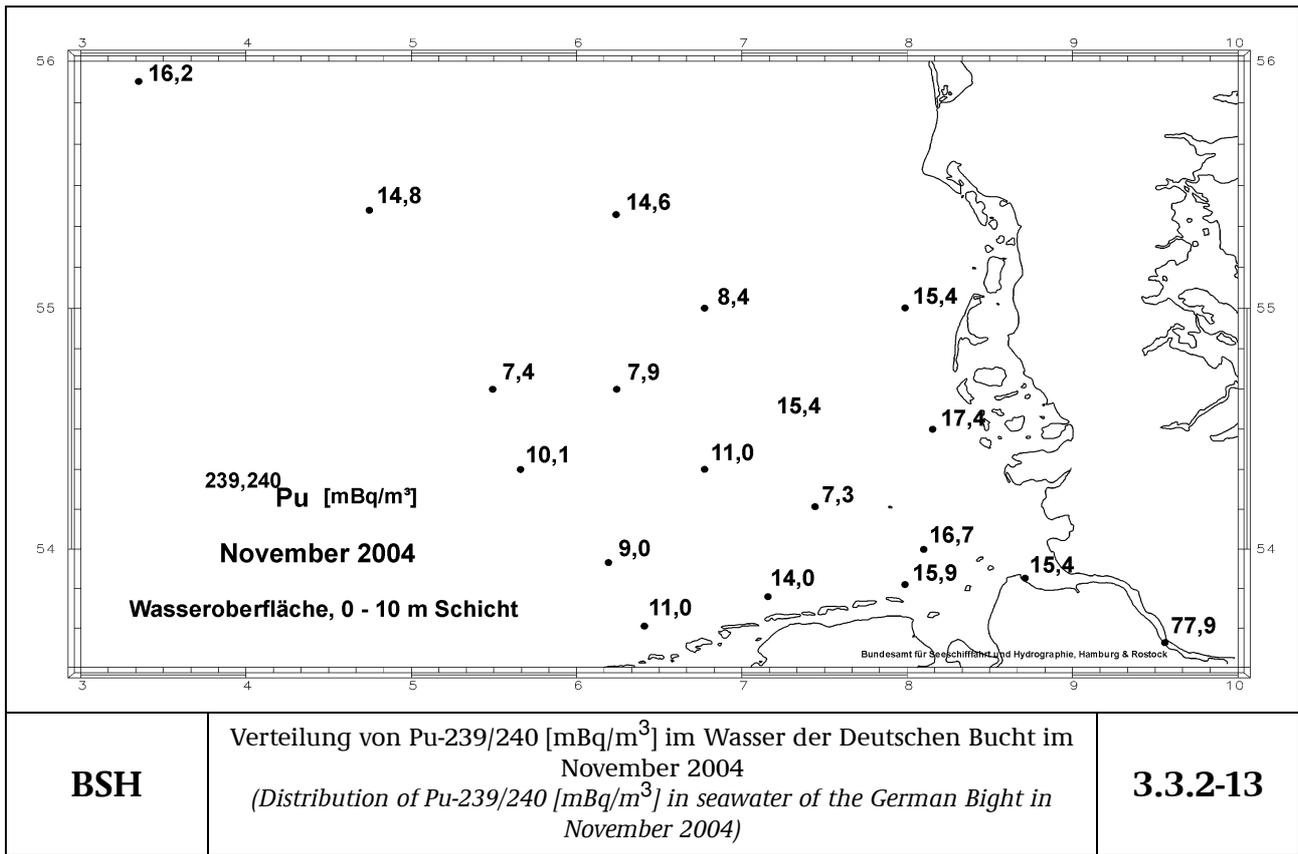


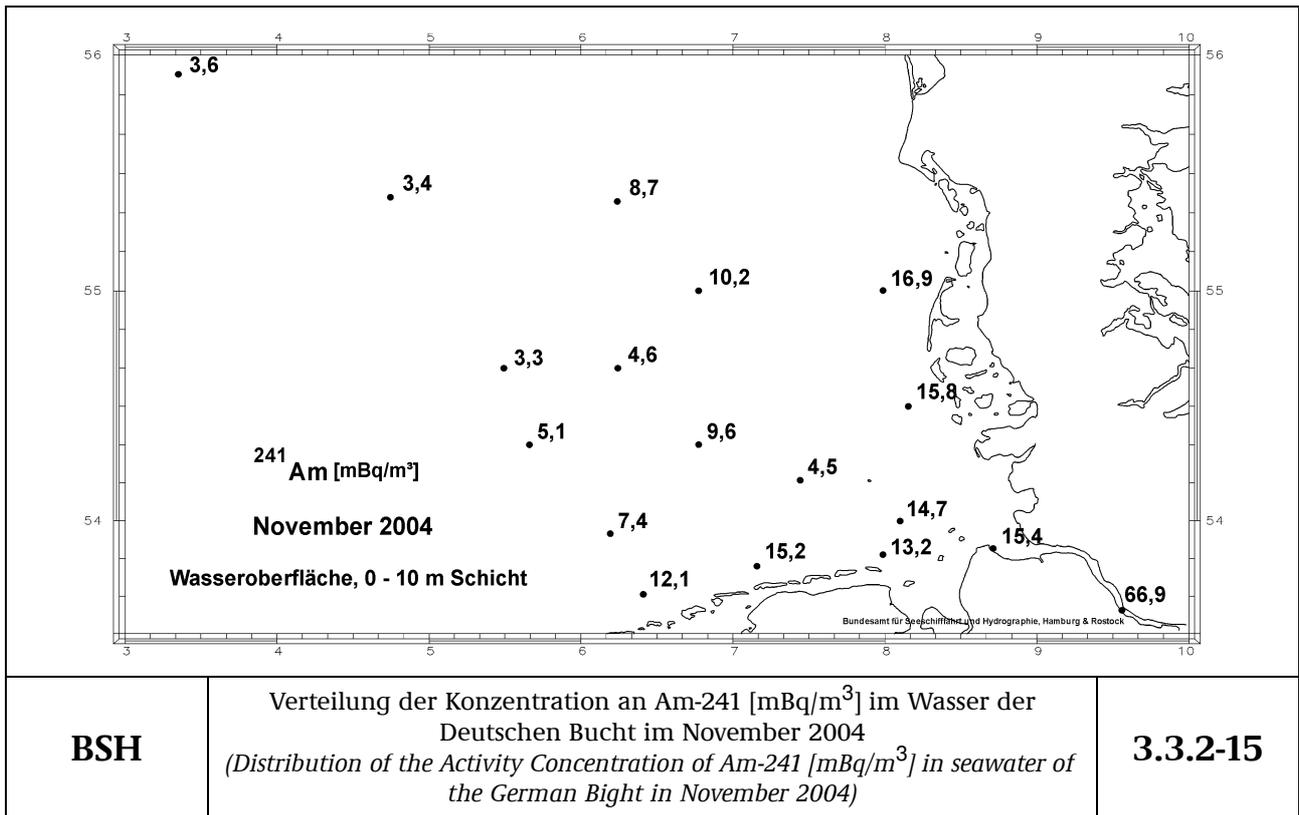
BSH	Verteilung der Konzentration an Am-241 [mBq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im März 2004 <i>(Distribution of the Activity Concentration of Am-241 [mBq/m³] in seawater of the German Bight in March 2004)</i>	3.3.2-9
------------	--	----------------



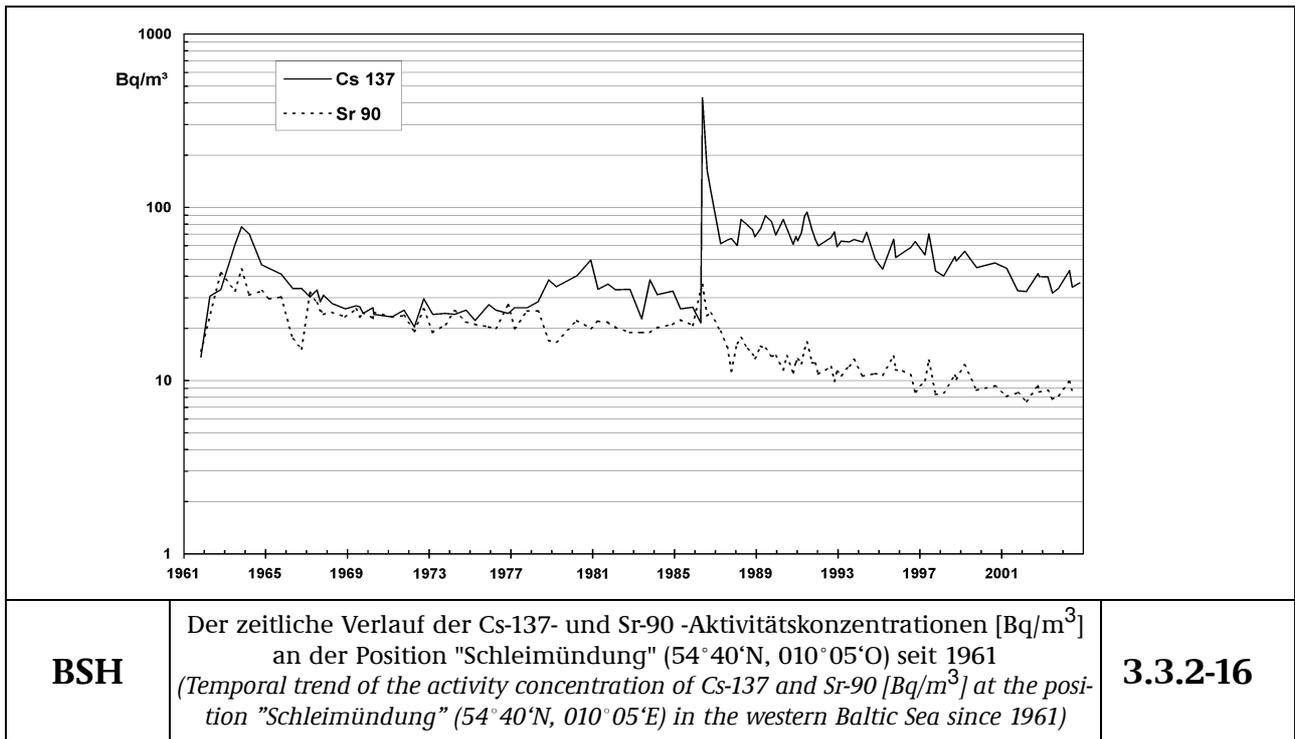
BSH	Verteilung von Cs-137 [Bq/m ³] im Wasser der Deutschen Bucht im August 2004 <i>(Distribution of Cs-137 [Bq/m³] in seawater of the German Bight in August 2004)</i>	3.3.2-10
------------	--	-----------------



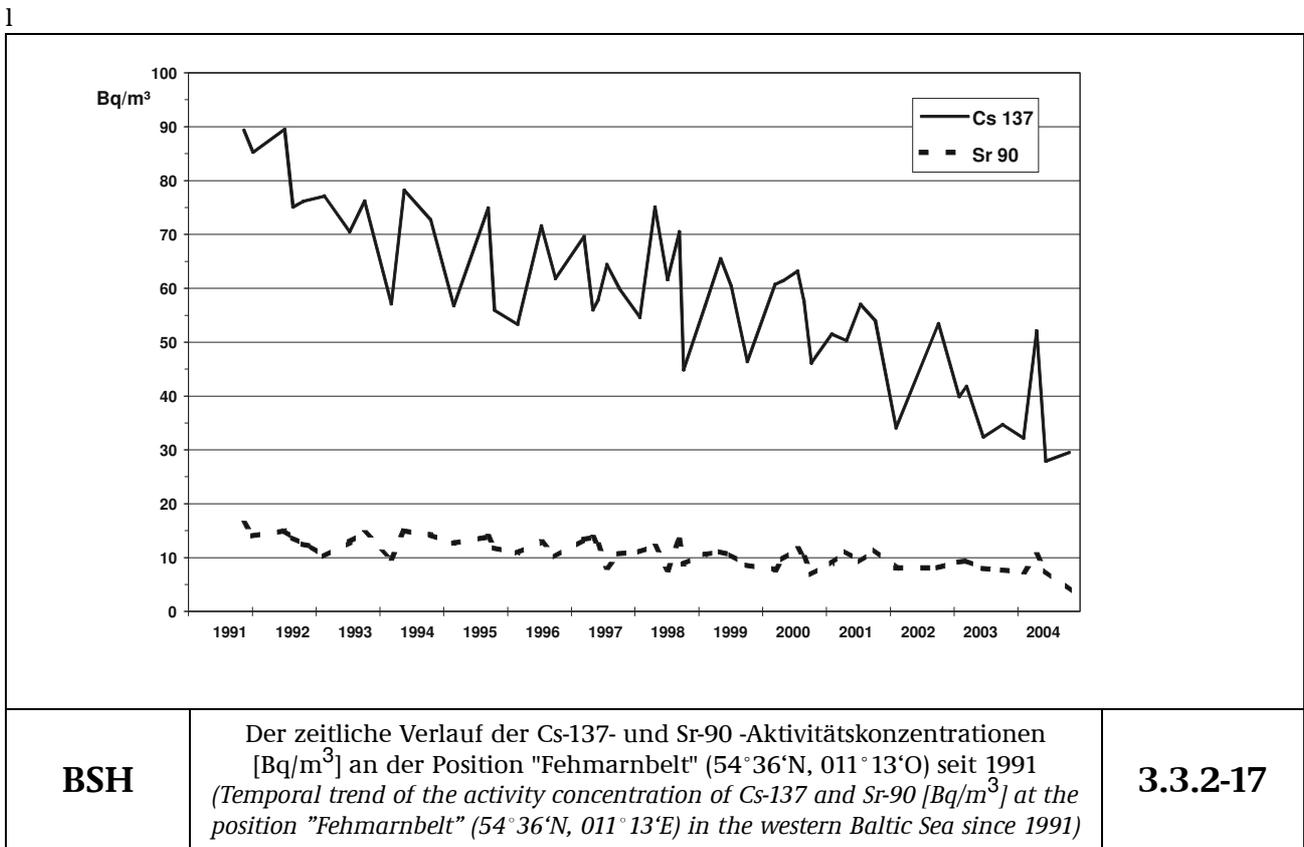


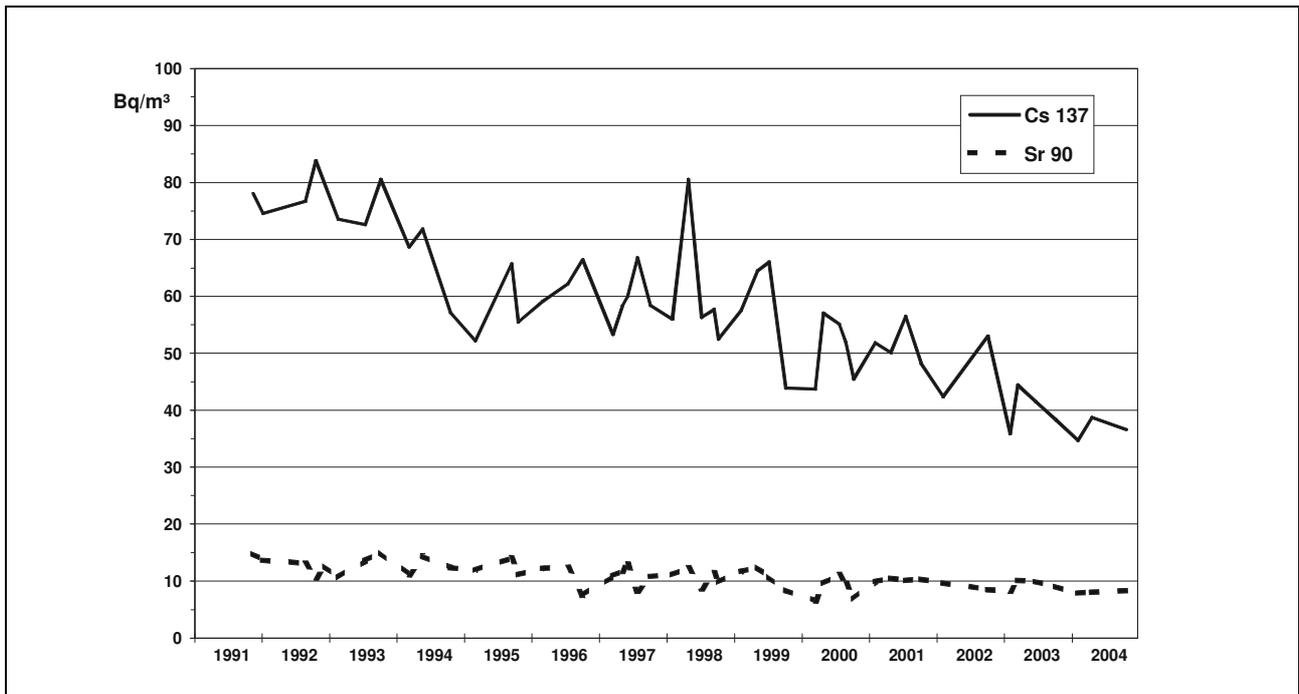


Die Abbildungen 3.3.2-16 bis 3.3.2-20 stellen den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an den Positionen Schleimündung, Fehmarnbelt, Neustädter Bucht, Darsser Schwelle und Arkonasee in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren (Abbildung 3.3.2-16) und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt. Dabei sind die messbaren Schwankungen der Cs-137-Konzentration an Meerengen wie Fehmarnbelt und Darsser Schwelle (Kadetrinne) stärker ausgeprägt als in ruhigen Buchten wie z. B. der Neustädter Bucht.

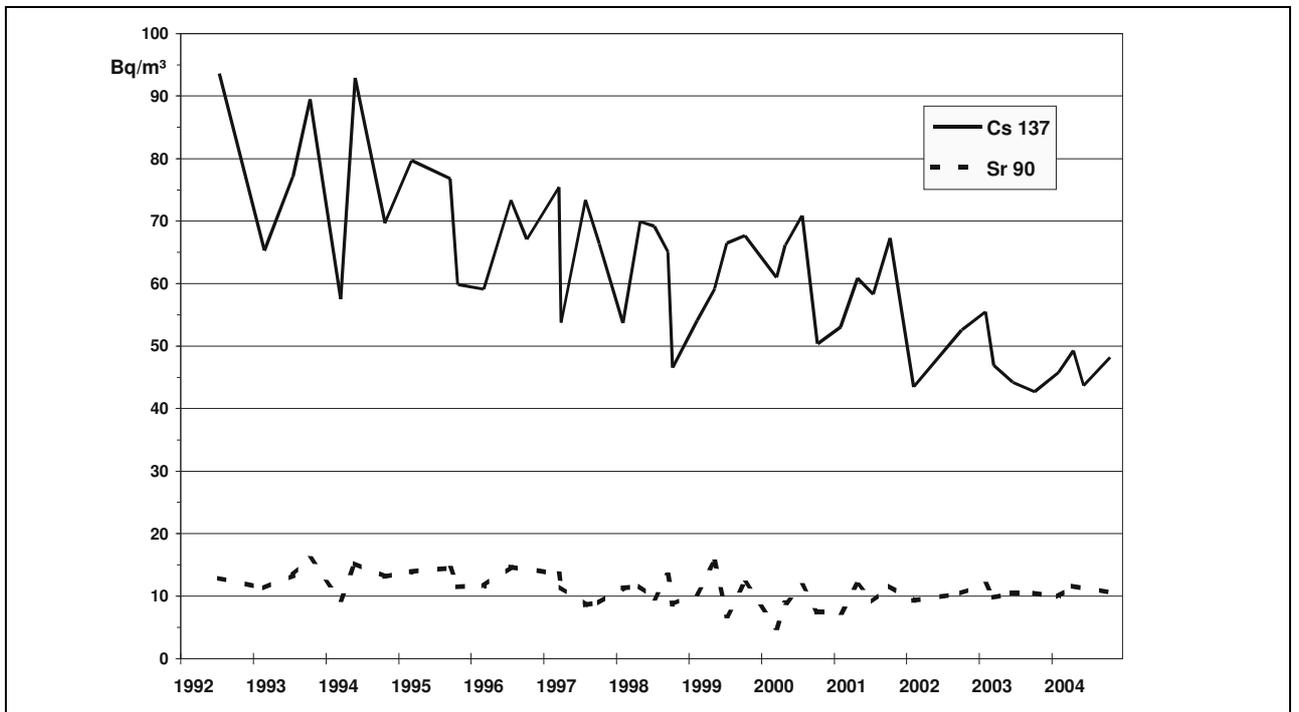


Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 hat das Inventar an künstlichen Radionukliden in der Ostsee drastisch erhöht. Langfristig sind - wie auch an Land - im Meeresbereich nur die Nuklide Cs-134 und Cs-137 von größerem Interesse, da bei dem Unfall 1986 in einem Aktivitätsverhältnis von etwa 0,5 freigesetzt wurden. Die Ostsee ist noch heute, noch vor dem Schwarzen Meer und der Irischen See, das Seegebiet mit den höchsten Konzentrationen an Cs-137 in der Welt.

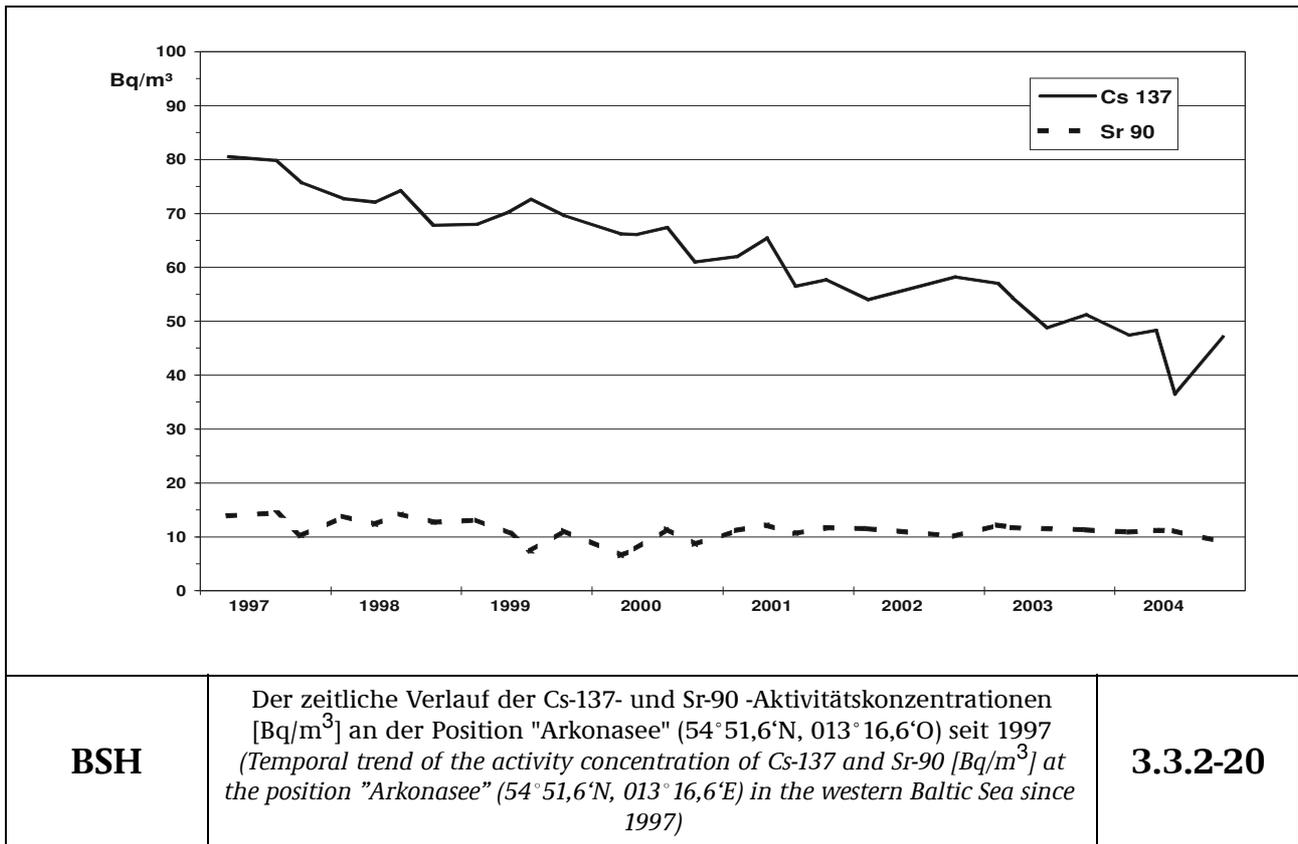




BSH	Der zeitliche Verlauf der ^{137}Cs - und ^{90}Sr -Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] an der Position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{O}$) seit 1991 <i>(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 [Bq/m^3] at the position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{E}$) in the western Baltic Sea since 1991)</i>	3.3.2-18
------------	---	-----------------

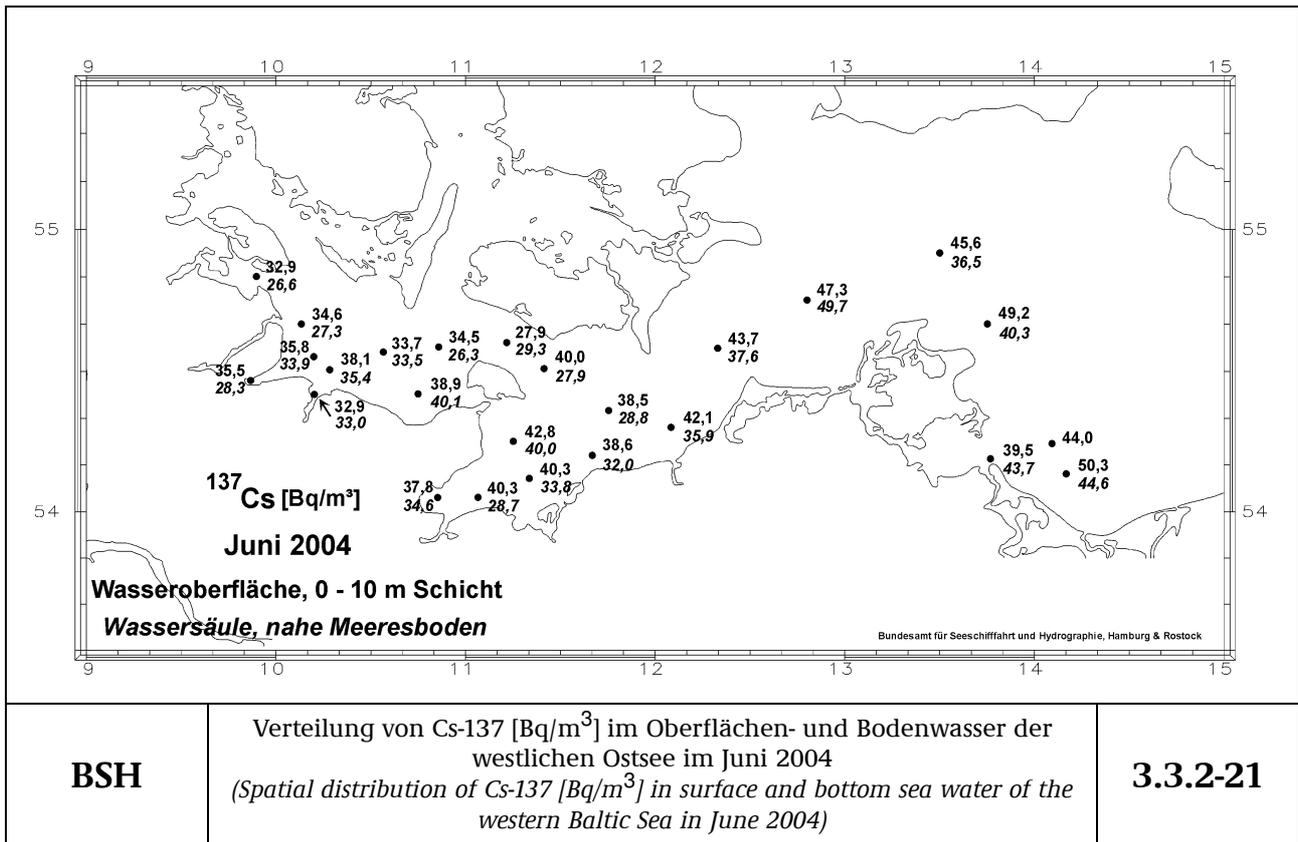


BSH	Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] in der Position "Darsser Schwelle" ($54^\circ 36,3' \text{N}$, $012^\circ 19,9' \text{O}$) seit 1992 <i>(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 [Bq/m^3] at the position "Darsser Schwelle" ($54^\circ 36,3' \text{N}$, $012^\circ 19,9' \text{E}$) in the western Baltic Sea since 1992)</i>	3.3.2-19
------------	---	-----------------



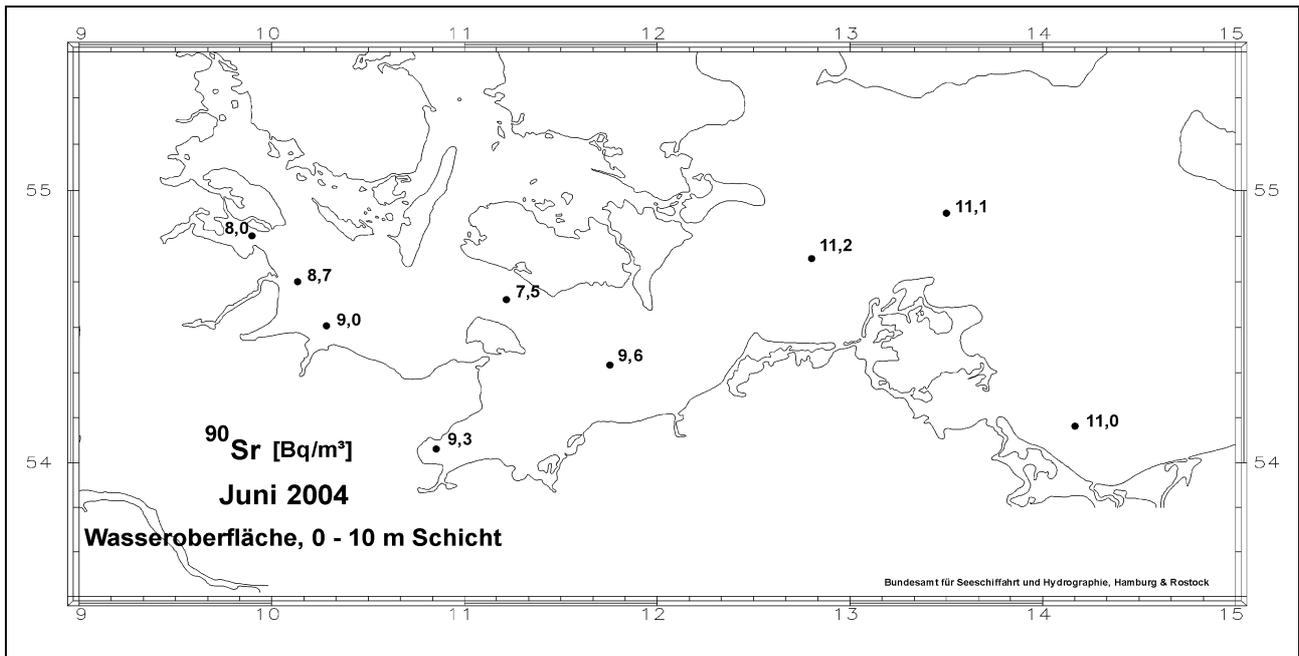
Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum dort verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat 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 Austrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt (Abb. 3.3.2-20). 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 Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt jedoch auch hier die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lag im Juni 2004 an der Wasseroberfläche in der westlichen Ostsee etwa zwischen 33 Bq/m³ im westlichen und 50 Bq/m³ im östlichen Teil des überwachten Gebietes (Abbildung 3.3.2-21). Die Konzentrationen nehmen nach Osten nach wie vor leicht zu – in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. 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 überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 und Sr-90 nachweisen. Dabei weist im Juni 2004 eine Position im östlichen Fehmarnbelt den größten Unterschied in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf.

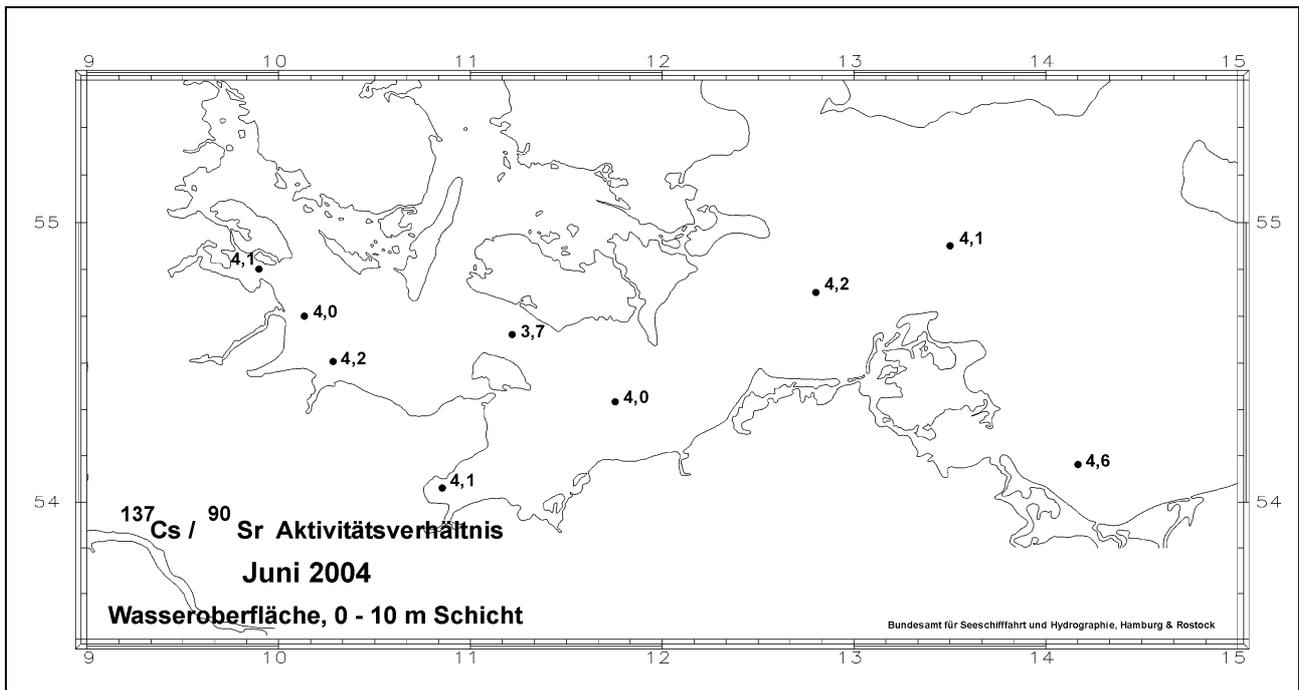


Die Konzentrationen an Sr-90 liegen in der westlichen Ostsee zwischen 7,5 und 11,2 Bq/m³ (Abbildung 3.3.3-22) und damit um den Faktor 2 - 6 höher als in der Deutschen Bucht. Die Quelle des Sr-90 ist nahezu ausschließlich der globale Fallout. Die Kombination aus hoher Mobilität des Sr-90 mit dem sehr umfangreichen Einzugsgebiet des Ostsee und dem damit verbundenen hohen Süßwasserzufluss führen schon seit Jahrzehnten zu einem relativ hohen Gehalt an Radiostrontium.

Das Aktivitätsverhältnis zwischen Cs-137 und Sr-90 (Abbildung 3.3.2-23) gibt Aufschluss über die Entwicklung der Cs-137-Kontamination in der westlichen Ostsee. Während dieses Verhältnis in der Nordsee in den letzten Jahren ziemlich konstant zwischen ca. 1 bis maximal 2 liegt, wies die westliche Ostsee über Jahre ein konstantes Verhältnis von ca. 5 auf. In den beiden letzten Jahren hat sich das Verhältnis Cs-137/Sr-90 auf 4 verringert, das heißt die Konzentration des Cs-137 im Ostseewasser geht wesentlich schneller zurück als die des Sr-90. Der Grund hierfür ist in einer Kombination aus Abfluss aus der Ostsee und Vermischung mit einfließendem Nordseewasser zu finden. Der Wert von 3,7, wie er im Jahr 2004 im Fehmarnbelt gefunden wurde, war noch im Jahr 2001 charakteristisch für die Mischungszone im nördlichen Kattgat.



BSH	Verteilung von Sr-90 [Bq/m ³] im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2004 <i>(Spatial distribution of Sr-90 [Bq/m³] in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2004)</i>	3.3.2-22
------------	--	-----------------



BSH	Aktivitätsverhältnis zwischen Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2004 <i>(Distribution of the Activity ratios of Cs-137 and Sr-90 in surface seawater in the western Baltic Sea in June 2004)</i>	3.3.2-23
------------	---	-----------------

Sedimente

Sedimente reichern Stoffe aus der Wassersäule an. Sie sind damit eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich auch radioaktive Stoffe durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen weitgehend irreversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule "ausgekämmt" und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Man muss jedoch je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten auch mit Resuspension, d. h. Wiederfreisetzung der abgelagerten Radionuklide in die Wassersäule rechnen.

Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen deutlich höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Einerseits ist dieser Effekt darauf zurückzuführen, dass die Korngröße der mehr schlickigen und damit feinkörnigeren Sedimente der Ostsee kleiner ist, andererseits liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zur Sedimentation der feineren Partikel führt. Auch die höhere Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrags auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider.

Das Cs-137 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 Tiefen von 2 bis 8 cm. In Abbildung 3.3.2-24 ist das Inventar in kBq/m^2 einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu $5,2 \text{ kBq/m}^2$ (Neustädter Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden. Die Inventare hängen stark von der Körnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen.

