Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2021

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
Referat S II 2
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion: Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Dr. Josef Peter
Claudia Bernhard-Ströl
Angela Trugenberger-Schnabel
Anita Lovsky

Redaktioneller Stand: Dezember 2022

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2024112148843

Vorbemerkung

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht.

Das neue Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 ist am 31. Dezember 2018 in Kraft getreten und dient deshalb diesem Bericht als Grundlage. Zum gleichen Zeitpunkt ist die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Kraft getreten. Wo auf die vorher gültige Strahlenschutzverordnung Bezug genommen wird, ist sie als StrlSchV 2001 gekennzeichnet.

Dieser Bericht ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil „Bericht“ werden die aktuellen Daten wiedergegeben und bewertet. Detaillierte Tabellen und Werte aus dem aktuellen Berichtsjahr befinden sich hierzu im letzten Teil „Tabellen“.

Allgemeine Angaben, eine Einführung in die jeweilige Thematik sowie ausführliche Hintergrundinformationen werden in einem separaten Bericht „Grundlagen zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (Grundlagenbericht, nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841) dargestellt.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG **8**

SUMMARY **13**

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Natürliche Umweltradioaktivität 19

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 19

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie 19

2.2 Radon in Gebäuden 22

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten 23

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

1. Quellen künstlicher Radioaktivität 25

1.1 Kernwaffenversuche 25

1.2 Zivile Freisetzungen 25

1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall 28

1.4 Anlagen nach Atomgesetz 29

1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz 29

1.6 Exposition durch Anlagen nach Atomgesetz 35

2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen) 40

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung/Spurenanalyse 40

2.2 Nord- und Ostsee 52

2.3 Binnengewässer 80

2.4 Böden 86

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser 87

2.6 Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände 96

2.7 Abwasser und Klärschlamm 97

2.8 Abfälle 98

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 101

III BERUFLICHE EXPOSITIONEN

1. Erfassung und Auswertung von Daten über berufliche Expositionen in Deutschland 104

1.1 Erfasste Daten 104

1.2 Datenermittlung und Auswertung 104

2. Auswertungen aus dem Strahlenschutzregister 105

2.1 Anzahl strahlenschutzüberwachter und messbar exponierter Personen 105

2.2 Die Kollektivdosis 107

2.3 Die mittlere effektive Jahresdosis 107

2.4 Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis 108

2.5 Die Organ-Äquivalentdosis der Hand und der Augenlinse 108

3. Anzahl der Grenzwertüberschreitungen 109

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

1. Diagnostische Strahlenanwendungen 113

1.1 Röntgendiagnostik 113

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik 117

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 118

1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren 120

2. Therapeutische Strahlenanwendungen 121

2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung 121

3. Medizinische Forschung ... 122
4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV ... 122

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe ... 125
1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe ... 125
1.2 Einfuhrstatistik ... 125
1.3 Ausfuhrstatistik ... 126
1.4 Genehmigungen und Anmeldungen ... 127
2. Beförderung radioaktiver Stoffe ... 127
2.1 Übersicht über Zulassungen, Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe ... 128
2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen ... 128
3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler ... 129
3.1 Behördliche Kontrolle der Nutzung ionisierender Strahlung ... 129
3.2 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen ... 130
3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ) ... 130
3.4 Störstrahler ... 130
3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen ... 130
3.6 Bestand radioaktiver Abfälle ... 131
4. Bedeutsame Vorkommnisse ... 131

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen ... 133
1.1 Elektromagnetische Felder allgemein ... 133
1.2 Statische elektrische und magnetische Felder ... 133
1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF) ... 133
1.4 Strahlenschutz beim Stromnetzausbau ... 133
1.5 Zwischenfrequente Felder - Elektromobilität ... 134
1.6 Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF) ... 135
1.7 Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) ... 136
1.8 Runder Tisch Elektromagnetische Felder ... 137
1.9 Umweltzeichen „Blauer Engel“ ... 137
2. Ultraschall - Forschung und allgemeine Themen ... 138
2.1 Ultraschall im Körper ... 139
3. Optische Strahlung ... 139
3.1 Solares UV-Monitoring ... 139
3.2 Forschung ... 140
3.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen ... 141
3.4 Klimawandel und UV-Strahlung ... 141
3.5 Rechtliche Regelungen ... 142

TABELLEN

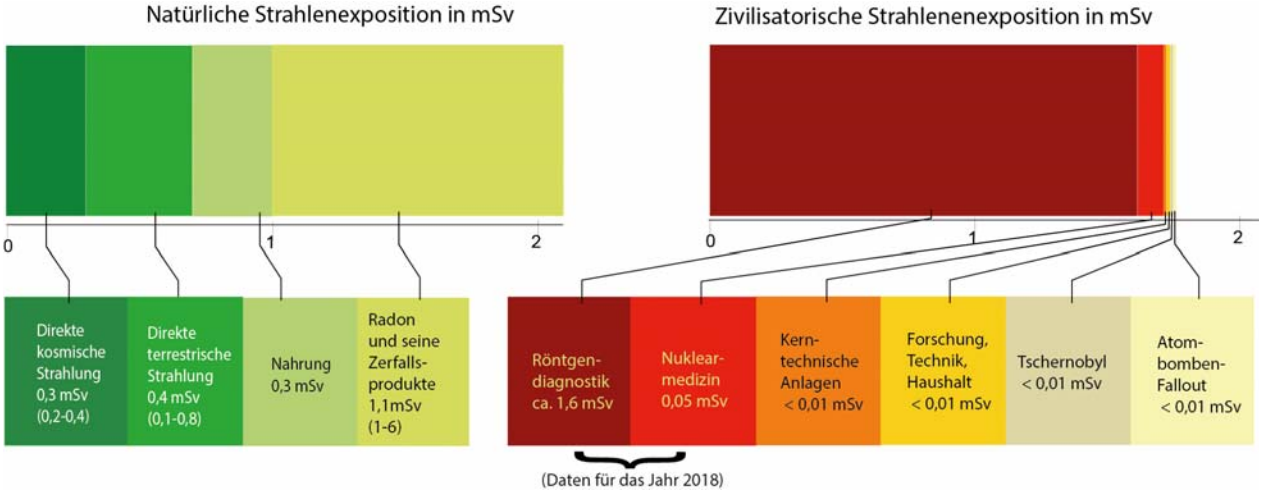
I. Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität 144
II. Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität 150
III. Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition 247
IV. Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition 248
V. Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung 251
VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung 286
VII. Abkürzungen und Glossar 287
VIII. Physikalische Einheiten 298

Tabellenverzeichnis 304

BERICHT 2021 - AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(Überarbeitungsstand 2022)

(Current Data and their evaluation)



Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2021, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)

Effective annual dose to an individual due to ionising radiation in 2021 (in mSv), averaged over the German population (range in brackets)

ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Diese Berichte enthalten neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen.

Die mittlere Strahlenexposition für eine Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2021 ist in der unten aufgeführten Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis beträgt etwa 3,8 Millisievert (mSv) pro Jahr und Person. Eine Grafik über die zeitliche Entwicklung der berichteten mittleren Dosis findet sich im Bericht „Grundlagen zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (Grundlagenbericht, nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841).

Der größte Beitrag erfolgt durch medizinische Anwendungen, insbesondere aus Computertomographie-Untersuchungen. Eine weitere wesentliche Quelle der Strahlenexposition ist das natürlich vorkommende Edelgas Radon und die Inhalation seiner Folgeprodukte, welche sich insbesondere in schlecht gelüfteten Räumen ansammeln. Hierbei ist zu beachten, dass die Werte über die gesamte Bevölkerung gemittelte effektive Dosen darstellen. Die tatsächliche Jahresdosis einer Person hängt stark von den individuellen Gegebenheiten ab.

Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung im Jahr 2021, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands und aufgeschlüsselt nach Strahlenursprung

			mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1.	natürliche Strahlenexposition			
	1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
	1.2	durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 0,4	
		davon bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,1
		davon bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)		ca. 0,3
	1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
		davon bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,2
		davon bei Aufenthalt im Gebäude (19 Std./Tag)		ca. 0,9
	1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition			**ca. 2,1**	
2.	zivilisatorische Strahlenexposition			
	2.1	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	<0,01	
	2.2	Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	<0,01	
	2.3	durch kerntechnische Anlagen	<0,01	
	2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin* (ohne Therapie)	ca. 1,7	
		davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen		ca. 0,05
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition			**ca. 1,7**	

* Daten von 2018

Natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürliche radioaktive Stoffe in der Umwelt sowie der Höhenstrahlung, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Strahlung des natürlichen Radionuklids K-40 sowie der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des U-238 und des Th-232 aus dem Boden und den Gebäuden bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation der Zerfallsprodukte des natürlichen Edelgases Radon (Radonfolgeprodukte) verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung einschließlich des Trinkwassers. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 2 bis 3 mSv. Unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission empfohlenen Dosisfaktoren ergibt sich ein mittlerer nomineller Wert von 2,1 mSv pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen im jährlichen Vergleich sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH im ehemaligen Uranerzbergbaugebiet in Sachsen und Thüringen werden über Luft und Wässer Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe freigesetzt, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden in die Umwelt abgeleitet werden. Eine bergbaubedingt erhöhte Radonkonzentration in der bodennahen

Luft tritt nur in der unmittelbaren Nähe bergbaulicher Anlagen auf und nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Messergebnissen für die o. g. Uranbergbaugebiete eine für geologisch vergleichbare Gebiete zu erwartende hohe Radonkonzentration natürlichen Ursprungs. Die Ableitung von Uran, Radium und deren Zerfallsprodukten aus bergbaulichen Anlagen in die Vorfluter der Bergbaugebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide in den Vorflutern. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe (Rn-222 und langlebige Alpha-Strahler, Uran und Ra-226) mit Fortluft und Abwasser der untertägigen Grubenfelder im Bereich der Wismut-Sanierungsbetriebe unterliegen je nach Sanierungs- und Witterungsverlauf Schwankungen und weisen insgesamt eine abnehmende Tendenz auf.

Radon in Gebäuden

Der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Radon in Aufenthaltsräumen beträgt in Deutschland ca. 50 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3); dies entspricht einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. Dazu kommen 0,2 mSv im Außenbereich. In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben beträchtliche regionale Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlicher radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und in geringem Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt radioaktiver Stoffe bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten. Das Strahlenschutzgesetz sieht einen Referenzwert von 300 Bq/m^3 vor. Bis 2020 mussten die Bundesländer die Gebiete mit hohem Radon-Vorkommen ermitteln und bekanntgeben. Die Anforderungen an Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Wohngebäuden und an Arbeitsplätzen wurden in der Strahlenschutzverordnung ausgearbeitet und werden durch Normen untersetzt.

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Aktuelle Untersuchungen der Konzentrationen der natürlichen Radionuklide Ra-226, Th-232 sowie K-40 in üblichen industriell gefertigten Baumaterialien für den Innenraumbereich bestätigen, dass die durch sie verursachte Dosis im Mittel bei etwa 0,3 mSv pro Jahr liegt und nur in Einzelfällen 1 mSv pro Jahr erreicht oder überschritten werden. Damit wird der im Strahlenschutzgesetz festgelegte Referenzwert zur Begrenzung der Strahlenexposition aus Baustoffen in aller Regel eingehalten. Es wurde auch die Abgabe von Rn-222 aus mineralischen Baumaterialien berücksichtigt, doch diese erwies sich generell als gering. Auch bei im häuslichen Bereich verwendeten Naturwerksteinmaterialien wurde festgestellt, dass diese in den überwiegenden Fällen selbst bei großflächiger Anwendung keine erhöhte Strahlenexposition verursachen.

Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. In den Jahren 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 wurden insgesamt sechs unterirdische Kernwaffentests in Nordkorea durchgeführt (siehe auch Abbildung B II 1.1-1). Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Vertrag über das Verbot von oberirdischen Kernwaffenversuchen von 1963 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Im April 1986 kam es im Kernkraftwerk Tschernobyl zu einem folgenschweren Reaktorunfall. In den folgenden Tagen wurden große Mengen Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und über ganz Europa verteilt. In Deutschland waren vor allem Gebiete in Süddeutschland vom radioaktiven Niederschlag betroffen. Die Bodenkontamination mit Cs-137 erreichte hier teilweise bis zu 100 000 Bq/m^2.

Im Jahr 2021 nahm die Strahlenbelastung infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als 0,01 mSv. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90 % durch die Bodenstrahlung von Cs-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes radioaktives Cäsium für das Jahr 2021 beträgt geschätzt 0,001 mSv. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition um eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet weiterhin in einigen Fällen den zulässigen Höchstwert (EU 2020/1158) der Cs-137-Kontamination von 600 Bq/kg.

Kerntechnik

Die für 2021 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) berechneten Werte der Exposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 12 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Exposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Gesamtstromerzeugung aus sechs in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken verringerte sich im Jahr 2021 auf 69,1 Terawattstunden (TWh).

Berufliche Expositionen

In Deutschland unterliegen alle Personen, die in ihrem Arbeitsumfeld ionisierender Strahlung ausgesetzt sind, der Strahlenschutzüberwachung. Dies betrifft sowohl Arbeitsplätze im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen (Medizin, Kerntechnik, allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, fliegendes Personal) als auch im Zusammenhang mit bestehenden Expositionssituationen (Beschäftigte an Arbeitsplätzen mit erhöhter Exposition durch Radon oder durch radioaktive Altlasten). Im Rahmen der beruflichen Überwachung werden Dosiswerte aller betroffenen Beschäftigten erhoben und im Strahlenschutzregister (SSR) gespeichert und bilanziert.

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland ca. 418 000 Personen strahlenschutzüberwacht. Die Beschäftigten aus dem Bereich der Medizin stellten mit 77 % die größte Gruppe aller durch das SSR überwachten Personen dar. Die mittlere effektive Jahresdosis aller strahlenschutzüberwachten Personen betrug 0,1 mSv.

Mit ca. 102 000 Personen hat jedoch nur ein Viertel aller strahlenschutzüberwachten Personen eine messbare Dosis erhalten. Deren mittlere effektive Jahresdosis betrug 0,5 mSv. Die beiden größten Gruppen unter den messbar exponierten Personen stellten mit etwa 55 000 Personen (54 %) das medizinische und mit ca. 31 000 Personen (31 %) das fliegende Personal dar. Die mittlere effektive Jahresdosis lag für messbar exponierte Beschäftigte aus dem Bereich der Medizin bei 0,3 mSv, aus dem kerntechnischen Bereich bei 0,8 mSv, aus der allgemeinen Industrie bei 0,8 mSv, aus dem Bereich Forschung und Lehre bei 0,2 mSv sowie für fliegendes Personal bei 0,8 mSv.

Insgesamt kann für Arbeitsplätze im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen festgestellt werden, dass die mittleren beruflichen Expositionen, verglichen mit der mittleren natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung (2,1 mSv pro Person und Jahr), auf einem niedrigen Niveau liegen. Dies spricht allgemein für eine erfolgreiche Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen im beruflichen Strahlenschutz.

Von den Personen, die im Rahmen einer bestehenden Expositionssituation im Jahr 2021 dosimetrisch überwacht wurden, wiesen Beschäftigte im Bereich der Altlasten-Sanierung eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,8 mSv und Personen an Radon-Arbeitsplätzen einen Wert von 2,4 mSv auf. Damit liegen die Durchschnittswerte im Bereich Radon deutlich über denen aller anderen Berufsgruppen. Der höhere Durchschnittswert im Bereich Radon gegenüber den Personen in geplanten Expositionssituationen ist so zu erwarten, da bei Radon die verpflichtende dosimetrische Überwachung erst ab einer möglichen effektiven Jahresdosis von 6 mSv einsetzt, bei allen anderen Berufsgruppen bereits ab 1 mSv.

Im Jahr 2021 kam es nach den dem SSR vorliegenden Daten zu einer Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die effektive Dosis von 20 mSv, zu fünf Überschreitungen des Jahresgrenzwertes für die Organ-Äquivalentdosis der Hand von 500 mSv, zu 30 Überschreitungen des Monatsgrenzwertes für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter von 2 mSv und zu einer Überschreitung der Berufslebensdosis von 400 mSv.

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Daher erhebt das BfS seit 1991 regelmäßig Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Im vorliegenden Bericht werden Daten der Jahre 2007 bis 2018 präsentiert.

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2018 auf ca. 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2018 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen. Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro Kopf verursacht. Demgegenüber nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2018 ab. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich vaskulärer interventioneller Maßnahmen) tragen weniger als 15 % zu der Gesamthäufigkeit von durchschnittlich etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2018 jedoch mehr als 80 %.

Die mittlere Anzahl von nuklearmedizinischen Untersuchungen für 2016-2018 ist mit ca. 25 pro 1 000 Einwohnern - verglichen mit der Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen - gering. Mit ca. einem Drittel werden Schilddrüsenuntersuchungen am häufigsten durchgeführt. Für die nuklearmedizinische Diagnostik wurde eine über den Zeitraum 2016 bis 2018 gemittelte effektive Dosis von etwa 0,05 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt (ohne Berücksichtigung der CT-Dosis bei Hybriduntersuchungen). Die relativ dosisintensive Positronen-Emissions-Tomographie (PET) gewinnt auf Grund der hohen diagnostischen Aussagekraft als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren immer mehr an Bedeutung. Dabei ersetzen PET/CT-Untersuchungen immer mehr isolierte PET-Untersuchungen.

Zwischen 2005 und 2009 wurde in Deutschland das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm eingeführt und wird seither flächendeckend angeboten. Zielgruppe sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Anspruchsberechtigt sind ca. 11 Mio. Frauen, die alle zwei Jahre eine Einladung erhalten. Die Teilnahmerate lag 2019 bei 50 %.

Radioaktive Abfälle

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2021, mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen, 20 253 t Rohabfälle und vorbehandelte Abfälle. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf

ca. 18 122 m^3, von denen 4 768 m^3 schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit ca. 112 394 m^3, hiervon ist bei etwa 2 936 m^3 die Produktkontrolle abgeschlossen, so dass sie zur Einlagerung in das zukünftige Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 145 m^3 und 26 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen, sie sollen bei der Standortsuche für das Endlager nach dem Standortauswahlgesetz berücksichtigt werden.

Bis zum 31. Dezember 2021 sind in Deutschland insgesamt ca.16 106 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden 6 673 t SM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben. Neuere Zahlen liegen nicht vor.

Zusätzlich sind in Deutschland insgesamt 190 t SM in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen der Großteil wiederaufgearbeitet wurde.

Nichtionisierende Strahlung

Die Sonne ist eine natürliche Quelle nichtionisierender Strahlung. Nichtionisierende Strahlung kann aber auch künstlich erzeugt werden. Mit zunehmender Technisierung der Umwelt steigt die Zahl künstlicher Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen. Diese Tatsache stellte auch 2021 eine Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Um die Risikobewertung bezüglich gesundheitlicher Wirkungen nichtionisierender Strahlung auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurden im Rahmen des Ressortforschungsplans des Bundesumweltministeriums (BMUV) vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den Bereichen „elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder“ sowie „optische Strahlung“ auch 2021 Forschungsvorhaben initiiert und koordiniert. Die Statusberichte und Ergebnisse der 2021 abgeschlossenen Studien sind im Programmreport 2021 veröffentlicht. Ausgehend von dem wissenschaftlichen Kenntnisstand werden zum Schutz der Menschen und der Umwelt vor nachgewiesenen Risiken durch nichtionisierende Strahlung interdisziplinär und in Kooperation mit weiteren Behörden und Institutionen Strahlenschutzkonzepte erarbeitet und umgesetzt sowie die Bevölkerung umfassend informiert.

Um die Forschung und Kommunikation im Bereich **„elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder"** zu intensivieren, wurde am 5. Februar 2020 das Kompetenzzentrum elektromagnetische Felder (KEMF) als Teil des BfS gegründet.

Ein Schwerpunkt der Forschungs- und Kommunikationsaktivitäten von BMUV und KEMF liegt aktuell bei der Einführung der 5. Mobilfunkgeneration (5G). Hierbei handelt es sich um einen Mobilfunkstandard, der neben zahlreichen Anwendungen in der Industrie unter anderem dazu benutzt werden soll, Smart Homes zu vernetzen und ein autonomes Fahren zu ermöglichen. Bei der Frequenzauktion im Frühjahr 2019 wurden Frequenzbereiche bei 2 GHz und 3,6 GHz versteigert, die für vergleichbare Mobilfunknutzungen bereits eingesetzt werden. UMTS (3G) wurde bis Ende 2021 vollständig abgeschaltet und die freigewordenen Frequenzen werden nun größtenteils für 5G genutzt. Zukünftig werden für 5 G noch wesentlich höhere Frequenzbereiche als bisher genutzt werden, die aber auf Grund ihrer kurzen Reichweite nicht flächendeckend zum Einsatz kommen, sondern für lokale Anwendungen eingesetzt werden (sogenannte Campuslösungen). Diese höheren Frequenzen (über 20 GHz) befinden sich in einigen Regionen Deutschlands in einer Testphase. Auf Grund stets steigender Datenübertragungsraten werden mehr Sendeanlagen benötigt und mit dem Rollout von 5G wird eine weitere Zunahme erwartet. Auch kommen neue Antennentypen mit speziellen Abstrahlcharakteristika zum Einsatz. Diese Neuerungen führen zu einer erhöhten Besorgnis der Bevölkerung. Gleichzeitig wurden im Bereich der hohen Frequenzen Wissenslücken identifiziert. Das BfS hat hierzu begleitende Forschung initiiert.

Ein weiterer Schwerpunkt ist der Ausbau der Stromnetze. Bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (z. B. Stromleitungen) sind vom Netzbetreiber die Möglichkeiten zu prüfen und ggf. auszuschöpfen, um die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Grundsätzlich gilt, dass bei Einhaltung der Grenzwerte gesundheitliche Risiken bis dato nicht nachgewiesen sind. Es bestehen jedoch in einigen Bereichen wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung, z. B. ist die Ursache für einen beobachteten Zusammenhang zwischen einem schwach erhöhten Leukämieerkrankungsrisiko im Kindesalter und einer erhöhten hä uslichen Magnetfeldexposition weiterhin nicht geklärt. Um die daraus und aus anderen offenen wissenschaftlichen Fra gestellungen resultierenden Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern, führt das BfS ein begleitendes Fors chungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. In insgesamt zehn Themenfeldern werden 39 einzelne Forschungsvorhaben durchgeführt. Über die Ergebnisse informiert das BfS transparent auf der Webseite https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/laufend/stromnetzausbau/forschungsprogramm.html.

Im Bereich **„optische Strahlung“** sind vor allem die stetige Zunahme an Hautkrebsneuerkrankungen sowie die Verwendung künstlich erzeugter optischer Strahlung zu kosmetischen Zwecken und im Wellnessbereich Grund für Forschung und Erarbeitung effektiver Strahlenschutzkonzepte sowie Optimierung der Risikokommunikation und der Informationsmaßnahmen des BfS. Auch die missbräuchliche Verwendung starker optischer Strahlungsquellen wie beispielsweise Laserpointer ist ein strahlenschutzrelevantes Thema.

Im Jahr 2021 rückte im Zuge der Covid-19-Pandemie das Thema Nutzung von UV-C-Strahlung zu Desinfektionszwecken in den Vordergrund. Da es sich auch bei UV-C um einen von der IARC in Gruppe 1 (krebserregend beim Menschen) eingestuften Teil der optischen Strahlung handelt, ist die Sicherheit exponierter Personen zu bedenken. So be-

teiligte sich das BfS an der Erarbeitung einer Technischen Spezifikation zu UV-C - Sekundärluftgeräten (DIN TS 67506).

Eine weitere aktuelle Fragestellung ist die Beurteilung der Sicherheit von Fern-UV-C-Quellen (meist mit Wellenlängen um 222 nm), die beispielsweise zur Desinfektion von Raumluft in Anwesenheit von Personen genutzt werden sollen. Hier gilt das besondere Augenmerk der Sicherheit empfindlicher Personengruppen.

Die kontinuierlichen Messungen der bodennahen, erythemwirksamen solaren UV-Bestrahlungsstärke im UV-Messnetz (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) ergaben, dass im Jahr 2021 die höchsten ermittelten Tagesspitzenwerte des UV-Index in Nord- und Mitteldeutschland im Juni und Juli im Bereich von 6 bis 8 und in Süddeutschland im Bereich von 7 bis 9 lagen. Im Hochgebirge wurden im Mai, Juni und Juli 2021 UVI-Werte von 8 bis 11 erreicht.

Die Forschung, die vom BfS initiiert und im Rahmen des Ressortforschungsplans des BMUV fachlich begleitet wird, konzentrierte sich im Bereich „Optische Strahlung“ 2021 auf die Themen „Mikroskalige Modellierung von UV-Belastung“, „Verhältnispräventive Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen“ und „Missbrauch starker optischer Strahlungsquellen - Blendattacken und Augenschäden“.

Das Thema „Klimawandel und UV-Strahlung“ wurde mit der Veröffentlichung der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (KWRA 2021) und der aktualisierten S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ in den Fokus des Interesses gebracht.

In Bezug auf die gesetzlichen Regelungen des Solarienbetriebs unterstützten das BfS und das BMUV auch 2021 die Landesbehörden bei ihrer Kontrollaufgabe.

Sichtbares Licht - vor allem künstlich erzeugtes Licht - birgt im Rahmen von neuen Beleuchtungstechnologien strahlenschutzspezifische Probleme. So können so genannte „Temporal Light Artefacts“ (TLA) - unterschiedliche visuelle Effekte, die durch Schwankungen der Lichtintensität oder der spektralen Verteilung einer Lichtquelle entstehen, wie beispielsweise „Flimmern“ - Gesundheit und Wohlergehen negativ beeinflussen. Das BfS führte 2021 einen Fachexperten-Online-Workshop zu diesem Thema durch. Das Thema wird weiter verfolgt.

SUMMARY

The levels of radioactivity in the human environment, as measured by the official measuring stations, have been published in the form of quarterly reports since 1958 and in the form of annual reports since 1968. These reports contain not only the results of the monitoring of environmental radioactivity but also information on the exposure of the population to radiation from natural and artificial sources.

The table below shows the average radiation exposure of a German citizen in 2021 broken down by the various radiation sources. The average effective dose is about 3.8 millisieverts (mSv) per person per year. A graphic of the temporal development of the reported mean dose can be found in the report "Grundlagen zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" [Basics of environmental radioactivity and radiation exposure] (basic report, nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841).

Medical applications - and particularly computed tomography (CT) examinations - are the greatest contributor to this dose. Another major source of radiation exposure is the naturally occurring noble gas radon - along with the inhalation of its decay products, which accumulate especially in poorly ventilated rooms. These values represent effective doses determined across the entire population. The actual annual dose that a person receives depends strongly on their individual circumstances.

Annual effective dose to a person from ionising radiation in 2021 averaged over the population of Germany and broken down by source of radiation

		Mean effective dose in millisieverts (mSv/y) per year		
1.	Radiation exposure from natural sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx.	0.3	
1.2	external terrestrial radiation	approx.	0.4	
	thereof outdoors (5 h/d)			approx. 0.1
	thereof indoors (19 h/d)			approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its decay products	approx.	1.1	
	thereof outdoors (5 h/d)			approx. 0.2
	thereof indoors (19 h/d)			approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx.	0.3	
Total natural radiation exposure		**approx.**	2.1	
2.	Radiation exposure from man-made sources			
2.1	fallout from nuclear weapons tests		<0.01	
2.2	effects from the accident in the Chernobyl nuclear power plant		<0.01	
2.3	nuclear plants		<0.01	
2.4	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine* (therapy excluded)	approx.	1.7	
	thereof from diagnostic nuclear medicine			approx. 0.05
Total of man-made radiation exposure		**approx.**	1.7	

* according to data from 2018

Natural sources of radiation

Natural radiation exposure is made up of an external and an internal component and is caused by natural radioactive substances in the environment as well as cosmic radiation. The main contributors to external radiation exposure are cosmic radiation and radiation from the natural radionuclide K-40 as well as radionuclides of the natural decay series of U-238 and Th-232 from the ground and buildings. The internal components of radiation exposure are due mainly to the inhalation of decay products of the natural noble gas radon (radon decay products) and partly to the ingestion of natural radioactive substances in foodstuffs and drinking water. Typically, the annual effective dose from natural sources of radiation is in the range of 2 to 3 mSv. Applying the dose factors recommended by the German Commission on Radiological Protection (SSK) yields an average nominal value of 2.1 mSv per year. The inhalation of radon in buildings makes a particularly substantial contribution to this. In the context of an annual comparison, the differences in exposure to radiation from natural sources are minor. The individual contributions to the average annual effective dose are set out in the table above.

Mining and industry relics

In the process of remediation works carried out by Wismut GmbH in the former uranium ore mining area in Saxony and Thuringia, radionuclides of the uranium/radium decay chain are released into the air and water. These discharges into

the environment are made with the permission of the competent authorities. A mining-related increase in the concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; this concentration decreases quickly with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements in the aforementioned uranium mining regions reveal a high radon concentration of natural origin. This is to be expected for geologically comparable regions. The discharge of uranium and radium and their respective decay products from mining facilities into drainage areas of the mining regions does not cause an appreciable change to the natural level of these radionuclides in these areas. The discharge of radioactive substances (Rn-222 and long-lived alpha emitters, uranium and Ra-226) through the exhaust air and effluents from subsurface mining facilities in areas belonging to the Wismut redevelopment project are subject to certain fluctuations, depending on the course of remediation measures and the weather, but show a decreasing tendency altogether.

Radon in buildings

In Germany, the annual average of the activity concentration of radon in indoor air is approx. 50 becquerels per cubic metre (Bq/m^3), which corresponds to an average annual effective dose of approx. 0.9 mSv. That is in addition to a further 0.2 mSv in outdoor areas. Measurements carried out in recent years have revealed considerable regional differences in natural radiation exposure. These are due to considerable differences in the concentration of natural radioactive substances in the ground and air. The exposure of the population to radiation resulting from the inhalation of radon and its decay products increases as a result of building houses on sites with increased uranium and radium content and, to a small extent, the use of construction materials with an increased level of radioactive substances. The Radiation Protection Act provides for a reference value of 300 Bq/m^3. By no later than 2020, the federal states had to identify and report those areas with high radon reserves. The requirements for radon protection measures in residential buildings and workplaces were formulated in the Radiation Protection Ordinance and are supported by standards.

Radioactive substances in building materials and industrial products

Current analyses of the concentrations of the natural radionuclides Ra-226, Th-232 and K-40 in typical industrially produced building materials for indoor use confirm that the dose resulting from these materials is approximately 0.3 mSv per year on average and that the level of 1 mSv per year is reached or exceeded only in isolated cases. Accordingly, materials generally adhere to the reference level defined in the Radiation Protection Act with a view to limiting radiation exposure from building materials. Account was also taken of the release of Rn-222 from mineral building materials; however, this was generally found to be low. Likewise, natural stone materials in domestic applications were not found to result in increased radiation exposure in the vast majority of cases - even when used over large areas.

Nuclear weapons tests

From 1945 to 1980, many above-ground nuclear weapons tests were carried out. Since 1981, nuclear weapons tests have taken place only underground. In 2006, 2009, 2013, 2016 and 2017, six underground nuclear weapons tests were carried out in North Korea (see Figure B II 1.1-1). The general level of environmental radioactivity resulting from previous nuclear weapons testing in the atmosphere has decreased steadily since the signing of the treaty banning above-ground nuclear weapons tests in 1963. The proportion of overall human radiation exposure attributed to such testing is currently less than 0.01 mSv per year.

Chernobyl reactor accident

In April 1986, there was a serious reactor accident at Chernobyl Nuclear Power Plant. Over the subsequent days, large quantities of radionuclides were released into the atmosphere and spread across Europe. In Germany, mainly areas in southern Germany were affected by the radioactive fallout. Soil contamination with Cs-137 here reached up to 100,000 Bq/m^2 in some cases.

In 2021, there was another slight decrease in radiation exposure because of the reactor accident; the average effective dose was less than 0.01 mSv. This exposure therefore equated to considerably less than 1% of the level of natural radiation exposure. Up to 90% of it is caused by terrestrial radiation from Cs-137. For 2021, the average effective dose resulting from radioactive caesium ingested with foodstuffs is estimated at 0.001 mSv. In Southern Germany, the corresponding level of radiation exposure may be up to one order of magnitude higher. In particular, meat from wild boar continues to exceed the permissible maximum (EU 2020/1158) of 600 Bq/kg of Cs-137 contamination in some cases.

Nuclear engineering

The exposure values calculated in 2021 from the annual activity derivatives for radioactive substances in accordance with the general administrative regulation for calculating the exposure of members of the public resulting from activities subject to licence or notification (AVV Tätigkeiten) did not exceed the dose limits set out in the Radiation Protection Ordinance. These values are within the range of the corresponding values from the previous year. In the case of the effective dose and the individual organ doses, these are less than 12% of the respective dose limit. Accordingly, the upper values for exposure resulting from activity discharges of radioactive substances from nuclear facilities are considerably smaller than the range of variation of natural radiation exposure in the Federal Republic of Germany.

In 2021, the total power generation from six operative nuclear power plants decreased to 69.1 terawatt-hours (TWh).

Occupational exposure

In Germany, all people who are exposed to ionising radiation in their working environment are subject to radiation protection monitoring. This concerns workplaces in connection with planned exposure situations (e.g. medicine, nuclear technology, general industry, research and teaching, flying personnel) as well as in connection with existing exposure situations (e.g. employees in workplaces with increased exposure to radon or to radioactive contaminated sites). As part of occupational monitoring, dose values are collected for all affected workers and recorded and assessed in the Radiation Protection Register.

In 2021, approx. 418,000 people in Germany were subject to radiation protection monitoring. Medical workers represented the largest group (77%) of all persons monitored by the register. The average annual effective dose of all persons exposed to radiation was 0.1 mSv.

However, only a quarter of all individuals exposed to radiation - just under 102,000 people - received a measurable dose. Their average annual effective dose was 0.5 mSv. The two largest groups among measurably exposed persons were medical personnel (about 55,000 persons or 54%) and flying personnel (31,000 persons or 31%). The mean effective annual dose for measurably exposed employees from the medical sector was 0.3 mSv, from the nuclear sector, 0.8 mSv, from general industry, 0.8 mSv, from the research and teaching sector, 0.2 mSv, and for flying personnel, 0.8 mSv.

Overall, for workplaces in connection with planned exposure situations, the mean occupational exposures are at a low level compared with the mean natural radiation exposure of the general population (2.1 mSv per person and year). This generally speaks for a successful implementation of optimisation measures in occupational radiation protection.

Of the persons who were dosimetrically monitored in the context of an existing exposure situation in 2021, employees involved in the remediation of contaminated sites had a mean effective annual dose of 0.8 mSv, and persons at radon workplaces had a mean effective annual dose of 2.4 mSv. This means that the average values in the area of radon are considerably higher than those of all other occupational groups. The higher average value in the area of radon compared with persons in planned exposure situations is to be expected. That‘s because, in the case of radon, the obligatory dosimetric monitoring starts from a possible effective annual dose of 6 mSv. For all other occupational groups, this starts from 1 mSv.

In 2021, according to the data available to the Radiation Protection Register, there was one exceedance of the annual effective dose limit of 20 mSv, five exceedances of the annual hand organ equivalent dose limit of 500 mSv, 30 exceedances of the monthly uterine organ equivalent dose limit of 2 mSv, and one exceedance of the occupational lifetime dose limit of 400 mSv.

Medical applications

The largest contribution to civilisational radiation exposure of the population results from medical applications of ionising radiation and radioactive substances - and especially from radiodiagnostics. With this in mind, the BfS has been collecting and analysing data on medical radiation exposure in Germany on a regular basis since 1991. This report presents data from 2007 to 2018.

In 2018, the average effective dose from X-ray examinations per resident in Germany was approx. 1.6 mSv. Overall, the average effective dose per resident per year increased between 2007 and 2018. This rising trend is primarily due to the increase in the frequency of CT scans and the resulting increase in effective dose per capita. In contrast, the effective dose per resident for the sum of the remaining examination techniques decreased between 2007 and 2018. Computed tomography and angiography (including vascular interventions), which is also a dose-intensive technique, account for less than 15% of the average total frequency of approx. 1.6 radiographic examinations per resident per year. However, they accounted for over 80% of the collective effective dose in 2018.

At 25 per 1,000 residents, the average number of nuclear medical examinations for 2016-2018 is low compared with the frequency of radiographic procedures. The most common of these examinations are thyroid scans, which account for about one third of such examinations. Averaged over the period from 2016 to 2018, the effective dose per resident per year resulting from diagnostic nuclear medicine was approx. 0.05 mSv (without taking into account the CT dose in the case of hybrid examinations). The relatively dose-intensive technique of positron-emission tomography (PET) is becoming an increasingly important technology for nuclear medical examinations by virtue of its high diagnostic value - with PET/CT scans increasingly replacing PET-only scans.

The quality-assured and population-based Mammography Screening Programme introduced in Germany between 2005 and 2009 has been offered on a widespread basis since then. Its target group includes all (symptom-free) women between the ages of 50 and 69. Approximately 11 million women are eligible to take advantage of the programme and receive an invitation to do so every two years. In 2019, the participation rate was 50%.

Radioactive waste

On 31 December 2021, 20,253 t of raw and pre-treated waste were held in storage at the waste producers and destined either for Konrad or another final repository. The stock of waste products in inner containers amounted to approx. 18,122 m^3 of which 4,768 m^3 are already product-controlled. At present, this includes at least the radiological part of the product control. The largest stock consists of waste products in Konrad containers with a volume of approx. 112,394

m^3 of which some 2,936 m^3 have been subjected to product monitoring and could therefore be called up for emplacement in the future Konrad repository. Only 145 m^3 and 26 t of radioactive waste are not currently designated for storage in the Konrad repository; this is to be taken into account in the search for a repository site in accordance with the Repository Site Selection Act.

By 31 December 2021, approx. 16,106 tHM (tonnes of heavy metal = uranium + plutonium) had accumulated in the form of irradiated fuel elements. Of this, approx. 6,673 tHM were submitted for reprocessing abroad or in other facilities. More recent figures are not available.

In addition, 190 tHM have arisen in Germany in the form of fuel elements from experimental and demonstration reactors and have, for the most part, been reprocessed.

Non-Ionising radiation

The sun is a natural source of non-ionising radiation.Non-ionising radiation can also be produced through artificial means. Indeed, the increasing mechanisation of the environment is leading to a rising number of artificial sources that contribute to the exposure of the general public to non-ionising radiation. This fact was once again a challenge for radiation protection in 2021. In order to be able to carry out the risk assessment in relation to the health effects of non-ionising radiation based on solid data, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) also initiated and coordinated research projects in the areas of “electric, magnetic and electromagnetic fields” and “optical radiation” in 2021 within the framework of the departmental research plan of the Federal Environment Ministry (BMUV). The status reports and results of the studies completed in 2021 are published in the 2021 Programme Report. Based on current scientific knowledge, radiation protection concepts are drawn up and implemented and the population is provided with comprehensive information in an interdisciplinary manner and in collaboration with other authorities and institutions in order to protect people and the environment from the proven risks of non-ionising radiation.

In order to intensify research and communication in the area of “**electric, magnetic and electromagnetic fields**”, the Competence Centre for Electromagnetic Fields (KEMF) was founded as part of the BfS on 5 February 2020.

At present, one of the key areas of research and communication activities by the BMUV and KEMF is the introduction of the fifth generation of mobile communications (5G). Among other applications, this mobile radio standard is to be used to network smart homes and pave the way for autonomous driving in addition to numerous applications in industry. The spectrum auction in spring 2019 included frequency ranges at 2 GHz and 3.6 GHz that are already used for comparable applications in mobile communications UMTS (3G) was completely switched off by the end of 2021, and the freed-up frequencies are now largely used for 5G. However, 5G will also involve the use of considerably higher frequency ranges than before. Because of the short range of these frequencies they will not be used over a wide area but rather for localised applications (“campus solutions”). These higher frequencies (above 20 GHz) are currently in a test phase in some regions of Germany. Given the steady increase in data transfer rates, there is a need for increasingly more transmitters – and the 5G roll-out is expected to bring a further increase in their use. Meanwhile, new types of antennas with special radiation characteristics are also being used. These innovations are leading to greater concerns among the general public. Knowledge gaps were also identified in the area of high frequencies. The BfS has initiated accompanying research into this matter.

Another key area is the expansion of power grids. When constructing and substantially modifying low-frequency and direct-current installations (e.g. power lines), the grid operator shall examine and, if necessary, exhaust the possibiliti es in order to minimise the electric and magnetic fields emitted by the installation according to the state of the art takin g into account conditions in the area of impact. In principle, health risks have not yet been proven if the limit values ar e complied with. However, there are scientific uncertainties in risk assessment in some areas (e.g. the cause of an ob -served association between a slightly increased risk of childhood leukaemia and increased exposure to magnetic fiel ds at home remains unclear). In order to reduce the uncertainties in risk assessment resulting from this and other una n-swered scientific questions, the BfS is conducting an accompanying research programme into "Radiation Protection in Power Grid Expansion". As part of this programme, 39 individual research projects will be carried out in 10 subject ar-eas. The BfS provides transparent information about the results on its website at: https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/laufend/stromnetzausbau/forschungsprogramm.html.

When it comes to “**optical radiation**”, it is above all the steady increase in new cases of skin cancer and the use of artificially generated optical radiation for cosmetic purposes and in the wellness sector that give cause for research and development in relation to effective radiation protection concepts, as well as the optimisation of risk communication and information activities on the part of the BfS. The misuse of strong sources of optical radiation (e. g. laser pointers) is another important issue in the area of radiation protection.

In 2021, the use of UV-C radiation for disinfection purposes came to the fore in the wake of the COVID-19 pandemic. Because UV-C is also a part of optical radiation classified by the IARC in Group 1 (carcinogenic to humans), the safety of exposed persons must be considered. For example, the BfS participated in the development of a technical specification for UV-C secondary air devices (DIN TS 67506).

Another current issue is the assessment of the safety of remote UV-C sources (mostly with wavelengths around 222 nm), which are to be used to disinfect indoor air in the presence of people, among other things. Here, special attention is paid to the safety of sensitive groups of people.

The continuous measurements of the ground-level, erythema-effective solar UV irradiance in the UV measuring network (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) showed that in 2021, the highest determined daily peak values of the UV index were between 6 and 8 in northern and central Germany in June and July and between 7 and 9 in southern Germany. In the high mountains, UVI values between 8 and 11 were reached in May, June, and July 2021.

The research, initiated by the BfS and technically supported within the framework of the departmental research plan of the BMUV, focused in the area of "Optical Radiation" 2021 on the topics of "Microscale Modelling of UV Exposure", "Proportionate Preventive Measures to Prevent UV-Related Illnesses in Day Care Centres and Schools", and "Misuse of Strong Optical Radiation Sources - Glare Attacks and Eye Damage".

The topic of "climate change and UV radiation" was brought into focus with the publication of the Climate Impact and Risk Analysis for Germany 2021 (KWRA 2021) and the updated S3 guideline "Prevention of Skin Cancer".

With respect to the legal regulations on sun-bed operation, the BfS and the BMUV also supported the state authorities with their control task in 2021.

Visible light - especially artificially generated light - poses radiation protection-specific problems in the context of new lighting technologies. Temporal light artefacts (TLA) - different visual effects caused by variations in light intensity or spectral distribution of a light source such as flicker - can have a negative impact on health and well-being. The BfS conducted an expert on-line workshop on this topic in 2021. The issue will be pursued further.

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürliche Umweltradioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede. Diese sind bedingt durch die unterschiedlichen Gehalte des Erdbodens an Uran, Thorium und Kalium-40 (terrestrische Strahlung), durch die unterschiedliche Höhe über dem Meeresspiegel (kosmische Strahlung), durch die unterschiedlichen Konzentrationen des radioaktiven Edelgases Radon in der Atemluft und die regional unterschiedliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser. Dies führt, wie im Grundlagenbericht in Kapitel I zur natürlichen Umweltradioaktivität erläutert, insgesamt zu einer jährlichen Exposition von etwa 2 bis 3 mSv. Gegenüber den regionalen Schwankungen sind die Unterschiede der Exposition von Jahr zu Jahr gering, eine jährliche Neuerhebung dieser Daten ist deshalb nicht notwendig. Im Berichtsjahr wurden keine Untersuchungen durchgeführt, die die natürliche Komponente der Strahlenexposition weiter differenzieren. Untersuchungen dazu werden unregelmäßig zu spezifischen Fragen durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich jeweils im Programmreport.

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität

2.1 Hinterlassenschaften und Rückstände aus Bergbau und Industrie

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Emissions- und Immissionssituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht.

Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben der Bericht der zuständigen Landesbehörde/Messstelle und die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

2.1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft[1] und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen)

In Tabelle T I.1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2021 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - behördlich genehmigten Werten liegen.

In Tabelle T I.2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2020 und 2021 des Standorts Schlema/Alberoda der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Einen Überblick gibt Abbildung B I 2.1-1. Es wurden die aus dem Betrieb in den beiden Jahren insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. In Schlema/Alberoda liegen die Jahresableitungen von Rn-222 und langlebigen Alphastrahlern etwas höher als im Vorjahr der Vorjahreswerte. Die mittlere Radonkonzentration der Abwetter hat sich gegenüber dem Vorjahreswert um etwa 5 % erhöht. Dadurch hat sich auch die Jahresableitung an Radon von 112 TBq auf 117 TBq geringfügig vergrößert. In Dresden-Gittersee konnte die aktive Bewetterung eingestellt werden, so dass lediglich noch geringfügige Rn-222-Freisetzungen mit jahreszeitlich bedingten Schwankungen mit der natürlichen Bewetterung erfolgen. Deren Überwachung geschieht im Rahmen der Immissionsmessungen in der Umgebung.

Die berechnete Jahresableitung an langlebigen Alphastrahlern ist im Vergleich zum Vorjahr leicht gestiegen. Dies steht im Zusammenhang mit der Festlegung der REI Bergbau, dass Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze bei der Bilanzierung unberücksichtigt bleiben. Die Anzahl der Monate, bei der die Konzentration langlebiger Alphastrahler unter der geforderten Nachweisgrenze (1 mBq/m^3) des Messverfahrens lag und die deshalb bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden, hat sich von sieben Monaten im Jahr 2020 auf 8 Monate im Jahr 2021 erhöht. Die bilanzierte Jahresableitung an langlebigen Alphastrahlern erhöhte sich entsprechend von1 MBq im Vorjahr auf jetzt 1,7 MBq.

In Dresden-Gittersee erfolgten 2020 keine Ableitungen mehr und waren wegen zu geringer Konzentrationen bereits 2018 nicht mehr bilanzierbar. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und langlebigen Alphastrahlern werden inzwischen nur noch vom Standort Schlema/Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition unterschreitet größtenteils deutlich den geltenden Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung, in Einzelfällen lagen die Werte darüber.

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle T I.3 und Abbildung B I 2.1-2 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den behördlichen Genehmigungswerten. Die gesamte Abwassermenge ist 2021 gegenüber dem Vorjahr auf 16,1 m^3 leicht gestiegen und setzte sich aus den Niederschlagswässern sowie den hoch belasteten Wässern aus der Flutung, Porenwässern aus den verbliebenen industriellen Absetzanlagen sowie den Sickerwässern zusammen. Die Reduzierung der Abwassermengen an allen Vorflutern ist witterungs- sowie sanierungsbedingt. Die Freisetzungen von Uran und Ra-226 sind in ihrer Gesamtmenge etwas höher gegenüber denen des Jahres 2020. Die höheren Abwassermengen im Jahr 2021 in den Vorfluter Weiße Elster in Thüringen und Zwickauer Mulde in Sachsen führen zu einer etwas höheren Freisetzung von Uran sowie einer etwa gleich bleibenden Freisetzung von Ra-226 im Vergleich zum Vorjahr. Die Abwassermengen in die Elbe sind 2021 im Vergleich zum Vorjahr etwas mehr geworden, damit einhergehend erhöhte sich auch die Radioakti-

[1] Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

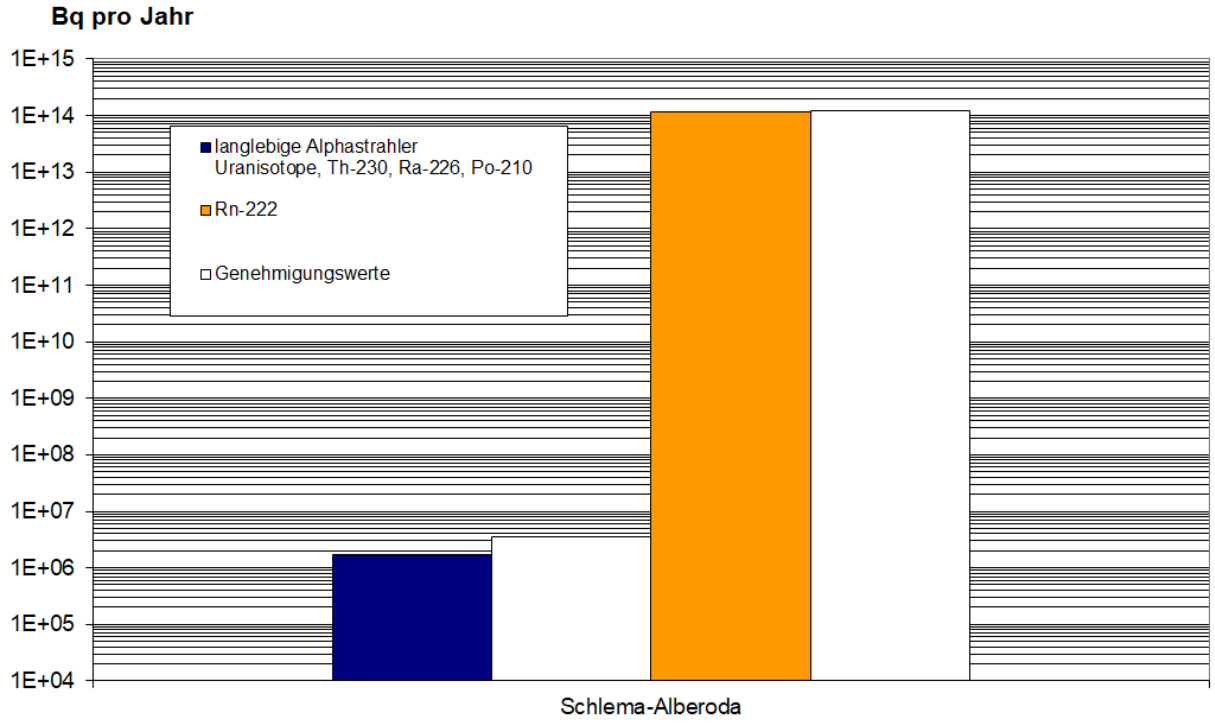
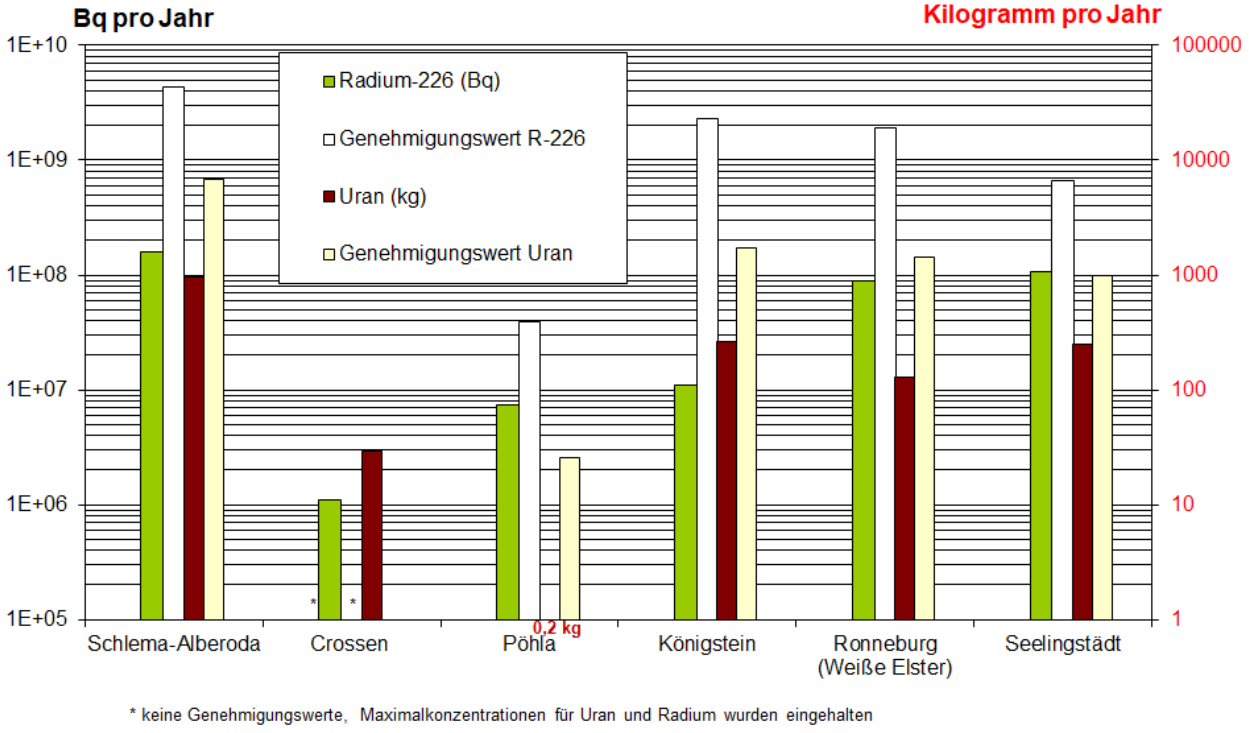


Abbildung B I 2.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2021
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in the Wismut remediation areas 2021)



* keine Genehmigungswerte, Maximalkonzentrationen für Uran und Radium wurden eingehalten

Abbildung B I 2.1-2 Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2021
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters from the Wismut remediation areas 2021)

vitätsfreisetzung leicht (siehe Tabelle T I.4). Alle Ableitungen liegen deutlich unter den Genehmigungswerten. Insgesamt belegen diese Werte die sichere Betriebsweise der weiter optimierten und teils erneuerten größeren Wasserbehandlungsanlagen..

Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien (äußere Strahlenexposition auf dem Ufersediment, innere Strahlenexposition durch Ingestion von Trinkwasser, innere Strahlenexposition durch Ingestion von kontaminiertem Fisch) im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,33 mSv/a betragen, so dass der geltende Referenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung in jedem Fall unterschritten wird.

Infolge des im fortschreitenden Sanierungsprozess verstärkt anfallenden Anteils der Sicker- und Porenwässer aus Absetzanlagen und Halden sowie der Behandlung kontaminierter Flutungswässer kann es teilweise zur Erhöhung oder Stagnation der Menge an abgeleiteten Radionukliden und Schadstoffen kommen. Infolge der Behandlung weiterer bergbaulich beeinflusster Wässer setzt langfristig jedoch eine Mengen- bzw. Konzentrationsabnahme ein.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin durch meteorologische Verhältnisse geprägten Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Größe darstellt. Die Funktion der Wasserbehandlungsanlagen (WBA) ist infolge ihrer Kapazitätserhöhung zuverlässig, da die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen stets unterschritten wurden.

Die behördlichen Genehmigungswerte für Abwässer aus den WBA (siehe Tabelle T I.5) wurden jeweils aus der von der zuständigen Landesbehörde genehmigten mittleren oder maximalen Wassermenge multipliziert mit der Maximalkonzentration bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration errechnet.

2.1.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen)

Im Folgenden werden die Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft und die Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern betrachtet, die durch die Sanierungstätigkeiten der Wismut GmbH beeinflusst werden können.

Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

Zur Überwachung der Luft werden gemäß der REI-Bergbau Messstellen zur Ermittlung der Rn-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die freigesetzte Rn-222-Menge aus den in industriellen Absetzanlagen und Halden deponierten Materialien kann dabei in der Größenordnung der jährlichen Ableitungsmengen nach Tabelle T I.2 liegen.

In Tabelle T I.6 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2020/2021 bis Sommer 2021 zusammengefasst. Die teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration resultieren aus der Lage einiger Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächte, große Halden) und Betriebsflächen. Insbesondere im Raum Schlema/Alberoda treten solche Situationen in Tallagen häufiger auf, die bei Trockenheit durch höhere Radonexhalation aus dem Boden verstärkt werden. In Abhängigkeit von den Witterungseinflüssen unterliegen diese Rn-222-Freisetzungen aus den bergbaulichen Anlagen großen Fluktuationen.

In Tabelle T I.7 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich **nicht** beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte herangezogen werden. Sie sind in allen Regionen sehr stabil und zeigen im langjährigen Mittel keine Veränderungen.

Entsprechend der REI-Bergbau wurden von unabhängigen Messstellen im Auftrag der jeweiligen zuständigen Landesbehörde zusätzlich Kontrollmessungen an einigen Messpunkten des von der Wismut GmbH betriebenen Messnetzes zur Überwachung der Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten im Wesentlichen überein.

Auch durch das BfS wurden von 1991 bis 2005 in den Bergbaugebieten umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt. Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Konzentrationswerten von 5 bis 15 Bq/m^3 liegen, aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich nicht auf menschliche Einflussnahme zurückzuführen sind. Messtechnisch nachweisbare, bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten vor allem in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Die Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung aus solchen Hin-

terlassenschaften mit nahe liegender Wohnbebauung ist weiterhin eines der Ziele der Sanierung von Wismut-Hinterlassenschaften.

Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

Die Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen wird in allen Oberflächengewässern durchgeführt, in die radioaktive Ableitungen erfolgen. Zur Ermittlung des bergbaulichen Einflusses werden die Immissionsmessungen der Wismut GmbH in der Regel an Messstellen vor und nach der betrieblichen, hier nicht genannten, Einleitung vorgenommen.

In Vorflutern wurden die in Tabelle T I.8 angegebenen Werte bestimmt. In den hier nicht genannten durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Die im Jahr 2021 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr nur geringe Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 1,5 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 13 m Bq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten auch den Einfluss lokaler geologischer Besonderheiten oder des Altbergbaus.

In kleineren Bächen, die eine geringe Wasserführung aufweisen, wird das o. a. geogene Niveau im Unterlauf von Wismut-Einleitungen bei Ra-226 etwa bis zum Faktor 2 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 72 mBq/l, während es bei Uran bis zum Faktor 100 erhöht ist und Werte zwischen 4 und 290 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte k-0018, M-204, M-232, s-609 und E-369 in Tabelle T I.8).

Diese kleinen Bäche unterliegen stark dem Einfluss der Sanierungsarbeiten und der Witterung und weisen daher jährliche Schwankungen auf. Dies wird besonders bei geringeren Niederschlagsmengen wie im weiteren Trockenjahr 2021 deutlich.

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut-Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis fast zum Zweifachen erhöht sind (1 - 5,1 µg/l). Mit Werten von <10 bis 11 mBq/l liegen die Ra-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

Aus der Sicht des gesundheitlichen Strahlenschutzes stellen die infolge von radioaktiven Ableitungen der Wismut GmbH erhöhten Werte der Urankonzentration und der Ra-226-Aktivitätskonzentration weder in den Bächen noch in den Vorflutern Zwickauer Mulde, Elbe und Weiße Elster ein Problem dar, da deren Wasser nicht im unmittelbaren Einflussbereich für Trinkwasserzwecke genutzt wird und somit keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen.

2.2 Radon in Gebäuden

Aktueller Stand

Über die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse finden sich ausführliche Informationen im Grundlagenbericht, Kapitel I. Für die regionale Verteilung der Radonaktivitätskonzentration wird auf Abbildung im selben Kapitel verwiesen.

In Kapitel 4 „Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen“ regelt das Strahlenschutzgesetz den Schutz vor Radon (§§ 121 bis 132). Auf Basis verschiedener Kriterien, die u. a. in § 153 der Strahlenschutzverordnung geregelt sind, entscheidet jedes Bundesland für sich, welche Regionen in seinem Hoheitsgebiet so genannte Radon-Vorsorgegebiete sind. Alle Länder, die Radon-Vorsorgegebiete festlegen, mussten ihre Entscheidung bis Ende Dezember 2020 in ihren jeweiligen Amtsblättern veröffentlichen. In Radon-Vorsorgegebieten wird der Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter in einer „beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen“ überschritten. In Radon-Vorsorgegebieten gelten unterschiedliche Regelungen zum Schutz vor Radon – je nachdem, ob es sich um ein Wohngebäude oder einen Arbeitsplatz handelt. An Arbeitsplätzen gilt eine Messpflicht in Erd- und Untergeschossen. Für private Neubauten besteht für Bauherren die Pflicht, durch bauliche Maßnahmen weitgehend zu verhindern, dass Radon in das Gebäude eindringen kann. Welche baulichen Maßnahmen das sein können, ist in der Strahlenschutzverordnung festgelegt. Im Zusammenhang mit der Festlegung von Radon-Vorsorgegebieten wurden umfangreiche Messprogramme von Bund und Ländern initiiert. Die Ergebnisse werden zukünftig hier zusammengefasst.

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen.

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Gesetzliche Grundlagen

Im Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 wurden erstmalig verpflichtende Vorgaben hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität in Baustoffen geschaffen, die zur Begrenzung der durch sie verursachten äußeren Gammastrahlung in Aufenthaltsräumen dienen. In Übereinstimmung mit bisher geltenden Empfehlungen der Europäischen Kommission gilt dafür ein Referenzwert von 1 mSv pro Jahr zusätzlich zum natürlichen Untergrund im Freien. Um eine Messung aller Baumaterialien zu vermeiden, erfolgte eine Angabe von Ausgangsgesteinen mit potenziell erhöhten Konzentrationen natürlicher Radionuklide, die mit einer Liste von industriellen Rückständen ergänzt wurde, die sich als Zuschlagstoff zur Herstellung von Baumaterialien eignen. Bei Verwendung der im Strahlenschutzgesetz gelisteten Gesteine oder Zuschläge besteht die Pflicht des Herstellers, vor dem Inverkehrbringen eines solchen Baumaterials dessen spezifische Aktivität der Radionuklide K-40, Ra-226 und Th-228 bestimmen zu lassen und daraus einen so genannten Indexwert zu berechnen. Dieser gibt ein Maß für die aus dem Baumaterial resultierende Dosis für die Bewohner an und wird als Nachweis der uneingeschränkten Verwendbarkeit für Aufenthaltsräume genutzt. Bei Überschreitung des Referenzwertes ist die zuständige Behörde zu informieren, die über Einsatzbeschränkungen oder Einzelnachweise zur Einhaltung des Dosisrichtwertes entscheidet.

Die Berechnung des Indexwertes wird in der Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 konkretisiert. Diese Bestimmungen sind seit 31.12.2018 in Kraft. Mit diesen Regelungen wurden die Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz (RL 2013/59/Euratom) umgesetzt.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Umgebungsäquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund 0,6 mSv/a, was einer jährlichen effektiven Dosis von 0,3 mSv entspricht.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Ra-226 entstehende Rn-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen mineralischen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentration in Wohnungen (siehe Kapitel 2.2) sind.

Vor dem Hintergrund der neuen Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz (RL 2013/59/Euratom) und der Regelungen zu den von Baustoffen ausgehenden Gammastrahlungen wurde 2007/08 in einem Projekt in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V. (bbs) die Nuklidkonzentration und Radonexhalation von über 100 in Deutschland aktuell üblichen, repräsentativen Innenraumprodukten untersucht. Die Spannweite der Ergebnisse der massespezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in Tabelle T I.9 zusammengefasst.

Bei der Mehrzahl der Baustoffgruppen wurde eine Gesamtdosis deutlich unterhalb von 1 mSv/a abgeschätzt. Dieser Wert kann bei den Produktgruppen Ziegel, Leichtbeton und Beton, die allerdings die Massenprodukte darstellen, von wenigen Produkten überschritten werden. Selbstverständlich sind bei wechselnden Rohstoffen oder Zusätzen von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten Veränderungen der durchschnittlichen Exposition von 0,3 mSv/a nach oben und unten möglich. Die durchgeführten Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen grundsätzlich unter 20 Bq/m^3 liegt. 20 Bq/m^3 würden zu einer Dosis von 0,4 mSv pro Jahr führen. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass - wie national und international in der Vergangenheit beobachtet - in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden können, die zu einer erhöhten Radoninnenraumkonzentration führen.

Wegen der zunehmenden Verwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich kommt der von diesen Materialien ausgehenden Strahlenexposition für die Bevölkerung besondere Bedeutung zu. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e. V. 2006 eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide (Ra-226, Th-232 und K-40) variiert auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmagesteine infolge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten mit einer entsprechend höheren effektiven Dosis durch Gammastrahlung.

Eine breitere Übersicht über die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen, beruhend auf den Daten der Messreihe in den 90er Jahren, gibt die entsprechende Tabelle im Grundlagenbericht, Kapitel I.

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max-Rubner-Institut

1. Quellen künstlicher Radioaktivität

1.1 Kernwaffenversuche

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche (s. Abbildung B II 1.1-1) ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ (Partial Nuclear-Test-Ban Treaty, PTBT) im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Sr-90 und Cs-137 aus den Kernwaffenversuchen auch heute noch in der Umwelt vorhanden.

Die Strahlendosis durch die in großer Zahl (ca. 500) bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1980 in der Atmosphäre - insbesondere der Nordhalbkugel - durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig und betrug 2021 weniger als 0,01 mSv (siehe auch Grundlagenbericht, Kapitel II, ‚nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841).

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung ausgelegt. Damit sollen die Weiterentwicklung und Weiterverbreitung dieser Waffen verhindert und auch unterirdische Tests verboten werden. Es handelt sich daher nicht um ein Umweltschutzabkommen sondern um einen Vertrag gegen die Proliferation von Massenvernichtungswaffen. Zur Überwachung der Einhaltung dieses Vertrages betreibt die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem aus Seismik, Infraschall, Hydroakustik und Radionuklidstationen (International Monitoring System, IMS). Von den vorgesehenen 337 Stationen (inklusive 16 Radionuklidlaboren) sind derzeit schon über 300 Messstationen installiert und das Messnetz damit weitestgehend fertiggestellt. 72 (von 80) der operationellen und nach den Vorgaben der CTBTO zertifizierten Stationen sind mit Radionuklidmesssystemen ausgerüstet, die die Atmosphäre auf radioaktive Spuren überwachen, die an Luftstaub gebunden sind (siehe https://www.ctbto.org/map/#). Zusätzlich sind bzw. werden 40 von ihnen mit Systemen zur Detektion der radioaktiven Isotope des Edelgases Xenon ausgestattet. Die dabei eingesetzten Systeme wurden speziell für die Aufgabe entwickelt, in der Luft auch noch geringste Freisetzungen von Radionukliden aus unterirdischen Kernexplosionen nachzuweisen, auch wenn die freigesetzte Menge hinsichtlich der resultierenden Strahlenbelastung sehr gering ist.

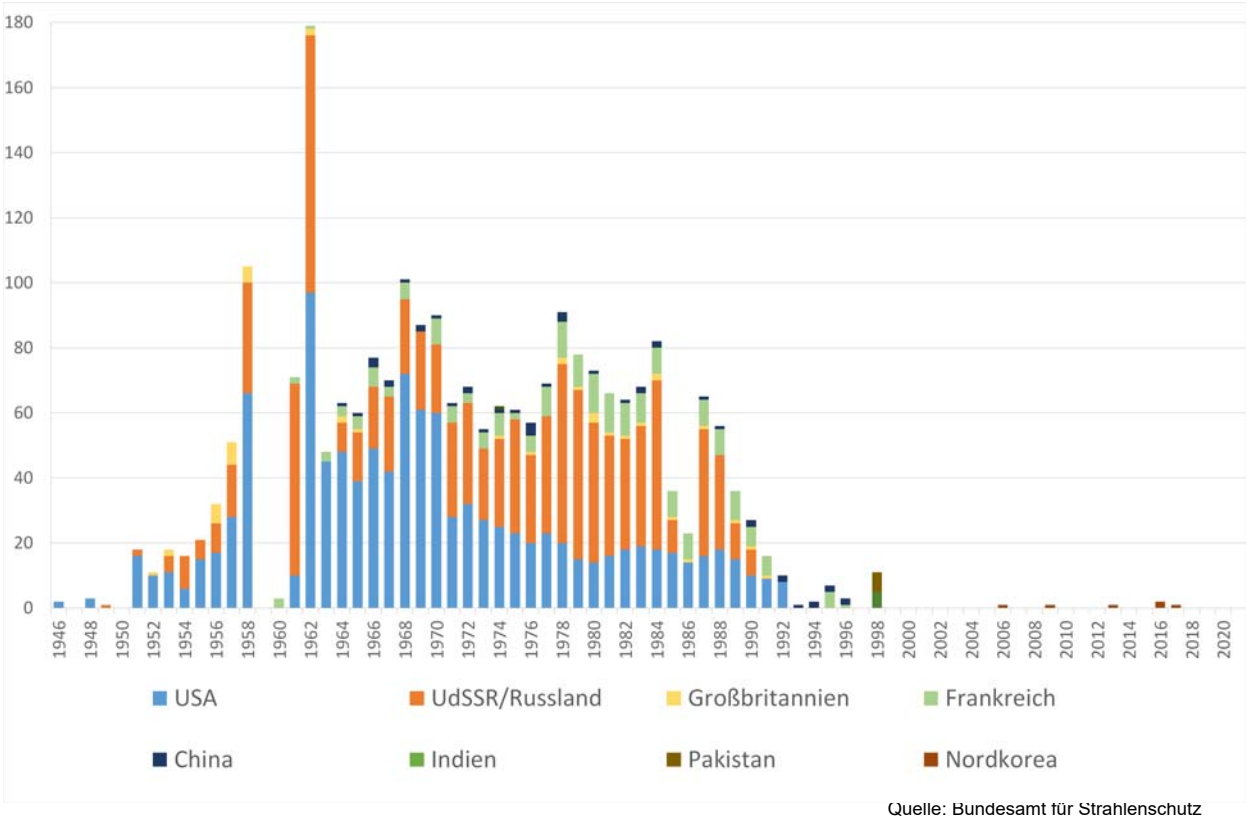
Seine Einsatzbereitschaft wie auch seine Sensitivität stellte das Überwachungssystem nach den sechs unterirdischen Kernwaffentests in Nordkorea in den Jahren 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 unter Beweis. Das Verifikationssystem der CTBTO war mit Hilfe der seismischen Stationen zeitnah in der Lage, die Tests zu detektieren. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover konnte mit Hilfe der seismischen Signale die Quellorte schnell und mit hoher Präzision lokalisieren sowie eine Abschätzung der Sprengkraft vornehmen. Die mit Hilfe der Seismik bestimmten Explosionsstärken nahmen mit den Versuchen zu. Sie betrugen im Jahr 2017 wenige hundert Kilotonnen (kT) TNT-Äquivalent (160-400). Nach den Tests in den Jahren 2006 und 2013 wurde der nukleare Charakter der Explosionen durch den Nachweis von ungewöhnlichen Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnissen von Xe-133 und Xe-131m bestätigt. Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen lokalisierten ebenfalls das nordkoreanische Testgelände als möglichen Emissionsort. In den Jahren 2009, 2016 und 2017 konnten keine Radionuklide nachgewiesen werden, die einen Kernwaffentest eindeutig belegen. Hier war die Explosionsstärke ein starker Hinweis auf den nuklearen Charakter des seismischen Ereignisses.

Die einzige Radionuklidstation der CTBTO in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Messstation Schauinsland des BfS (RN 33), die auf 1 200 m in der Nähe von Freiburg im Schwarzwald gelegen ist. Dort sind automatische Messsysteme für den Nachweis an Luftstaub gebundener Radionuklide sowie der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Das Messsystem für den Nachweis partikelgebundener Radionuklide (RASA) wurde bereits 2004 zertifiziert. Im Jahr 2018 wurde der bisher verwendete Messcontainer durch ein festes Gebäude ersetzt, welches das Stationsgebäude auf dem Schauinsland ergänzt. Mit dem Neubau wurde das alte RASA-System ersetzt und im Oktober 2018 nach den Vorgaben der CTBTO rezertifiziert. Das Edelgasmesssystem SPALAX, seit 2004 als Bestandteil des sogenannten internationalen Edelgasexperiments in Betrieb, wurde nach einer mehrjährigen Entwicklungs- und Testphase am 11. November 2013 von der CTBTO zertifiziert.

1.2 Zivile Freisetzungen

Die hohe Sensitivität der Messsysteme führt dazu, dass regelmäßig Spuren künstlicher Radionuklide nachgewiesen werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Spuren von resuspendiertem Cs-137 aus altem Kernwaffenfallout oder der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl handeln oder auch um Radionuklide aus aktuellen Quellen ziviler Anwendungen, insbesondere von radiopharmazeutischen Produktionsanlagen.

Die mengenmäßig weitaus größten atmosphärischen Freisetzungen von Radioaktivität aus zivilen nuklearen Anlagen sind auf radioaktive Edelgase zurückzuführen. Diese sind sehr flüchtig und chemisch inert und daher schwer zurückzuhalten. Wegen dieser Eigenschaft sind sie einerseits schwierig zu messen, tragen andererseits aber auch nur sehr wenig zur Strahlenbelastung bei. Da radioaktive Edelgase so schwer zurückzuhalten sind, legt das CTBT-Verifikationssystem gerade auf den Nachweis radioaktiven Xenons einen besonderen Wert. Das Messnetz der CTBTO ist dabei auch in der Lage, Schwankungen des weltweiten Untergrundpegels an radioaktivem Xenon zu erfassen, die auf die variierenden Emissionen ziviler Anlagen zurückzuführen sind. Überraschenderweise hat man mit Inbetriebnahme des



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung B II 1.1-1 Weltweite Kernwaffentests von 1945 bis 2021

(Worldwide nuclear testing 1945 to 2021)

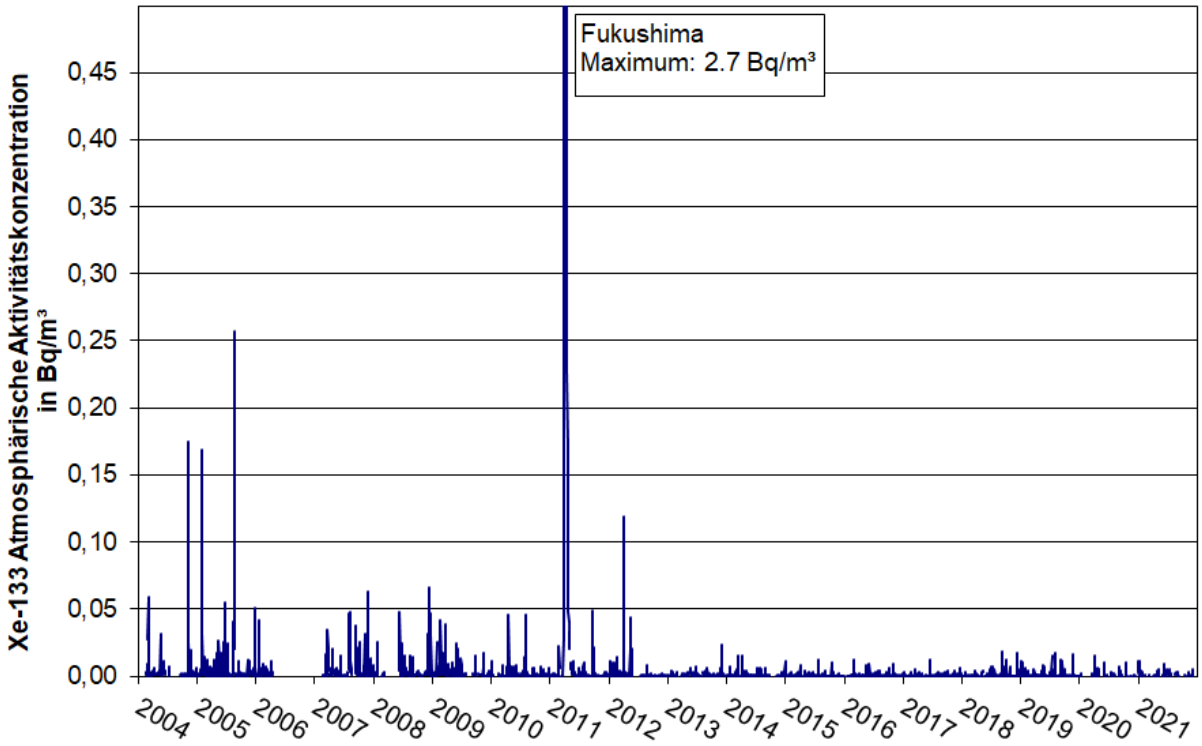


Abbildung B II 1.2-1 Zeitreihe der Xe-133-Aktivitätskonzentration in den Jahren 2004 bis 2021 an der CTBT-Station RN33 auf dem Schauinsland

(Time series of Xe-133-activity concentration at CTBT-station RN33 at Schauinsland mountain for the years 2004 to 2020)

Messnetzes festgestellt, dass der relative Beitrag von Kernkraftwerken zu dem weltweiten Untergrundpegel nicht so dominant war wie angenommen. Weitaus größere Emissionen beobachtet man bei medizinischen Isotopenproduktionsanlagen für Mo-99, welches als Mutternuklid von Technetium-99m (Tc-99m) in großem Maßstab für die medizinische Diagnostik benötigt wird. Beim Produktionsprozess entsteht radioaktives Xenon, welches je nach Anlagentyp und Betriebsprozess mit sehr unterschiedlicher Effizienz zurückgehalten wird. Das in die Atmosphäre freigesetzte Xenon wird über große Distanzen transportiert und zeigt Auswirkungen auf die Messungen auch an weitab gelegenen Stationen. Auf Grund des ständig steigenden Bedarfs an radiopharmazeutischen Isotopen werden weltweit neue Produktionsanlagen in Betrieb genommen oder sind in Planung.

Ein durch zivile Quellen geographisch und zeitlich sehr variabler Untergrund an Xe-133 und anderer Xenonisotope erschweren die eindeutige Detektion und damit die Identifikation von möglichen Xenon-Emissionen aus unterirdischen Kernwaffentests. Dies bedeutet, dass ein großes Interesse seitens der CTBTO und ihrer Mitgliedstaaten darin besteht, zur Verbesserung der Fähigkeiten des Verifikationssystems die Emissionen aus radiopharmazeutischen Produktionsanlagen zu reduzieren, auch wenn dies aus Gründen des Strahlenschutzes nicht erforderlich wäre. Zwischen Radionuklidexperten der CTBTO und der Mitgliedstaaten existiert ein sehr produktiver Informationsaustausch, sowohl über die Belange beider Seiten als auch über Möglichkeiten weiterer Emissionsreduzierung. Der intensive Informationsaustausch zwischen Radionuklidexperten der CTBTO, Betreibern medizinischer Isotopenproduktionsanlagen und mit Verifikationsaufgaben betreuter Wissenschaftler über die letzten Jahre hat bewirkt, dass mittlerweile Xenon-Emissionsdaten einiger Anlagen vom Betreiber für die Modellierung des zivilen Xenon-Untergrundes an den IMS-Stationen zur Verfügung gestellt werden.

Während man anhand der Messergebnisse und der vorliegenden Emissionsdaten für das Jahr 2005 noch davon ausgehen musste, dass radiopharmazeutische Anlagen pro Jahr eine Größenordnung mehr Xe-133 (ca. 10000 TBq/a) freisetzten als alle Kernkraftwerke weltweit, beobachtet man in den letzten Jahren einen deutlichen Rückgang des Untergrundpegels von Xe-133 an der Station auf dem Schauinsland. Die Ursache hierfür ist u. a. die vorübergehende Stilllegung einer der größten und ältesten Produktionsanlagen für radiopharmazeutisches Molybdän-99/Technetium-99m (Mo-99/Tc-99m) in Chalk River, Kanada, sowie die Implementierung emissionsreduzierender Maßnahmen in anderen Anlagen innerhalb Europas, insbesondere der belgischen Anlage des Institut National des Radioéléments (IRE) in Fleurus im Jahre 2008. Im Oktober 2016 wurde die Produktion von Mo-99/Tc-99m am Chalk-River Forschungsreaktor (135 MWtherm), in Ontario, Kanada, schließlich ganz eingestellt. Die Chalk-River Laboratories waren einer der weltweit größten Produzenten von Mo-99/Tc-99m, aber auch einer der größten Emittenten an radioaktivem Xenon, welches den Untergrund in der Nordhemisphäre maßgeblich beeinflusste. Letzteres hatte auch Auswirkungen auf die Xenonmessungen im Rahmen der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens. Emissionen dieser Anlagen wurden trotz der großen Entfernung von Zeit zu Zeit an der Station auf dem Schauinsland nachgewiesen.

Erhöhte Xe-133-Aktivitätskonzentrationen auf dem Schauinsland sind derzeit meistens auf Emissionen der näher gelegenen Isotopenproduktionsanlage in Fleurus, Belgien, zurückzuführen. Als Beispiel zeigt Abbildung B II 1.2-1 den Verlauf der gemessenen Tagesmittelwerte der Xe-133-Aktivitätskonzentration an der Station Schauinsland für die Jahre 2004 bis 2021. Die bisher ermittelte maximale Xe-133-Aktivitätskonzentration lag am 30.03.2011 bei 2,7 Bq/m^3 und ist auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima zurückzuführen. Der höchste Wert der Xe-133-Aktivitätskonzentration für das Jahr 2021 betrug am 01.01.2021 11,2 mBq/m^3.

Der Jahresmittelwert der Xe-133-Aktivitätskonzentration an der Messstation Schauinsland ist von 5,3 mBq/m^3 im Jahr 2005 mittlerweile auf Werte unter 1 mBq/m^3 gesunken und liegt 2021 nur noch bei 0,7 mBq/m^3, der Median beträgt 0,4 mBq/m^3 Xe-133. Die Auswirkungen der Emissionsreduzierungen und die Entwicklung neuer, Xenon-emissionsarmer Methoden zur Herstellung von Radiopharmazeutika in Nordamerika und Europa lassen sich in ähnlicher Form auch an anderen Messstationen der Nordhemisphäre nachweisen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt mit seinem Edelgaslabor in der Dienststelle Freiburg weiterhin die CTBTO als sog. "Support Laboratory" beim Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für das Edelgasmessnetz. In diesem Zusammenhang wurde durch die Vertragsorganisation ein informeller Ringversuch für die CTBTO-Radionuklidlabore mit Xenonmesstechnik und das Freiburger Support-Labor ausgerichtet.

Im Jahr 2021 wurde zudem über einen Zeitraum von sechs Monaten ein Prototyp eines neu entwickelten, zeitlich höherauflösenden Edelgasmesssystems mit einem 6-stündigen Probenahmezyklus an der Messstation Schauinsland parallel zu dem bestehenden SPALAX-System (Tagesproben) betrieben, um es auf seine Eignung für das Edelgasmessnetz der CTBTO zu testen. Dieses Messnetz (vgl. 1.1 Kernwaffenversuche) wird seit ca. 2 Jahren mit verbesserten Edelgasmesssystemen ausgebaut, die bei höherer zeitlicher Auflösung empfindlicher messen als die bestehenden Edelgasmesssysteme. Der Test des neuen Systems verlief erfolgreich und wurde im Januar 2022 offiziell beendet. Somit steht der CTBTO ein weiteres Messsystem zur automatischen Messung radioaktiven Xenons in der Atmosphäre zur Verfügung. Diese neuen Systeme sollen über die nächsten Jahre die teilweise fast 20 Jahre alten Systeme der ersten Generation an den IMS-Stationen ersetzen.

Ein wichtiges Anliegen ist die Förderung der internationalen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und der CTBTO. Deutschland unterstützt diese Zusammenarbeit und die damit verbundene Thematik der wissenschaftlichen und zivilen Nutzung der Daten und Informationen aus dem Verifikationssystem. Die zivile Nutzung der Radionuklidddaten für den Notfallschutz und die Information der Öffentlichkeit hat sich insbesondere 2011 nach der Reaktorkatastrophe in Fukushima bewährt.

1.3 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall

Die mittlere Exposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2021 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cs-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 44 % der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,009 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle während des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzgesetz im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) werden jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Dadurch wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt [1, 2].

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen im Berichtsjahr wie in den Vorjahren in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wurde mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,25 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv resultierte (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, radioaktive Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden bei der Datenerhebung im Rahmen von IMIS weiterhin höhere Werte gemessen. Die Kontamination von Pilzen ist sowohl vom Cäsium-137-Gehalt in der Umgebung des Pilzgeflechts (Myzel) als auch vom speziellen Anreicherungsvermögen der jeweiligen Pilzart abhängig. Die Belastung einer Pilzart schwankt innerhalb eines Standorts wesentlich stärker als die Änderungen von Jahr zu Jahr. Weiterführende Informationen liefert ein BfS-Bericht [3].

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffeln eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Die höchsten Aktivitäten weist das Fleisch von Wildschweinen aus großen geschlossenen Waldgebieten auf, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus demselben Grund sind Wildschweine aus Gehegen, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, nur geringfügig belastet.

Wildbret ist je nach Region und Tierart sehr unterschiedlich belastet. In den stärker belasteten Gebieten werden bei Wildschweinen noch heute vereinzelt Werte gemessen, die den Grenzwert für die Vermarktung von 600 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm um mehr als das Zehnfache überschreiten. Die in einem Forschungsvorhaben zur aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen [4] in Deutschland im Zeitraum 2017 bis 2020 ermittelten Spitzenwerte lagen im Bayerischen Wald bei rund 17000 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm. Die im Rahmen des bundesweiten Messprogramms IMIS erhobenen Daten erreichten in den letzten drei Jahren (2019 bis 2021) Maximalwerte

- für Wildschweine von rund 1600 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm,
- für Rehwild von rund 200 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm und
- für Hirsche von rund 50 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm.

Meist wurden deutlich niedrigere Werte ermittelt.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (1600 Bq/kg Cs-137) würde bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,01 mSv führen. Es ist grundsätzlich ratsam, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Das BfS stellt auf seiner Internetseite Informationen zum Verzehr von Pilzen und Wildbret bereit (www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/pilze-wildbret/pilze-wildbret.html).

Ausführliche Informationen zum Unfall in Fukushima im Jahr 2011 sind im Kapitel II des Grundlagenberichts enthalten.

Literatur

[1] BMUB (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Stand 2014. Daten und Bewertung, urn:nbn:de:0221-2015103013753, Bonn, April 2015

[2] BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz. Stand 2017. Daten und Bewertung, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018100516201, Bonn, Oktober 2018

[3] Kabai E, Hamer A, Steiner M: Radioaktive Kontamination von Speisepilzen : (Stand: 2022, Messwerte 2019 bis 2021), August 2022, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022080933632

[4] Fielitz U: Erfassung der aktuellen Kontaminationssituation bei Wildschweinen in Deutschland - Vorhaben 3617S52531, August 2021, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021080227845

1.4 Anlagen nach Atomgesetz

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2021 folgende kerntechnische Anlagen:

- 6 in Betrieb befindliche Kernkraftwerke (Tabelle T II.1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 8 545 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 69,1 TWh und einem Anteil von 11,9 % an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung im Jahr 2021. Acht Kernkraftanlagen wurden bereits im Jahr 2011 endgültig abgeschaltet. Davon betroffen waren die Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel. Die Reaktoren MZFR Karlsruhe, AVR Jülich, KNK Karlsruhe sowie die Leistungskraftwerke Rheinsberg, Grafenrheinfeld, Greifswald, Gundremmingen A und B, Hamm-Uentrop, Lingen, Mülheim-Kärlich, Obrigheim, Philippsburg 2, Stade und Würgassen haben den Betrieb ebenfalls beendet.
- 2 Forschungsreaktoren (Tabelle T II.2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 20,1 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau.
- 16 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (Tabelle T II.3).
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Seit dem 25.09.1998 nimmt das ERAM keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an (Tabelle T II.4).
- Die Schachtanlage Asse II (Tabelle T II.4).

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungseinrichtungen sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachtanlage Asse II für das Jahr 2021 sind in den Kapiteln 1.5.1 und 1.5.2 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. Forschungseinrichtungen befinden sich in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching und Erlangen. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2021 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten und mit Ausnahme der Ableitungen von Tritium deutlich unterschritten wurden.

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Exposition der Bevölkerung sind in Kapitel 1.6 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2021 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle T II.5 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union über die Datenbank der Europäischen Kommission für radioaktive Ableitungen (RADD, europa.eu/radd). Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden im Strahlenschutzbericht 2021 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch/de).

Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten treten im Normalbetrieb ebenfalls keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daher ist die hieraus resultierende Exposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. Abbildung B II 1.4-1 und Tabelle T II.3 zeigen eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2021.

Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. deren Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Exposition der Bevölkerung berücksichtigt.

1.5 Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen nach Atomgesetz

Die für das Jahr 2021 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 1.5.1 bzw. 1.5.2 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)“ durchgeführt. Bei allen Anlagen wurden für die

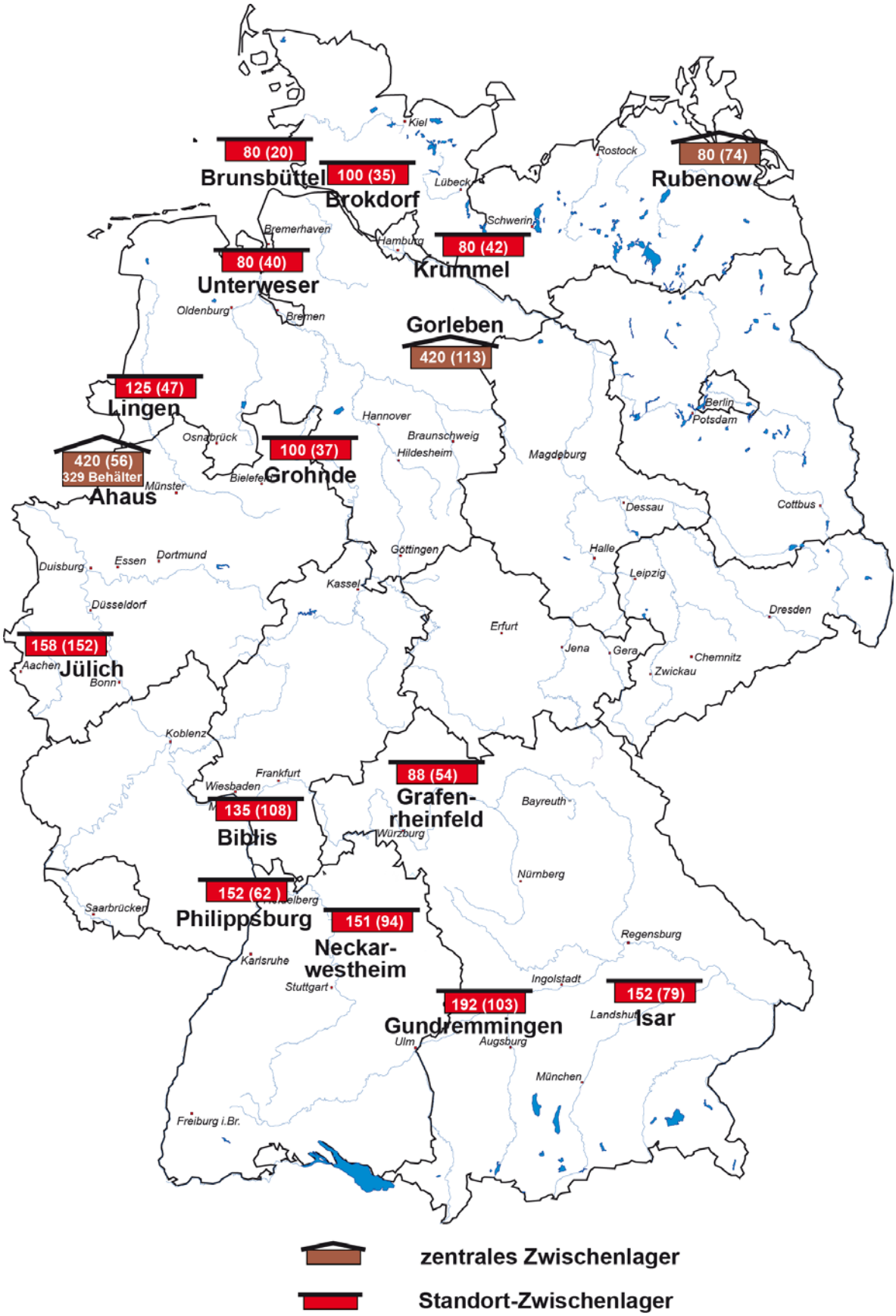


Abbildung B II 1.4-1 Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2021 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2021)

(Interim storage for irradiated nuclear fuel in Germany in the year 2021 with number of storing positions (allocation in brackets, status 31.12.2021))

Fortluft das Partikelmodell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell) zur Ausbreitungsrechnung sowie das verbesserte DARTM (Dosisprogramm für ARTM) zur Dosisberechnung verwendet.

1.5.1 Fortluft

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe wird die Exposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 99 StrlSchV überprüft. Auf die Bestimmung der Exposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen und spezifischen Aktivitäten der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser und in Lebensmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabelle T II.6 bis Tabelle T II.12).

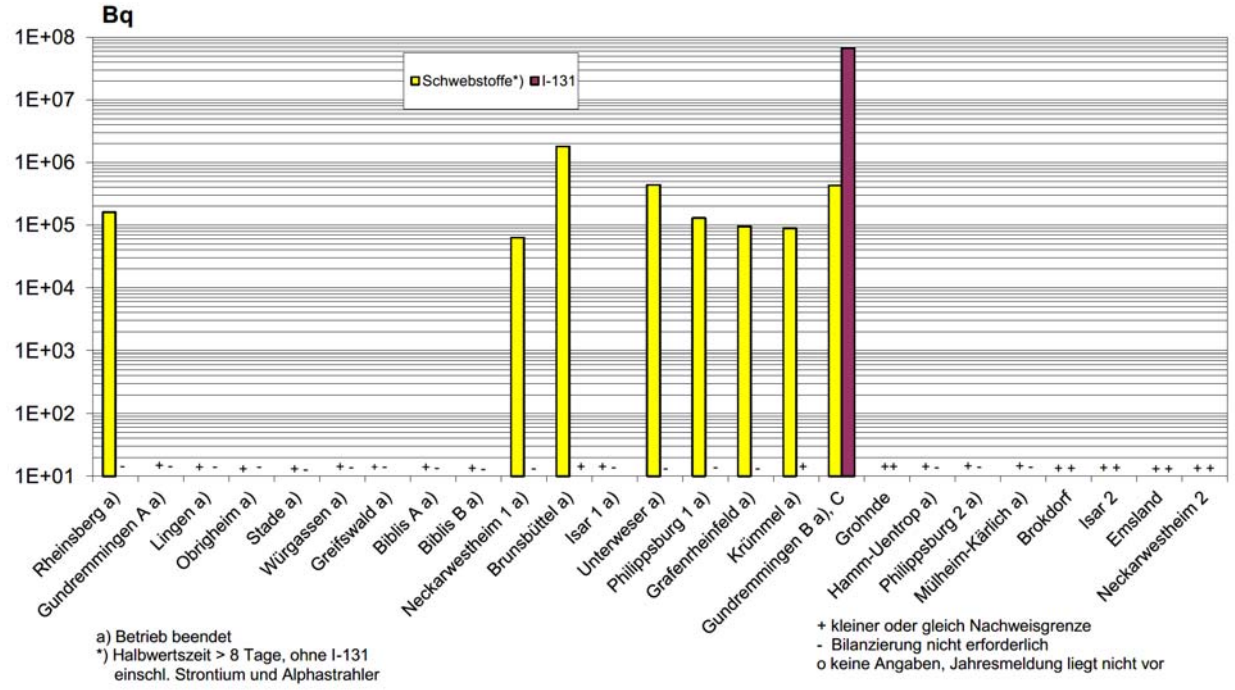


Abbildung B II 1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 (Schwebstoffe und I-131)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants (particulates and I-131) during the year 2021)

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Kernkraftwerke im Jahr 2021 sind in Tabelle T II.6 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (als Kohlenstoffdioxid) und H-3 aufgeführt (s.a. Abbildung B II 1.5-1 und B II 1.5-2). Die Jahresaktivitätsableitungen der Reaktoren MZFR, KNK und AVR (siehe Tabelle T II.1) sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle T II.10 und Abbildung B II 1.5-3). Die einzelnen in einer Radionuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Radionuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2021 abgeleiteten radioaktiven Edelgase ist aus Tabelle T II.7 zu ersehen. Tabelle T II.8 enthält die nuklidspezifischen Aktivitätsableitungen der an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide einschließlich der Betastrahler Sr-89 und Sr-90 sowie der Alphastrahler Pu-238, Pu-(239+240), Am-241, Cm-242 und Cm-244.

Tabelle T II.9 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtaktivitätsableitungen für radioaktive Edelgase, an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Edelgase war 2021 mit $8{,}5 \cdot 10^{12}$ Bq kleiner als 2020 mit $9{,}1 \cdot 10^{12}$ Bq. Die Summe der Jahresaktivitätsableitungen von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden lag mit $3{,}2 \cdot 10^{6}$ Bq unter dem Vorjahreswert von $3{,}6 \cdot 10^{6}$ Bq. Die Gesamtaktivitätsableitung von I-131 lag 2021 mit $6{,}7 \cdot 10^{7}$ Bq ebenfalls unter dem Vorjahreswert von $1{,}2 \cdot 10^{8}$ Bq . Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

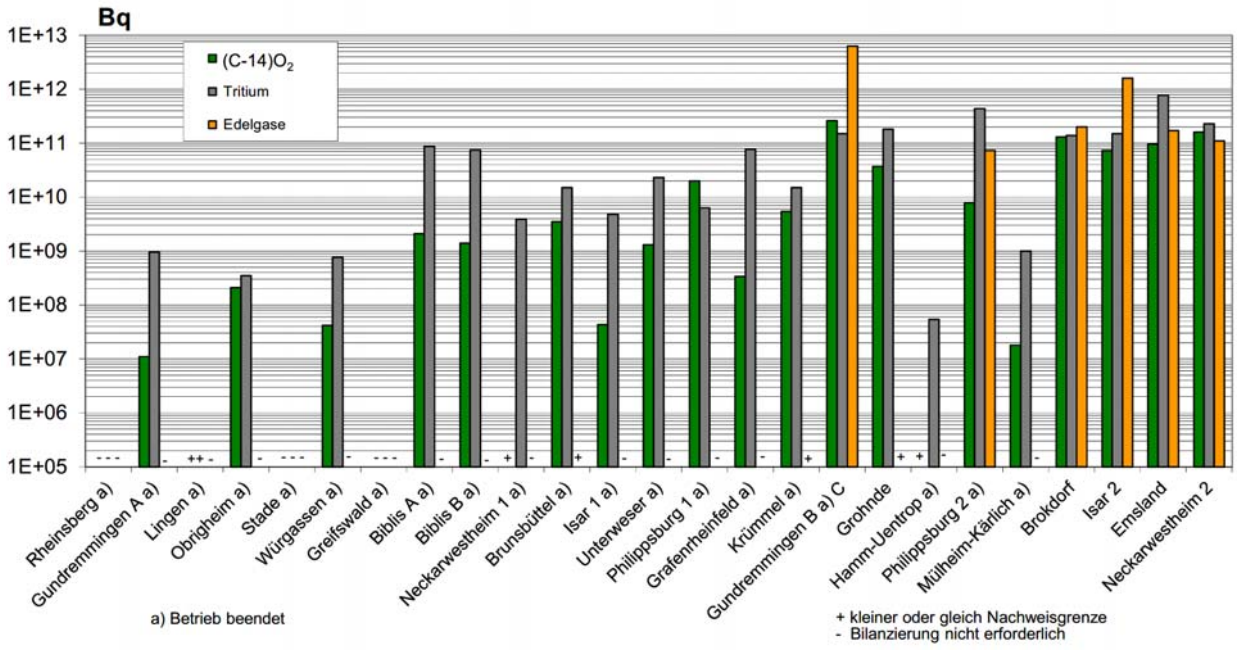


Abbildung B II 1.5-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 (C-14 als Kohlenstoffdioxid, Tritium und Edelgase)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants C-14 as carbondioxide, tritium and noble gases during the year 2021)

In Tabelle T II.10 und Abbildung B II 1.5-3 sind die Angaben über die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungseinrichtungen in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Erlangen und den Forschungsreaktoren in Garching und Mainz im Jahr 2021 für die Radionuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 8 Tage, inklusive Strontiumisotope und Alphastrahler, sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (in allen chemischen Verbindungen) und H-3 zusammengefasst.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten, an Schwebstoffen gebundenen, alphastrahlenden Radionuklide ermittelt (Tabelle T II.11). Die 2021 abgeleitete Gesamt-Alpha-Aktivität der Anlagen Gronau und Lingen betrug weniger als $4{,}2 \cdot 10^4$ Bq.

Einen Überblick über die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft für das Endlager Morsleben und die Schachtanlage Asse gibt Abbildung B II 1.5-4. Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle T II.12 zusammengestellt. An der Schachtanlage Bartensleben und am Abwetterbauwerk Marie, welche Teile der Anlage „Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben“ (ERAM) und genehmigte Emittenten sind, werden jährlich etwa 2 Milliarden Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich über Stahlblech-Rohrleitungen (Abwetterlutten) nach Übertage gefördert und in die Umgebung abgegeben.

Die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II ist in der Tabelle T II.12 für gasförmige Verbindungen von H-3 und C-14 sowie Rn-222 sowie für die an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide zusammengestellt.

Die für das Jahr 2021 ermittelten Werte für die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte; dies zeigt beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle T II.6 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für radioaktive Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und ca. 10^{10} Bq für I-131. Auch zusätzlich auftretende Exposition z. B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach § 80 StrlSchG.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Grundlagen, Kapitel II). Die aus den Jahresaktivitätsableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Kapitel II 1.5 angegeben.

Aktivitätsableitungen aus Anlagen nach Beendigung des Betriebes werden bis zum Ablauf der atomrechtlichen Genehmigung berichtet. Die deutlich kleineren Aktivitätsableitungswerte werden vom restlichen radioaktiven Inventar sowie von Rückbau- und Dekontaminationsarbeiten verursacht.

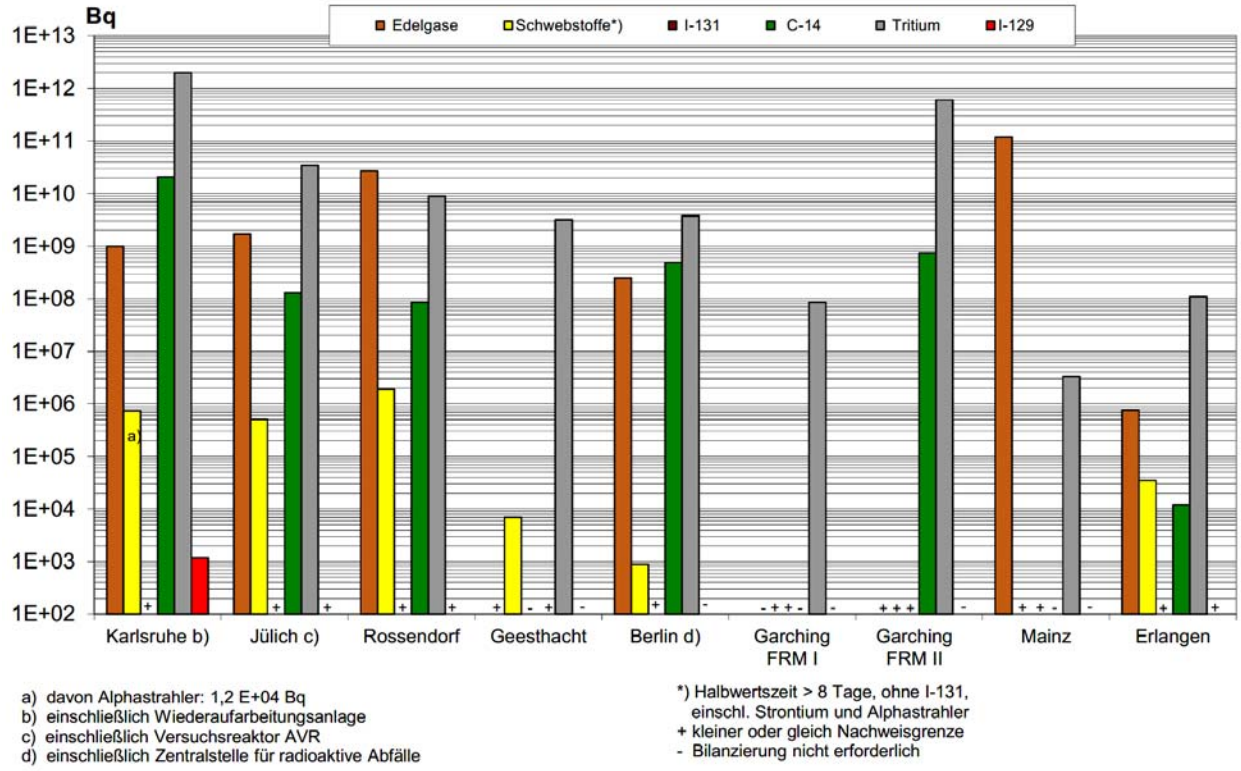


Abbildung B II 1.5-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2021 (Schwebstoffe, I-131 und I-129, C-14 (gesamt), Tritium und Edelgase)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air from research centres (particulates, I-131, I-129, C-14 (total), tritium and noble gases) during the year 2021)

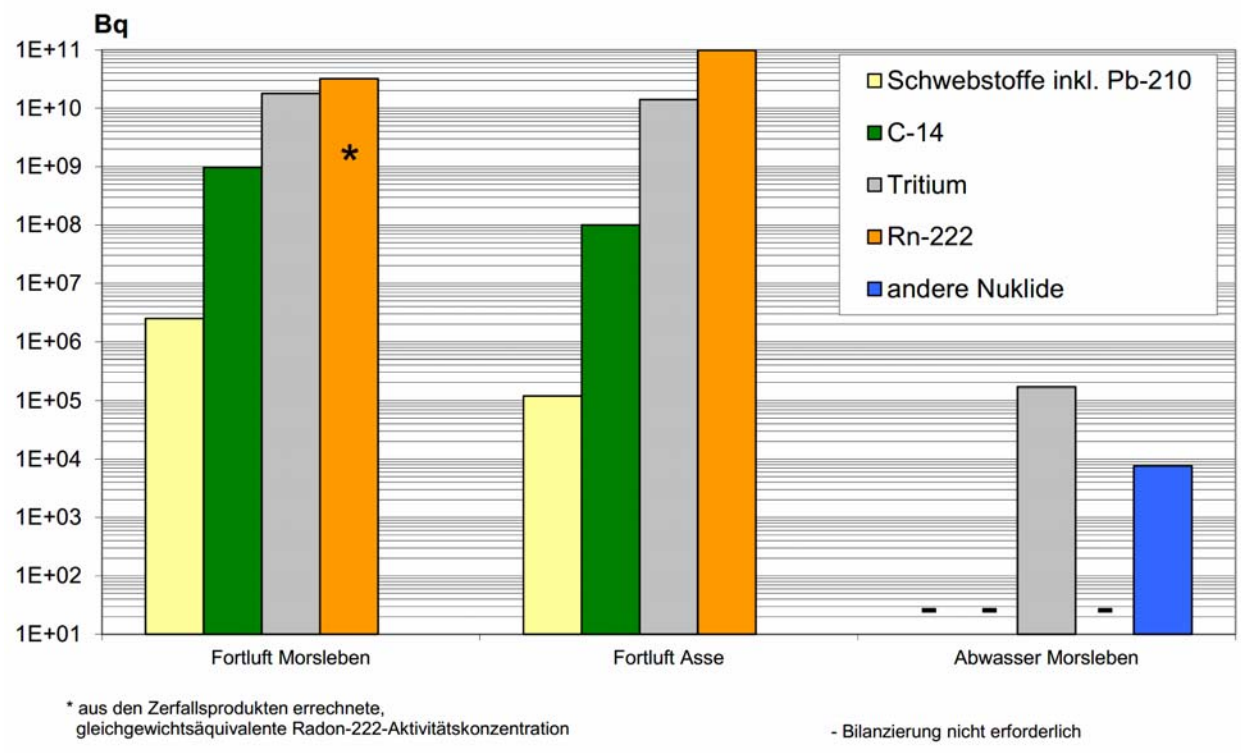


Abbildung B II 1.5-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse im Jahr 2021

(Discharges of radioactive substances with exhaust air and waste water from the Asse mine and the radioactive waste repository Morsleben in 2021)

C-14 wird in Abbildung B II 1.5-2 und Tabelle T II.6 als chemische Verbindung Kohlenstoffdioxid angegeben, hauptsächlich, weil Kohlenstoffdioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes C-14 nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 in allen chemischen Verbindungen über die Fortluft im Jahr 2021 beträgt an den in Abbildung B II 1.5-2 und Tabelle T II.6 aufgeführten Standorten etwa $1{,}5 \cdot 10^{12}$ Bq.

Die Jahresaktivitätsableitungen der Forschungsreaktoren FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin enthalten (Tabelle T II.10).

1.5.2 Abwasser

In den Tabellen II.13 bis II.16 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben und End- und Zwischenlagern in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2021 mit dem Abwasser abgegebenen Aktivitäten zusammengestellt.

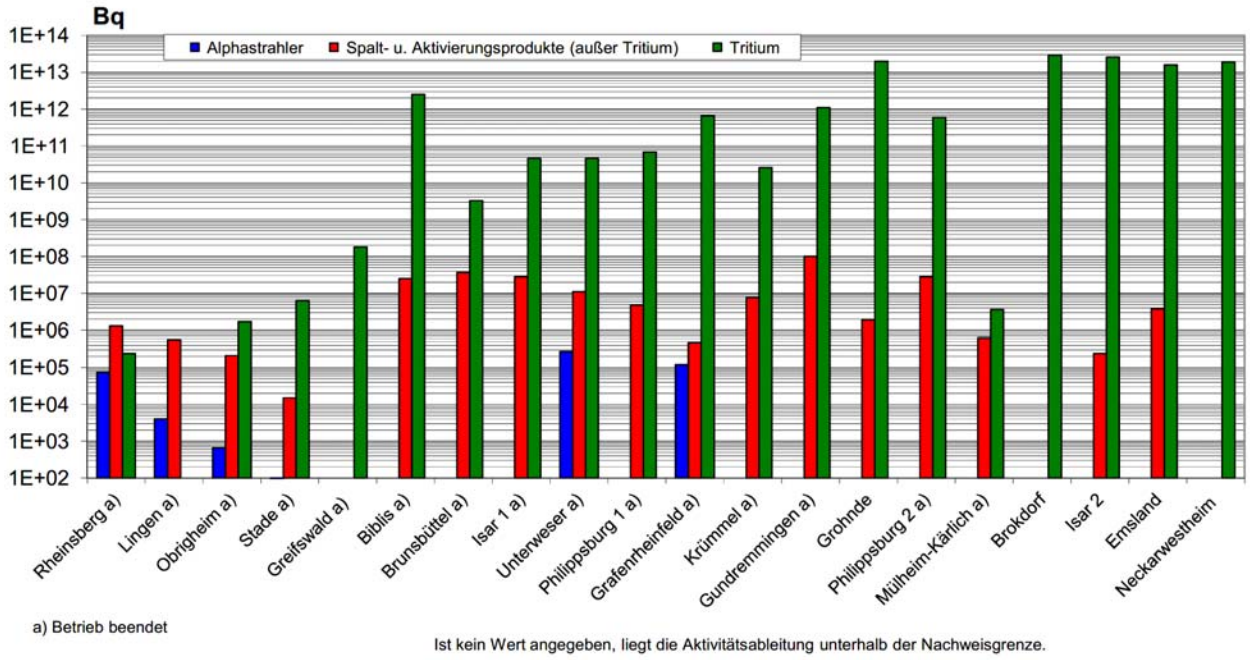


Abbildung B II 1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in the year 2021 (alpha sources, summation values, and tritium))

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tabelle T II.13 und Abbildung B II 1.5-5) sind bedingt durch moderne Reinigungstechnologien und die sukzessive Abschaltung bzw. den fortschreitenden Rückbau der Kernkraftwerke im langjährigen Trend rückläufig. Der weitaus überwiegende Anteil (99,999%) der abgeleiteten Aktivität entfällt auf Tritium (radioaktiver Wasserstoff). Tritium liegt chemisch als überschweres Wasser (T_2O bzw. HTO) vor und kann auf Grund seiner chemischen Ähnlichkeit zu normalem Wasser (H_2O) nicht mit vertretbarem Aufwand aus dem Abwasser herausgefiltert werden. Weitere radioaktive Elemente machen nur einen Bruchteil der abgeleiteten Aktivität aus und liegen deutlich unter den Genehmigungswerten.

Aus Druck- und Siedewasserreaktoren wurden mit dem Abwasser insgesamt Aktivitäten von 0,18 GBq bzw. 0,07 GBq an Spalt- und Aktivierungsprodukten (ohne Tritium) abgegeben. Die abgeleiteten Tritium-Aktivitäten betrugen aus Druckwasserreaktoren 110 TBq und aus Siedewasserreaktoren 1,3 TBq. Die abgegebenen Aktivitäten an Alphastrahlern liegen deutlich darunter und betragen insgesamt etwa 0,5 MBq.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Forschungszentren (Tabelle T II.14 und Abbildung B II 1.5-6), den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben (Tabelle T II.15), dem Endlager Morsleben und dem Zwischenlager Nord (Tabelle T II.16 bzw. Abbildung B II 1.5-4) unterliegen betriebsbedingten Schwankungen, befanden sich aber 2021 in der Größenordnung der Abgaben der vorherigen Jahre. Die Ableitungen des Zwischenlagers Nord werden dieses Jahr erstmalig getrennt vom Kernkraftwerk Greifswald / Lubmin ausgewiesen, da diese im Gegensatz zu anderen Zwischenlagerstandorten über eigenständige Ableitungsregime verfügen und separat berichten.

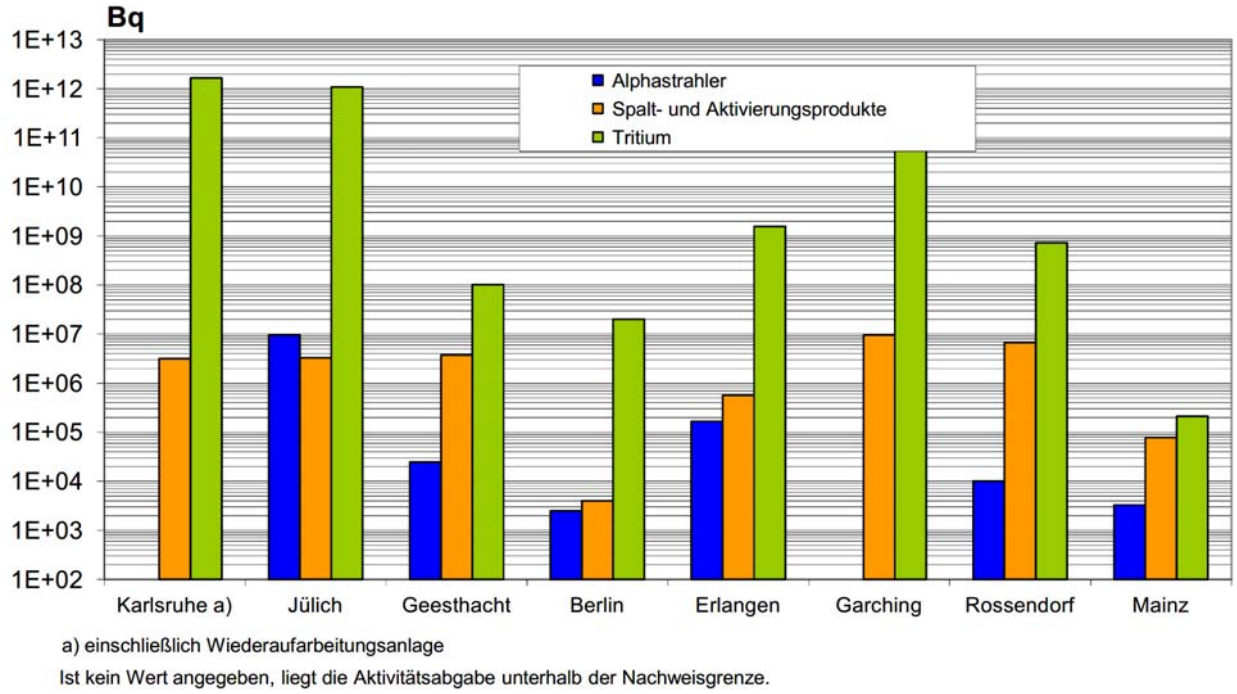


Abbildung B II 1.5-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2021 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)

(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2021 (alpha sources, summation values, and tritium))

Wie in den Vorjahren wurden aus der Schachtanlage Asse II keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Exposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse II resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad (vgl. Teil B II 1.5). Die aus dem Deckgebirge zutretende Salzlösung der Schachtanlage Asse II wird im Rahmen des betrieblichen Lösungsmanagements unter Tage gesammelt. Die Entsorgung der Zutrittslösung geschieht seit 2009 über eine Freigabe nach § 29 der alten StrlSchV (von 2001) bzw. nach Kapitel 3 der neuen StrlSchV (von 2018).

1.6 Exposition durch Anlagen nach Atomgesetz

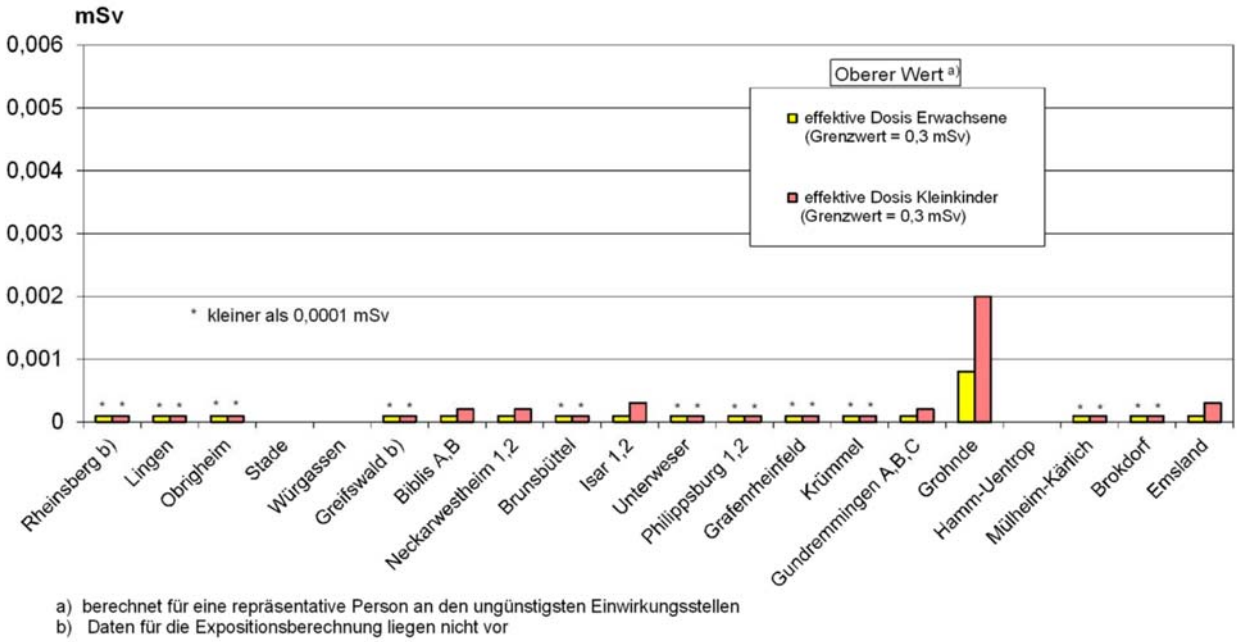
Berechnete obere Werte der Exposition

Entsprechend gesetzlicher Vorgaben ist für die aus Anlagen nach Atomgesetz mit der Fortluft und dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe zu berechnen, wie hoch die erhaltene Exposition für eine repräsentative Person der Bevölkerung ist. Seit 2020 werden dabei die neuen Berechnungsvorschriften der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu §§ 100 und 101 StrlSchV (AVV Tätigkeiten) angewendet.

Das neue Berechnungsmodell für den Abwasserpfad ist insbesondere hinsichtlich der Annahmen für die Verzehrsmengen realitätsnäher als das bisherige Modell nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (von 2001). Bedingt durch das neue Modell ist ein unmittelbarer Vergleich der berechneten Expositionen mit den Werten bis 2019 nur eingeschränkt möglich. Bei den für den Wasserpfad berechneten Expositionen, wird der Beitrag durch die Direktstrahlung der Anlagen, wie nach der AVV Tätigkeiten vorgesehen, noch nicht berücksichtigt.

Bei den im Folgenden angegebenen effektiven Dosen ist grundsätzlich zu beachten, dass diese eine obere Abschätzung der tatsächlich von Personen erhaltenen Dosis darstellen. Dies gilt weiterhin auch bei Anwendung der neuen AVV Tätigkeiten, die zwar realistischere Lebensgewohnheiten zu Grunde legt als vorherige Berechnungsvorschriften, aber immer noch zahlreiche konservative Abschätzungen enthält.

Die in den Tabellen angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen möglichst realitätsnahe aber gleichzeitig obere Werte dar, da sie gemäß der AVV Tätigkeiten zu § 101 StrlSchV für eine repräsentative Person an möglichst ungünstigen Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die repräsentative Person ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage 11, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen mit dem Ziel festgelegt sind, dass bei deren Anwendung die Exposition des Menschen möglichst realitätsnah berechnet, jedoch gleichzeitig nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung



a) berechnet für eine repräsentative Person an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Daten für die Expositionsberechnung liegen nicht vor

Abbildung B II 1.6-1 Exposition im Jahr 2021 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

(Exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air during the year 2021)

durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Exposition der repräsentativen Person zu erwarten ist. Es wird die effektive Dosis ermittelt. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv pro Jahr betragen.

Für die Zwecke der Berichterstattung zu Kernkraftwerken, Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben und Forschungszentren werden nur die effektiven Dosen für Kleinkinder und Erwachsene angegeben.

Für die Berechnungen über den Luftpfad für das Jahr 2021 wurden die Bodenanreicherungen von Radionukliden aus Belastungen von Vorjahren berücksichtigt. Im Jahr 2020 wurden bei den Berechnungen über den Luftpfad die Bodenanreicherungen von Radionukliden aus Belastungen von Vorjahren nicht berücksichtigt. Eine sprunghafte Änderung bei den Expositionswerten ist möglich.

Die berechneten Expositionen berücksichtigen noch nicht, wie nach der AVV Tätigkeiten vorgesehen, die Direktstrahlung der kerntechnischen Anlagen. Die Datenübermittlung dazu ist noch Gegenstand von Abstimmungen zwischen dem BfS, den Ländern und dem BMUV.

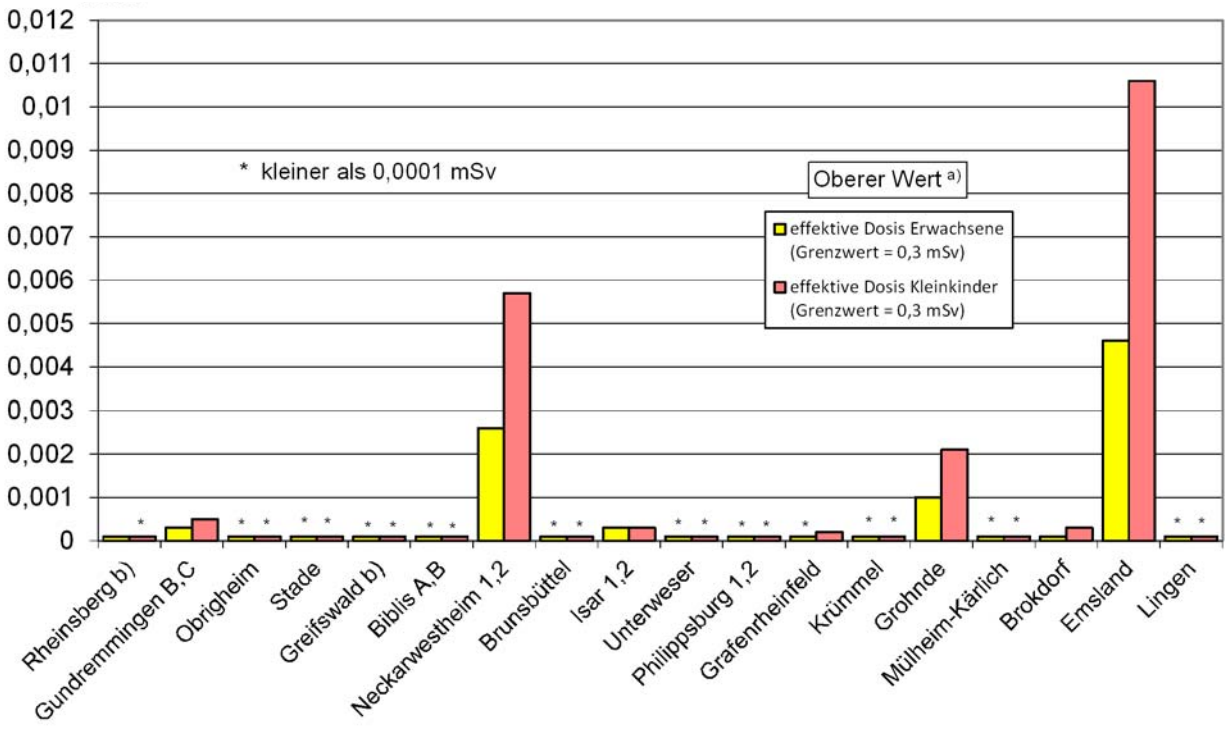
Kernkraftwerke

Tabelle T II.17 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Exposition der Bevölkerung im Jahr 2021 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft**. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von >1 bis 2 Jahre). Tabelle T II.17 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,2 µSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 2 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) jeweils beim Standort Grohnde (s. a. Abbildung B II 1.6-1).

In Tabelle T II.18 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Kleinkinder 11 µSv (3,7 % des Grenzwertes) und für Erwachsene 4,6 µSv (1,5 % des Grenzwertes), jeweils am Standort des Kernkraftwerkes Emsland (s. a. Abbildung B II 1.6-2). Die berechneten Expositionen liegen auf sehr niedrigem Niveau deutlich unter dem Grenzwert von 300 µSv.

Forschungszentren

Die in Tabelle T II.19 angegebenen Werte für die Expositionen durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** für das Jahr 2020 aus Forschungszentren stammten teilweise aus den Jahresberichten der Forschungszentren in Berlin, Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf und Geesthacht. Die Werte für das Forschungszentrum Garching sind vom BfS errechnet worden. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2021 als höchsten Wert 0,3 µSv (0,1 % des



a) berechnet für eine repräsentative Person an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Exposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Jahre vor 1990 nicht vorliegen

Abbildung B II 1.6-2 Exposition im Jahr 2021 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

(Exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with wastewater during the year 2021)

Grenzwertes) für Erwachsene sowie 1,5 µSv (0,5 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Die maximalen Werte sind niedriger als im Vorjahr (s. a. Abbildung B II 1.6-3).

In Tabelle T II.20 wird die Exposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das **Abwasser** aus den Forschungszentren angegeben. Der höchste Wert ergibt sich mit 1,5 µSv für Kleinkinder und 0,7 µSv für Erwachsene am Standort Jülich.

Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau sind in Tabelle T II.21 die für eine repräsentative Person an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** angegeben. Die Messwerte zur Direktstrahlung (Tabelle T II.22) beinhalten den natürlichen Untergrund.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem **Abwasser** bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind ebenfalls in Tabelle T II.21 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 µSv.

Exposition am Unterlauf der Flüsse

Die Ableitungen verschiedener Emittenten kumulieren sich im Unterlauf der Flüsse, so dass sich auch die Expositionen aufsummieren. Auf Grund der Vermischung mit den größeren Wassermengen am Unterlauf der Flüsse tritt jedoch auch ein Verdünnungseffekt ein. Für die Mündungsgebiete der Flüsse Donau, Elbe, Ems, Isar, Main, Neckar, und Rhein wurden jeweils Expositionen von unter 0,5 µSv ermittelt. Der Dosisgrenzwert von 300 µSv wird somit auch unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens mehrerer Anlagen am Unterlauf der Fließgewässer sicher eingehalten..

Endlager Morsleben

Die Exposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und mit dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und dem Zwischenlager Nord sind in Tabelle T II.23 aufgeführt und in Abbildung B II 1.6-4 dargestellt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene beträgt im Jahr 2021 0,6 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,6 µSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,6 µSv; dies sind 0,2 % des Grenzwertes nach der StrlSchV. Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Bei der Berech-

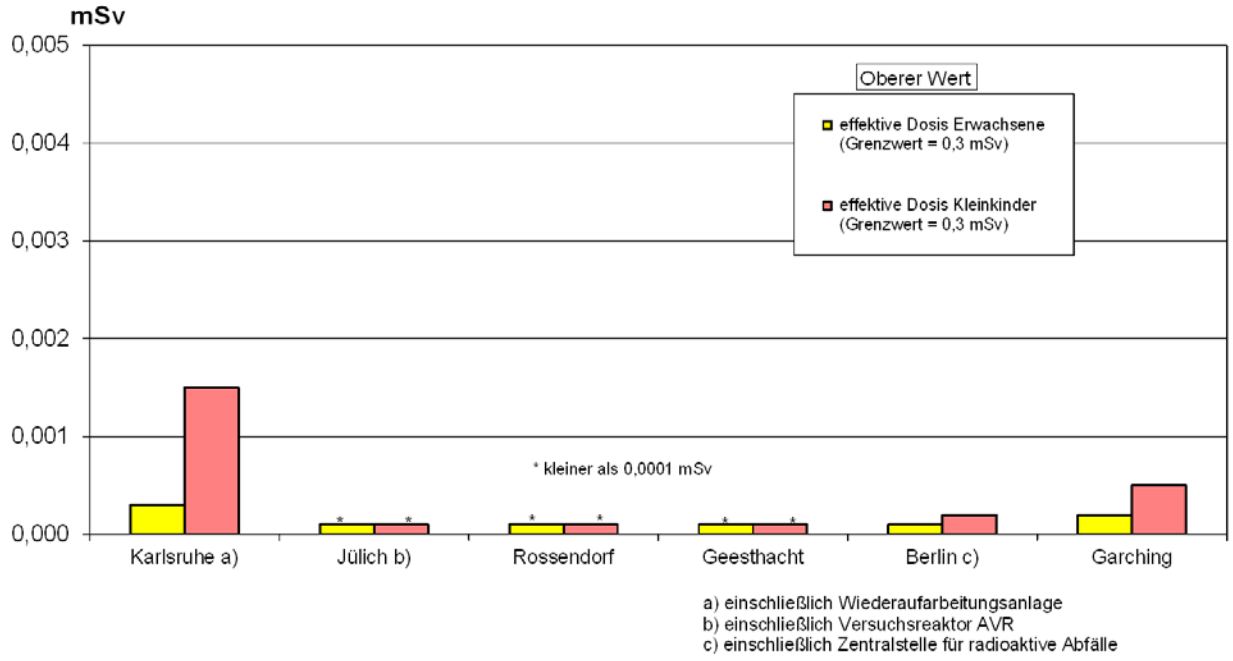


Abbildung B II 1.6-3 Exposition im Jahr 2021 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

(Exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air during the year 2021)

nung der Exposition durch Radon wurde der Gleichgewichtsfaktor (GGF) von 1,0 angewendet. Der GGF ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2021 sowohl für das ERAM als auch für das ZLN unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder. Das Zwischenlager Nord wird 2021 auch bei der Expositionsermittlung erstmalig separat vom Kernkraftwerk Greifswald / Lubmin betrachtet, da beide Anlagen ihre Ableitungen getrennt erfassen und berichten.

Schachtanlage Asse II

Seit dem 1. Januar 2009 wird die Schachtanlage Asse II verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radonfolgeprodukte beträgt im Jahr 2021 für Erwachsene 2,4 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 5,9 µSv und für Säuglinge 7,5 µSv (ca. 0,8 %, ca. 2 % bzw. 2,5 % des Grenzwertes nach der StrlSchV). Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr gestiegen. Grund dafür sind die unterschiedlichen meteorologischen Verhältnisse.

Die potenzielle Exposition wird in der Schachtanlage Asse II insbesondere durch das radioaktive Edelgas Radon und das Radionuklid Pb-210 verursacht. Das Radionuklid Pb-210 entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Radon-222 und wird zum Teil bereits mit den Frischwettern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwettern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachtanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfällen freigesetzt. Bei der Berechnung der potenziellen Exposition wurde nicht zwischen natürlichen und abfallbürtigen Radionukliden unterschieden, sondern konservativ angenommen, dass die in der Fortluft vorhandenen Radionuklide vollständig aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt werden. Die berechneten potenziellen Expositionen sind in Tabelle T II.23 aufgeführt und in Abbildung B II 1.6-4 dargestellt. Es erfolgte keine Ableitungen über das Abwasser.

Zentrale Zwischenlager

Für das zentrale Zwischenlager Nord und die zentralen Transportbehälterlager Ahaus (BZA) und Gorleben (BZG) ist die Exposition durch Direktstrahlung in Tabelle T II.24 aufgeführt. Die Messwerte erfassen sowohl die Direktstrahlung aus den Zwischenlagern als auch den natürlichen Untergrund. Um den Beitrag der Anlage abzuschätzen, ist ein Vergleich mit Messwerten des natürlichen Untergrundes notwendig, die während der Beweissicherungsphase vor dem Betrieb der Anlage gemessen wurden oder an Referenzmessstellen gemessen werden. Im Falle des BZG Gorleben haben Messungen ergeben, dass auf Grund des die Anlage umgebenden Erdwalls die ermittelte Gamma-Ortsdosis am Zaun natürlichen Ursprungs ist und kein Anteil des Zwischenlagers nachweisbar ist. Dies wurde durch Messprogramme der PTB zum natürlichen Untergrund im Bereich des nördlichen Anlagenzauns zur Ermittlung der Beiträge der natürlichen Strahlung im Jahr 2011 bestätigt. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur Neutronen-Ortsdosis wurde zu 0,065 mSv/a bestimmt.

Bewertung

Die für 2021aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der AVV Tätigkeiten berechneten Werte der Exposition haben die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis weniger als 4 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Exposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Exposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2021 deutlich unter 20 µSv pro Jahr.

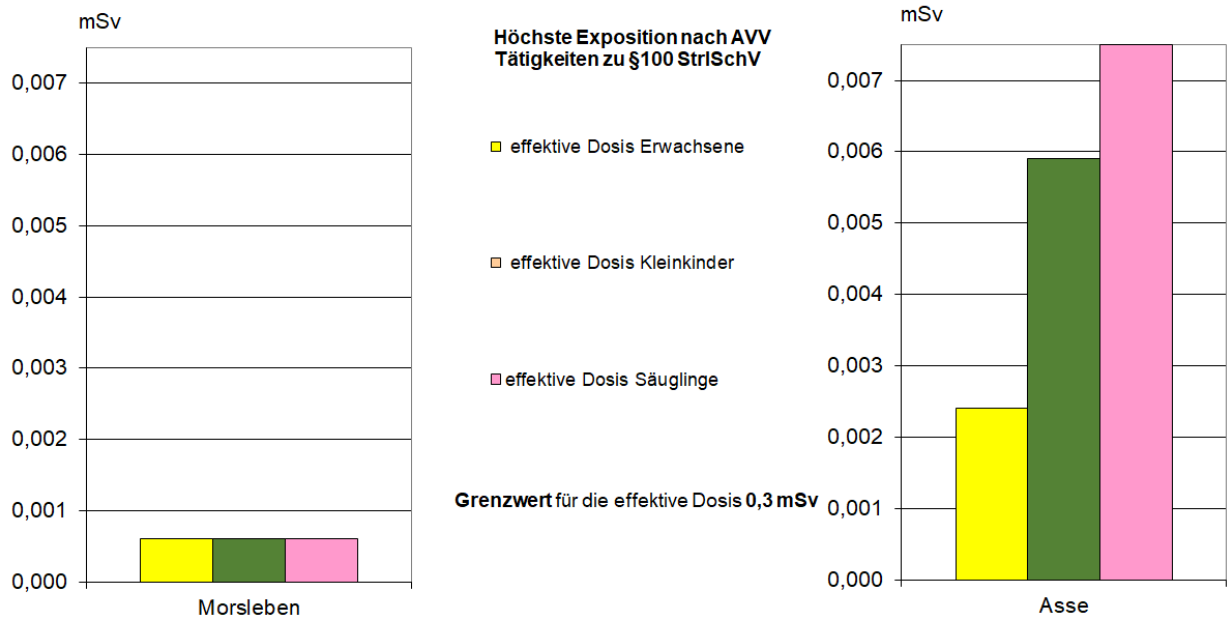


Abbildung B II 1.6-4 Exposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2021

(Exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air in 2021)

2. Allgemeine Umweltüberwachung (Immissionen)

2.1 Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung/Spurenanalyse

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sind mit der Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre gesetzlich beauftragt.

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes (ZdB) für IMIS bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind im Grundlagenbericht, Kapitel II „Grundlagen zur künstlichen Umweltradioaktivität“ enthalten.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen primär der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD und der PTB durchgeführt. Die von DWD, BfS und PTB erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU gemäß Artikel 36 des Euratom-Vertrages bereitgestellt.

Im vorliegenden Bericht kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und die Tabellen stellen repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in den Leitstellen verfügbar.

Ergebnisse der Routinemessungen

Die Messwerte der γ-Ortsdosisleistung sind auch im Jahr 2021, verglichen mit denen des Vorjahres, weitgehend unverändert geblieben. Die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag lagen überwiegend im Bereich des Pegels, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

2.1.1 Radionuklide in der bodennahen Luft

Monitoring

Die Ergebnisse der 41 kontinuierlich arbeitenden Luftmonitore des DWD wiesen im Berichtsjahr keine Werte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze von typischerweise ca. 10 mBq/m^3 Luft bezogen auf Cs-137 auf.

Edelgase

Auch im Jahr 2021 wurden am BfS Messungen des radioaktiven Xenons und des Kr-85 weitergeführt. An den sieben deutschen Probenentnahmestationen wurden in den Wochenproben Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xe-133, wie schon in den vergangenen Jahren, in der Regel zwischen unter 1 mBq/m^3 und wenigen mBq/m^3 Luft beobachtet. Bedingt durch den Rückgang der Emissionen von medizinischen Isotopenproduktionsanlagen liegen die Aktivitätskonzentrationen für Xe-133 in den letzten Jahren vermehrt im Bereich oder auch unterhalb der Nachweisgrenzen, die mit den manuellen Analysesystemen des BfS erreicht werden können. Die Probenentnahmen an diesen sieben Stationen werden teilweise durch das BfS selbst durchgeführt (Schauinsland, Freiburg, Bremgarten), an anderen Orten übernehmen dies der DWD (Offenbach, Potsdam, Trier) und die PTB (Braunschweig); die Analyse der Proben erfolgt im Edelgaslabor des BfS in Freiburg. Als Beispiel für die Messergebnisse ist in Abbildung B II 2.1-1 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration des radioaktiven Xe-133 an der Messstation auf dem Schauinsland bei Freiburg dargestellt. Auch hier wird, wie auch an der deutschen Radionuklidmessstation des BfS für die CTBTO auf dem Schauinsland, in den letzten Jahren eine Abnahme der mittleren Aktivitätskonzentration beobachtet (siehe Kapitel II 1.1).

Nachdem der Grundpegel von Kr-85 in der Luft über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m^3 pro Jahr kontinuierlich angestiegen ist, war in den Jahren 2003 bis 2013 ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe Abbildung B II 2.1-2). Ein Ansteigen des Grundpegels wird dann hervorgerufen, wenn die globale Freisetzungsrate von Kr-85 größer ist als die durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate.

Der Medianwert für die Aktivitätskonzentration von Kr-85, beispielsweise für den Probenentnahmeort Freiburg, betrug im Jahr 2021 1,48 Bq/m^3 (2020: 1,48 Bq/m^3). Kurzzeitige Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Abhängig von der Wetterlage im jeweiligen Sammelzeitraum und ggf. mit Hilfe der Analyse von parallel genommen Tagesproben am Probenentnahmeort Freiburg ist eine Ermittlung der Quelle mit Hilfe atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen möglich.

Im Jahr 2021 wurden nur vereinzelt erhöhte Kr-85-Aktivitätskonzentrationen an den deutschen Sammelstationen gemessen. Im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren liegen die beobachteten Aktivitätskonzentrationen nur selten deutlich über dem Jahresmedian von 1,48 Bq/m^3 Kr-85, teilweise werden Werte unterhalb 1,4 Bq/m^3 Kr-85 bestimmt.

Die maximalen Aktivitätskonzentrationen wurden in den Wochenproben vom 06.09.2021 bis 13.09.2021 mit 2,33 Bq/m^3 in Trier und 2,26 Bq/m^3 in Braunschweig sowie mit 2,29 Bq/m^3 in der Wochenproben vom 06.12.2021 bis 13.12.2021 in Braunschweig gemessen. Als Quelle ist die Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague am wahrscheinlichsten.

Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur γ-Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der γ-Ortsdosisleistung in Deutschland sehr klein.

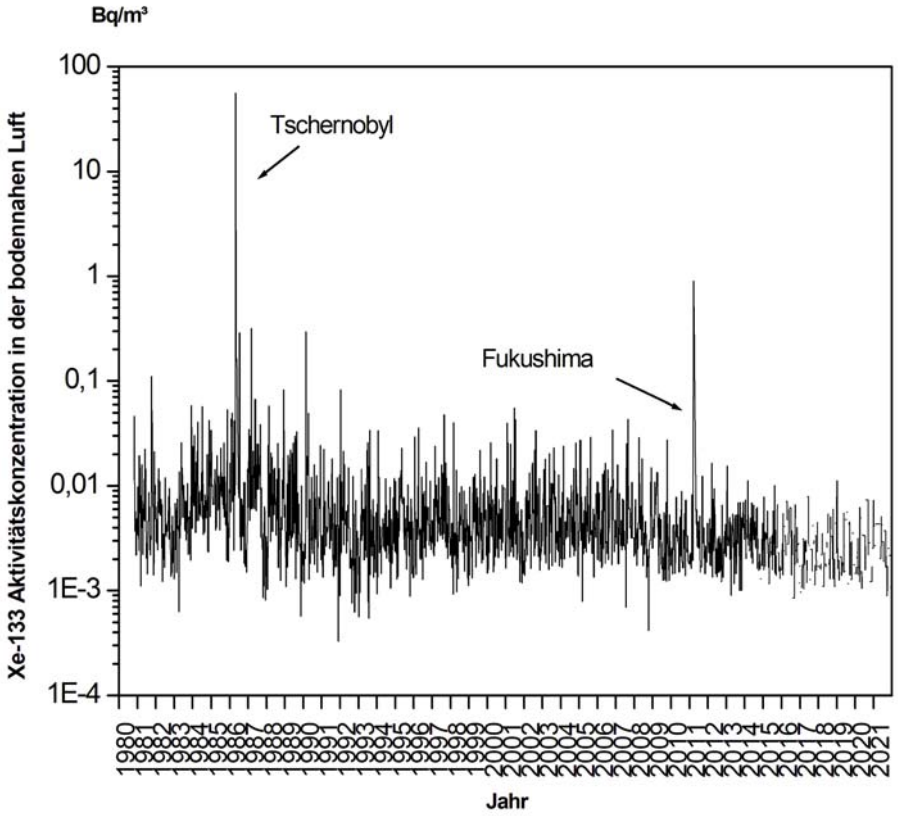


Abbildung B II 2.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg/Schauinsland

(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

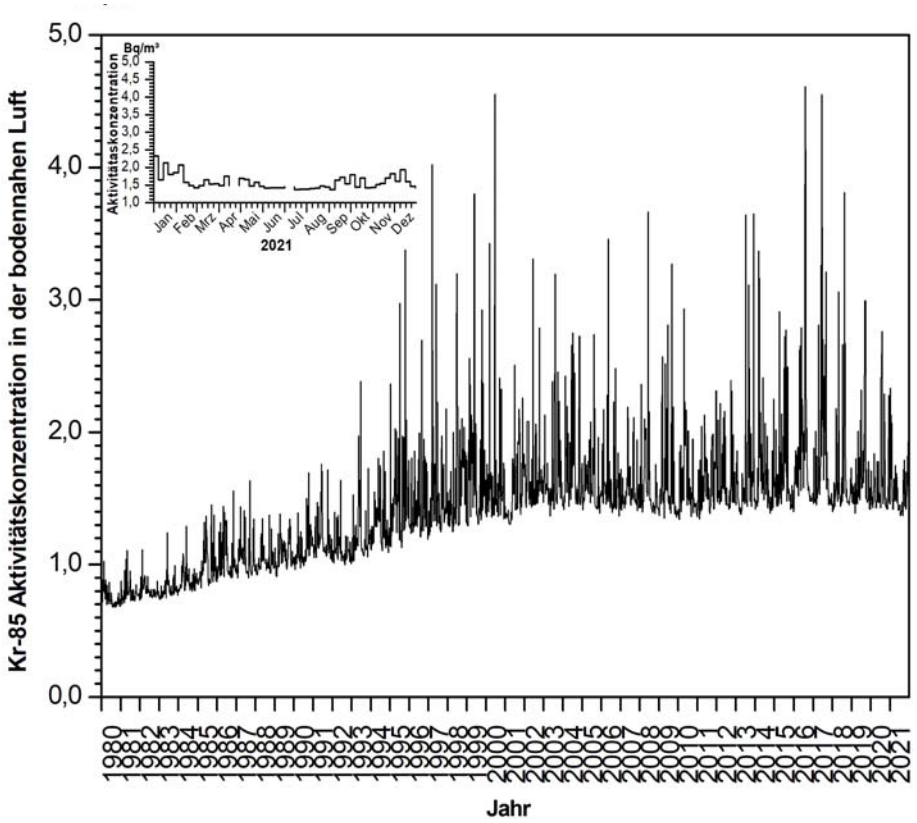


Abbildung B II 2.1-2 Kr-85-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg/Schauinsland

(Kr-85-activity concentration in air close to ground level at the sampling location Freiburg/Schauinsland)

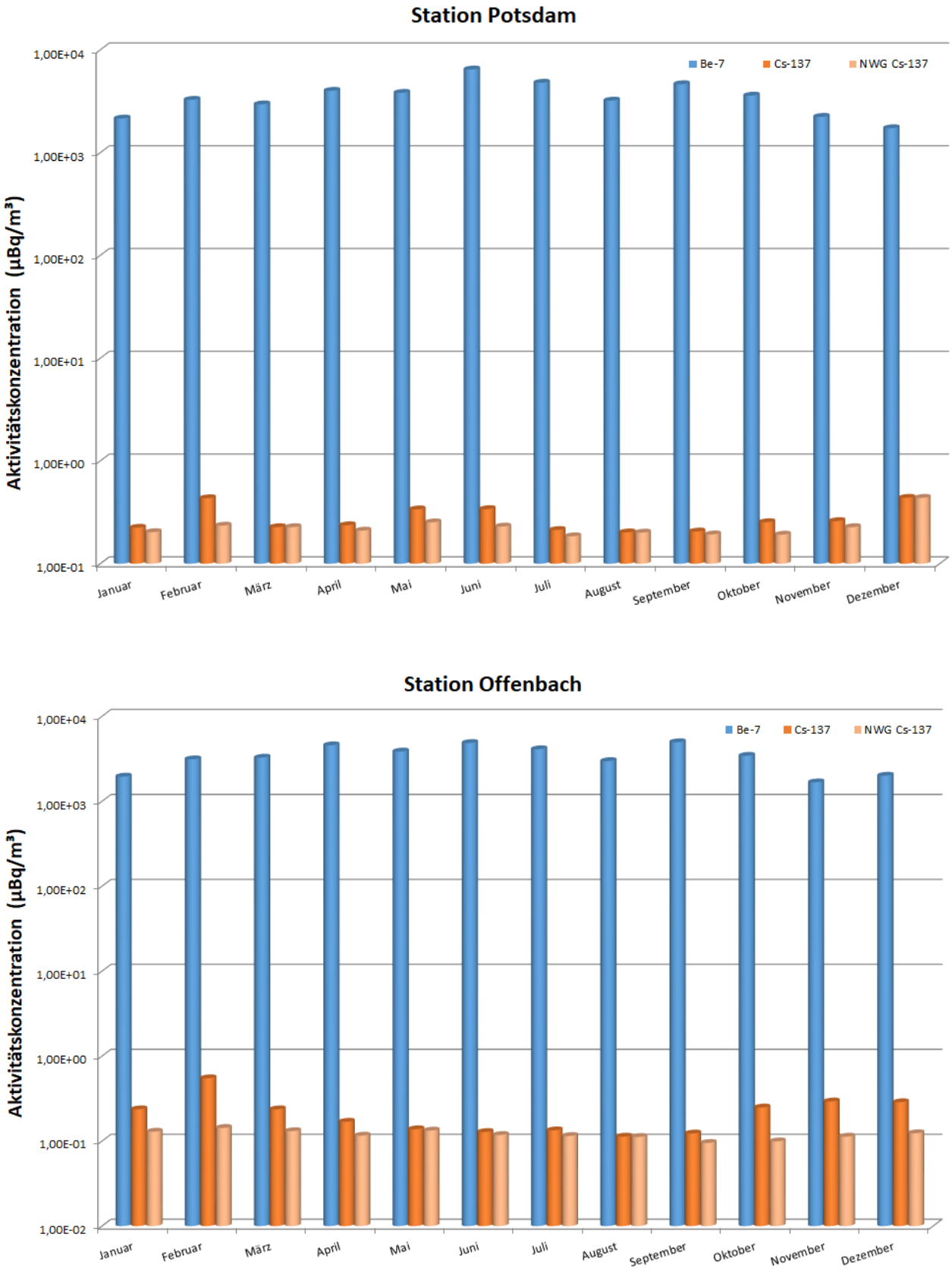


Abbildung B II 2.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 sowie die Nachweisgrenze (NWG) für Cs-137 in der bodennahen Luft im Jahr 2021 - DWD-Stationen Potsdam und Offenbach

(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2021 at the DWD stations in Potsdam and Offenbach)

Gammaspektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ–spektrometrisch gemessen und anschließend ausgewertet. In Tabelle T II.25 werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Potsdam und Offenbach werden in Abbildung B II 2.1-3 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich im Berichtsjahr in Potsdam mit Werten zwischen 0,21 µBq/m³ und 0,44 µBq/m^3 Luft und in Offenbach mit Werten zwischen 0,14 µBq/m^3 und 0,55 µBq/m^3 Luft detektieren. Das kosmogene Be-7 wurde in Potsdam mit Werten zwischen 1,7 mBq/m^3 und 6,5 mBq/m^3 und in Offenbach mit Werten zwischen 1,7 mBq/m^3 und 5,0 mBq/m^3 Luft nachgewiesen, die Werte liegen im üblichen Schwankungsbereich.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,17 µBq/m^3 Luft (vgl. Abbildung B II 2.1-4, Tabelle T II.25c). Die in den Wochenproben gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen im Bereich der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Durch längere Trockenperioden und jahreszeitlich bedingte Bodenbearbeitung wird zeitweise verstärkt Staub und damit Cäsium aus dem Boden aufgewirbelt, das dann in den Luftstaubproben nachgewiesen werden kann. Dieser Effekt wurde auch im Berichtsjahr beobachtet. Insbesondere wurden Anfang Februar großräumig leicht erhöhte Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in der Atmosphäre gemessen (vgl. Tabelle T II.25), diese sind höchstwahrscheinlich auf den Eintrag von Cäsium durch Staub aus der Sahara zurückzuführen. Die Nachweisgrenze für Cs-137 beträgt etwa 0,1 µBq/m^3 Luft. Die Aktivitätskonzentrationen für Be-7 lagen in den Wochenproben mit Werten von ca. 1,2 mBq/m^3 bis zu 9,3 mBq/m^3 Luft ebenfalls innerhalb des für die Station Schauinsland üblichen Rahmens.

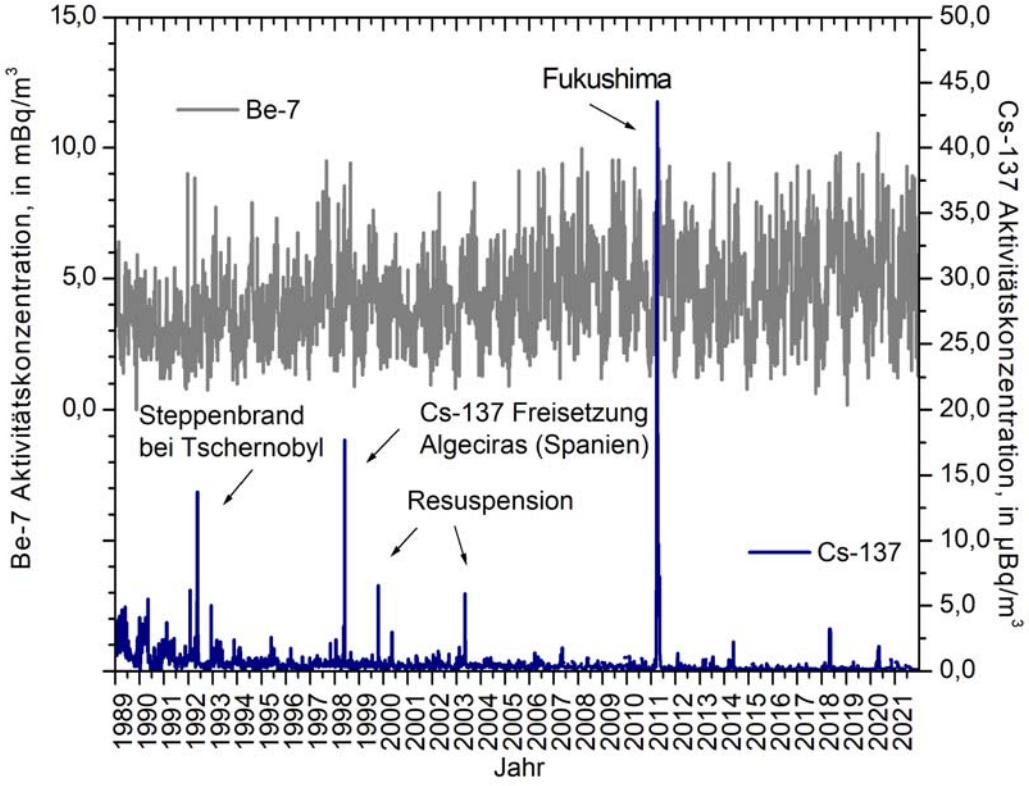


Abbildung B II 2.1-4 Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Schauinsland

(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in ground level air at Schauinsland measuring station)

Im Berichtszeitraum lagen in Braunschweig (PTB) die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und der im Routinebetrieb zu bestimmenden natürlichen Radionuklide im üblichen Schwankungsbereich. Die Nachweisgrenze für Cs-137 beträgt etwa 0,3 µBq/m^3 Luft. Die Zeitreihe der Cs-137-Aktivitätskonzentration für 2021 (vgl. auch Abbildung B II 2.1-5) zeigt keine Auffälligkeiten. Andere künstliche Radionuklide wurden in diesem Zeitraum nicht nachgewiesen.

Radiochemie

Im radiochemischen Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Sr-90 sowie Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben

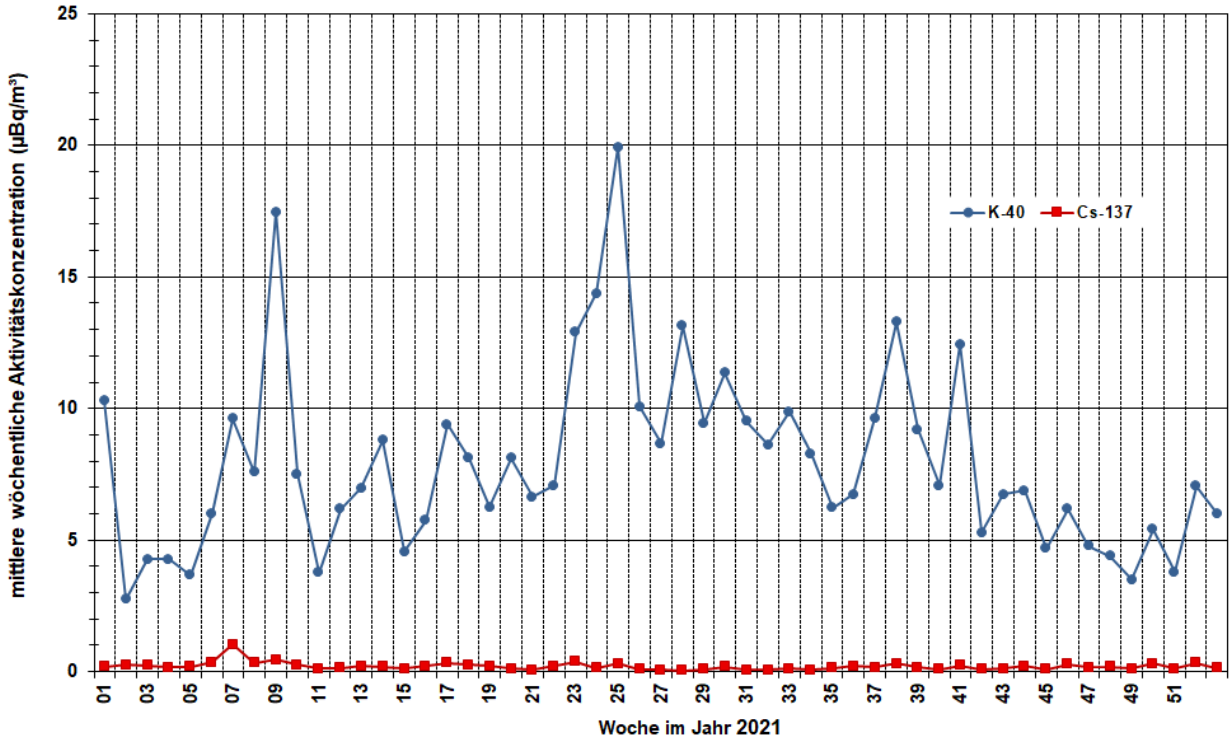


Abbildung B II 2.1-5 Aktivitätskonzentrationen von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft im Jahr 2021 am Probenentnahmeort Braunschweig

(Activity concentrations of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2021)

radiochemisch analysiert. Gemäß den Vorgaben des Routinemessprogramms werden für die Alphastrahler in der Luft Nachweisgrenzen von 0,1 µBq/m^3 und für Sr-90 eine Nachweisgrenze von 1 µBq/m^3 gefordert.

Für das aerosolgebundene U-234 wurden Aktivitätskonzentrationen von 0,0202 ± 0,0033 µBq/m^3 bis zu einem Wert von 0,2418 ± 0,0214 µBq/m^3 ermittelt, für U-238 lagen die Werte zwischen 0,0192 ± 0,0032 µBq/m^3 und 0,2408 ± 0,0196 µBq/m^3. Für U-235 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,0045 ± 0,0010 µBq/m^3 und 0,0150 ± 0,0024 µBq/m^3 festgestellt. Die erreichten Nachweisgrenzen für die Uran-Isotope lagen zwischen 0,0017 µBq/m^3 und 0,0242 µBq/m^3. Diese Messwerte spiegeln die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wider.

In Abbildung B II 2.1-6 sind die entsprechenden Monatswerte für exemplarisch für die Messstationen Potsdam dargestellt.

Für Pu-238 und Pu-(239+240) ergaben die Analysen im Berichtsjahr keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Für Pu-(239+240) wurden 11 Messwerte oberhalb der jeweiligen Erkennungsgrenze ermittelt, davon fünf in Potsdam, drei in Offenbach und zwei in Schleswig. Die Nachweisgrenzen lagen für Pu-238 zwischen 0,0027 µBq/m^3 und 0,0176 µBq/m^3 und für Pu-(239+240) zwischen 0,0034 µBq/m^3 und 0,0123 µBq/m^3.

Für Am-241 ergaben die Analysen an den Stationen in Potsdam, München und Offenbach keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. An der Station in Schleswig wurden wie bereits im Vorjahr Aktivitätskonzentrationen für Am-241 oberhalb der Nachweisgrenze gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung B II 2.1-7 zusammen mit den Aktivitätskonzentrationen für U-234, U-235 und U-238 dargestellt. Die Am-241-Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze lagen zwischen 0,0114 ± 0,0025 µBq/m^3 und 0,0467 ± 0,0052 µBq/m^3. Die Messwerte sind durch externe Messungen bestätigt. Die Herkunft des Am-241 ist bislang nicht geklärt. Für Am-241 wurden Nachweisgrenzen zwischen 0,0010 µBq/m^3 und 0,0379 µBq/m^3 erreicht.

Für Sr-90 ergaben die Analysen im Berichtsjahr keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der jeweiligen Erkennungs- und Nachweisgrenze. Die erreichten Nachweisgrenzen lagen zwischen 0,0382 µBq/m^3 und 0,5385 µBq/m^3.

Bei der PTB in Braunschweig liegen für das Berichtsjahr keine Messergebnisse für Alpha- und Betateilchen emittierende Radionuklide vor, da das Radiochemielabor wegen umfangreicher Umbau- und Sanierungsmaßnahmen nicht zur Verfügung stand.

Beim BfS in Freiburg wurden im Berichtsjahr die radiochemischen Analysen für Sr-90, Uran und Plutonium an Luftstaubfiltern der Messstation Schauinsland fortgeführt. Die Aktivitätskonzentrationen für Sr-90 lagen im Zeitraum Oktober 2019 bis September 2020 in den analysierten Proben zwischen 0,02 µBq/m^3 und 0,09 µBq/m^3 mit einer durchschnittlichen Gesamtmessunsicherheit von ca. 4 %. Die Nachweisgrenzen für dieses Radionuklid lagen bei 0,01 µBq/m^3 .(vgl. Abbildung B II 2.1-8).

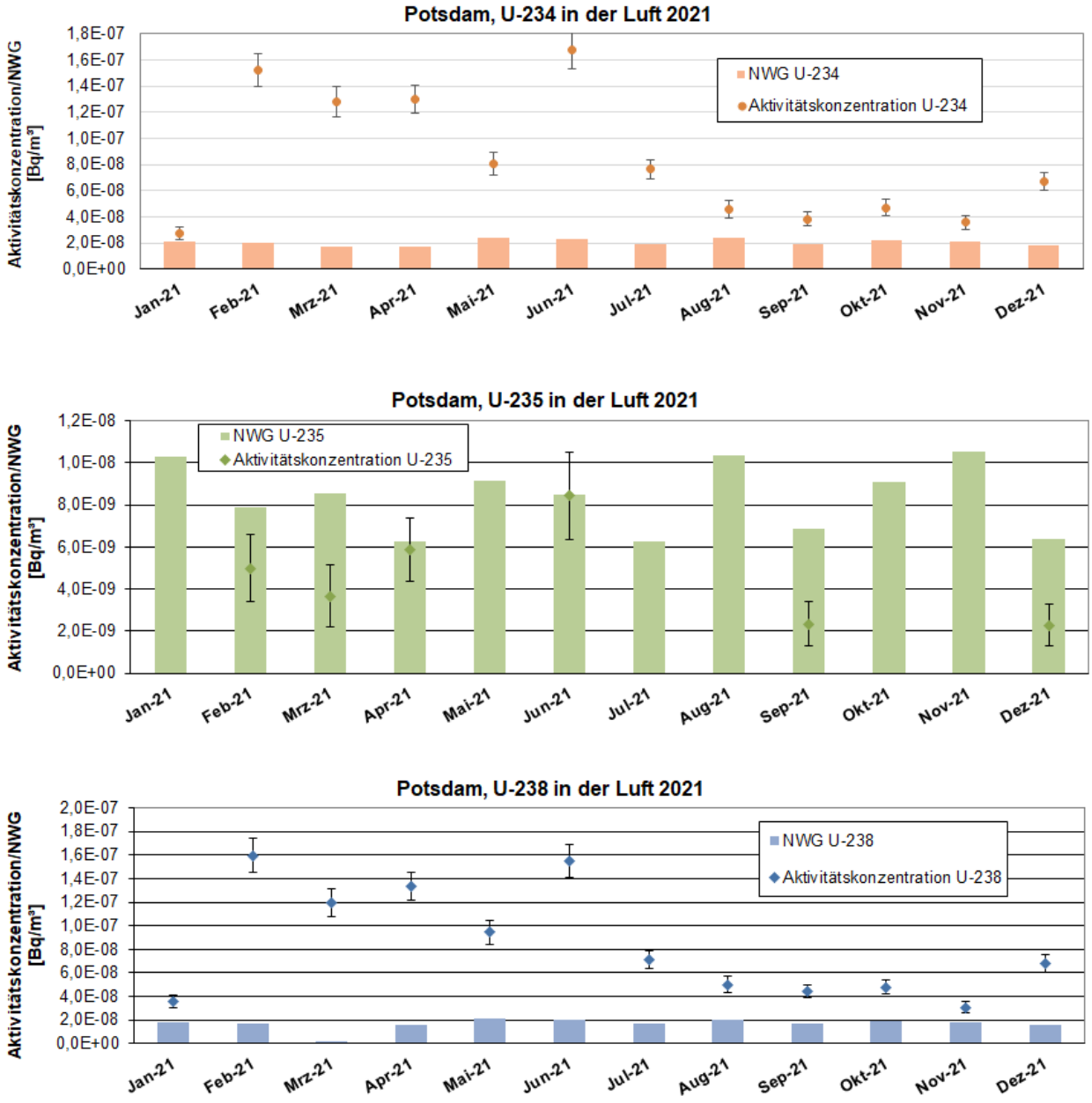
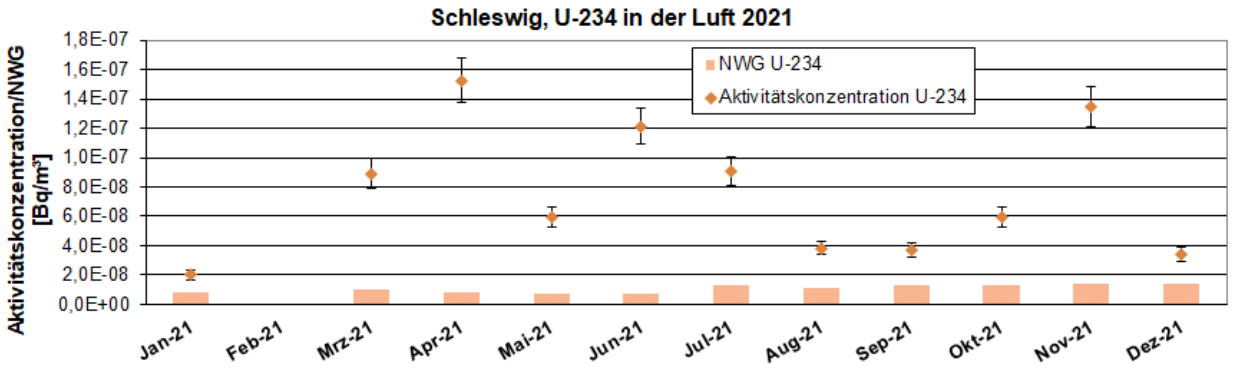
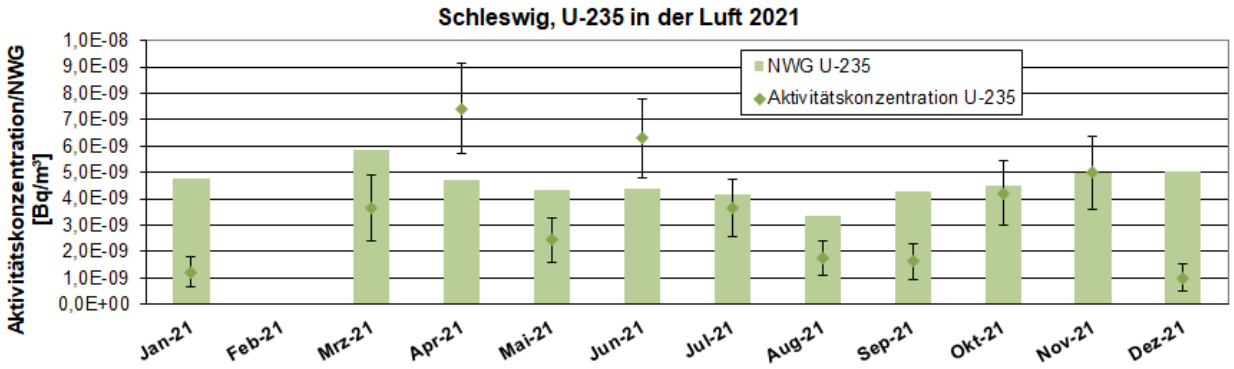
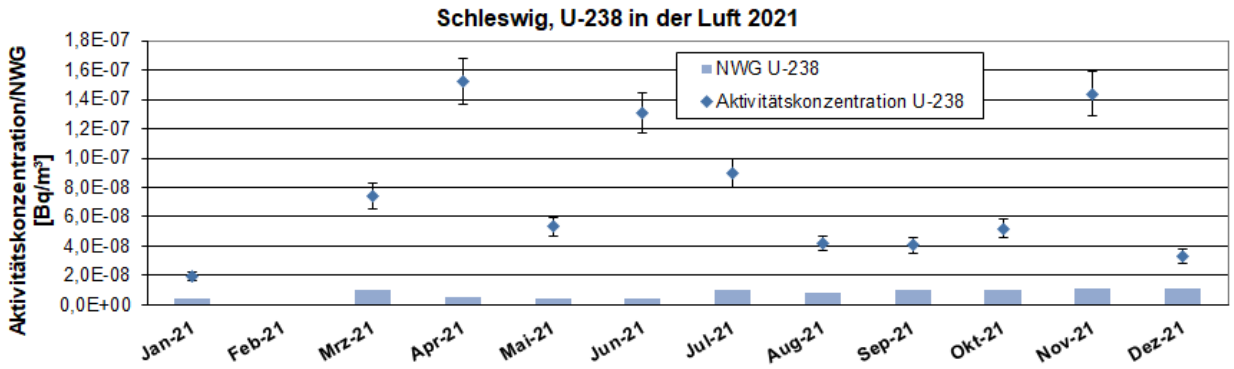


Abbildung B II 2.1-6 Aktivitätskonzentrationen von Uranisotopen in der bodennahen Luft für das Jahr 2021 am Probenentnahmeort Potsdam

(Activity concentrations and activity ratio of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam in 2021)







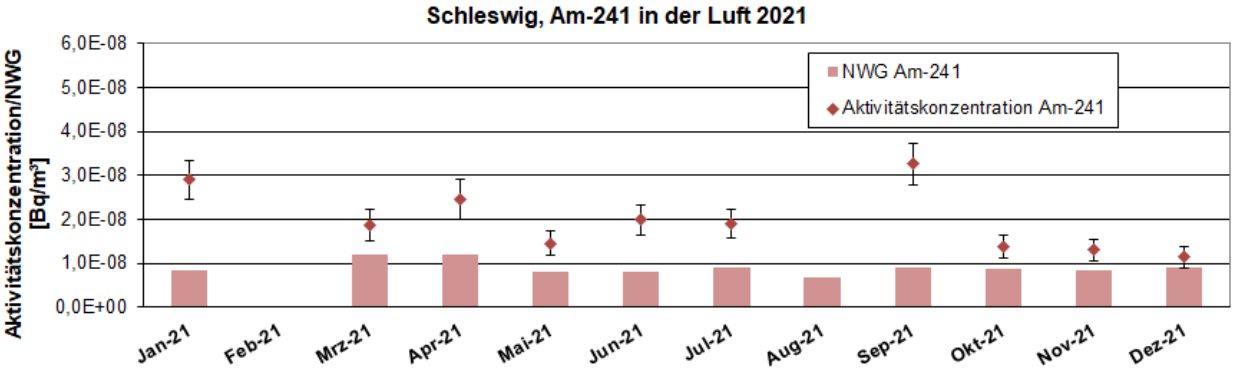


Abbildung B II 2.1-7 Aktivitätskonzentrationen von Uranisotopen und Am-241 in der bodennahen Luft für das Jahr 2021 am Probenentnahmeort Schleswig

(Activity concentrations and activity ratio of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Potsdam in 2021)

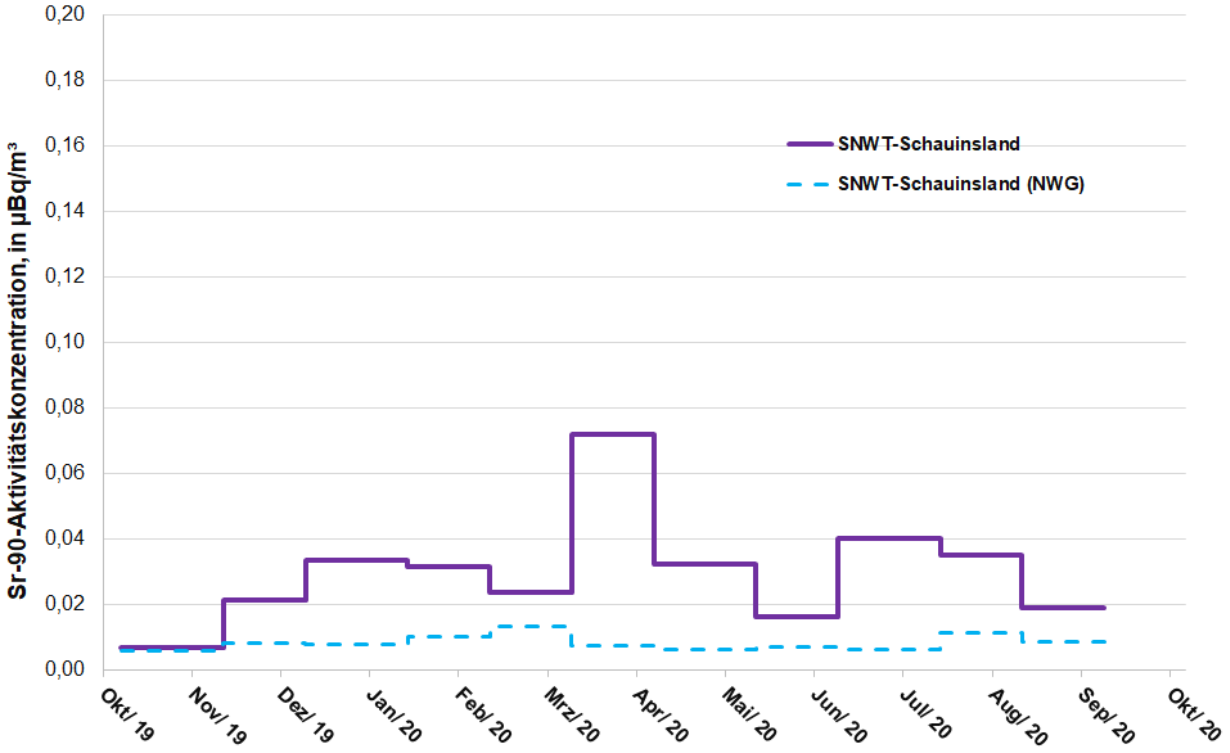


Abbildung B II 2.1-8 Aktivitätskonzentrationen von Strontium-90 in der bodennahen Luft von Oktober 2019 bis September 2020 am Probenentnahmeort Schauinsland

(Activity concentrations of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Schauinsland in the period October 2019 to September 2020)

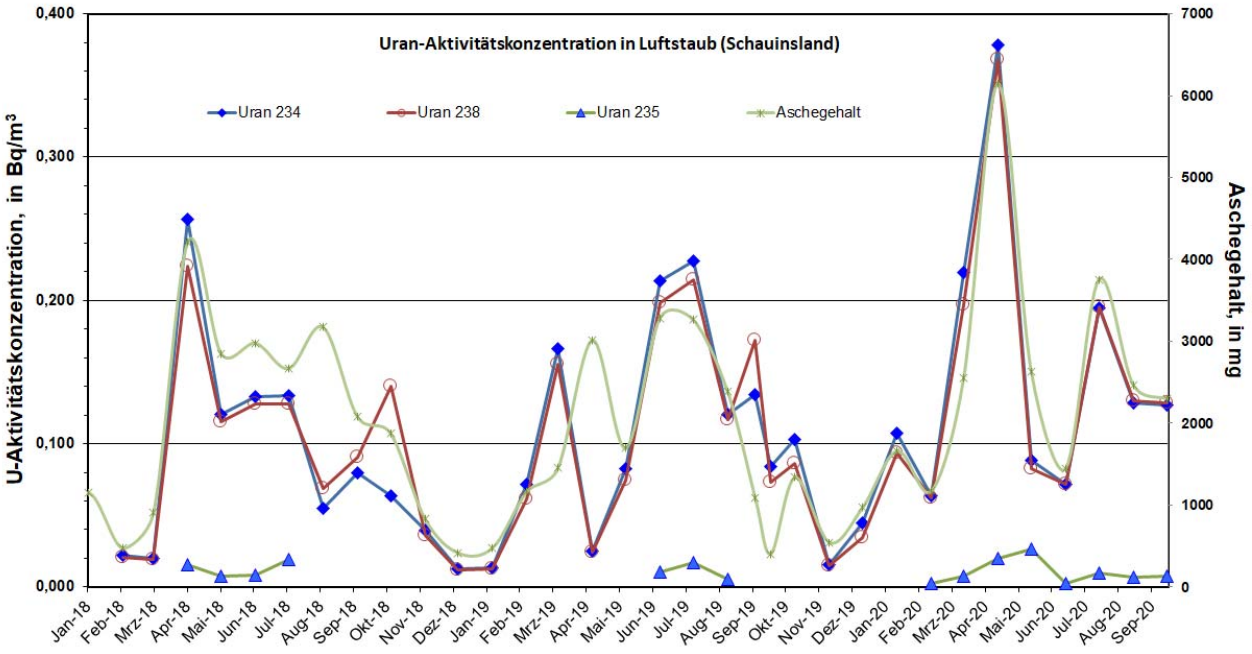


Abbildung B II 2.1-9 Aktivitätskonzentrationen von Uran-Isotopen in der bodennahen Luft von Januar 2018 bis September 2020 am Probenentnahmeort Schauinsland

(Activity concentrations of Uranium isotopes in ground-level air at the sampling site Schauinsland in the period January 2018 to September 2020)

Die Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope U-234 und U-238 lagen in den aus dem Jahr 2020 analysierten Proben zwischen 0,06 µBq/m^3 und 0,38 µBq/m^3. Deren Nachweisgrenzen bewegten sich zwischen 0,0002 µBq/m^3 und 0,002 µBq/m^3. Das Radionuklid U-235 war mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,002 µBq/m^3 und 0,03 µBq/m^3 nachweisbar, die Nachweisgrenzen lagen im Bereich von 0,0002 µBq/m^3 bis 0,002 µBq/m^3. Abbildung B II 2.1-9 zeigt die zum Berichtszeitpunkt verfügbaren Ergebnisse für die Aktivitätskonzentrationen der Uranisotope von Januar 2018 bis September 2020, im Vergleich ist der Aschegehalt der Proben dargestellt.

Die Nachweisgrenzen für Pu-238 sowie für Pu-(239+240) lagen in diesem Zeitraum zwischen 0,0002 µBq/m^3 und 0,0005 µBq/m^3.

2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)

Gammaspektrometrie

Monatssammelproben von 40 DWD-Messstationen wurden γ-spektrometrisch analysiert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen ca. 10 und ca. 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge Nachweisgrenzen zwischen 0,05 Bq/m^2 und 0,5 Bq/m^2 resultieren können. Die für 2021 ermittelten Nachweisgrenzen für Cs-137 lagen zwischen 0,04 Bq/m^2 und 0,09 Bq/m^2. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Potsdam, Offenbach und Schleswig in Tabelle T II.26 als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2021 ähnlich denen der Jahre vor dem Reaktorunfall von Fukushima. Abbildung B II 2.1-10 zeigt für die Messstationen Offenbach und Potsdam die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Für kosmogenes Be-7 wurden anhand von Monatsproben Messwerte zwischen 12,7 ± 1,5 Bq/m^2 und 91,7 ± 10,5 Bq/m^2 (Offenbach) und zwischen 11,1 ± 1,29 Bq/m^2 und 53,9 ± 6,1 Bq/m^2 (Potsdam) bestimmt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Potsdam, München, Offenbach und Schleswig, bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat, analysiert. Die Niederschlagsmengen lagen zwischen 17,34 l/m^2 und 230,6 l/m^2, in Abhängigkeit von Monat und Station. Es wurden Sr-90, H-3 sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betrugen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. 5,74 mBq/m^2 bis 77,73 mBq/m^2, für Pu-238 0,20 mBq/m^2 bis 1,20 mBq/m^2 für Pu-(239+240) 0,17 mBq/m^2 bis 1,31 mBq/m^2 und für Am-241 0,24 mBq/m^2 bis 6,79 mBq/m^2. In acht Fällen lag die gemessene Aktivitätskonzentration von Pu (239+240) zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze, alle anderen Werte lagen unterhalb der jeweiligen Erkennungsgrenzen. Die geforderten Nachweisgrenzen für die bestimmten Alpha-Isotope liegen bei 0,02 mBq/l. Bei den gefallenen Niederschlagsmengen resultieren daraus als zu erreichende Nachweisgrenzen Werte zwischen 0,35 mBq/m^2 und 4,61 mBq/m^2. Die geforderte Nachweisgrenze für Sr-90 liegt bei 1 mBq/l, woraus sich als zu erreichende Nachweisgrenzen Werte zwischen 15,4 mBq/m^2 und 230,6 mBq/m^2 ergeben. Natürlich vorkommendes aerosolgebundenes Uran wurde mit den Niederschlägen ausgewaschen, die Deposition für U-234 und U-238 lag zwischen 0,82 ± 0,16 mBq/m^2 und 10,80 ± 0,95 mBq/m^2, für U-235 zwischen 0,22 ± 0,05 mBq/m^2 und 0,41 ± 0,09 mBq/m^2. In allen Proben wurden Flächendepositionen von U-234 und U-238 oberhalb der Nachweisgrenze beobachtet. Für U-235 wurde bei neun Proben eine Flächendeposition oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt, bei 27 Proben eine Deposition zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze und in den übrigen Proben lagen die Werte unterhalb der Erkennungsgrenze. Die erreichten Nachweisgrenzen lagen für die Uranisotope zwischen 0,02 mBq/m^2 und 0,98 mBq/m^2. Für H-3 wurden Messergebnisse zwischen 0,4 Bq/l und 1,91 Bq/l nach elektrolytischer Anreicherung ermittelt.

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ-Ortsdosisleistung in Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ-Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 nSv/h und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,5 mSv bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Spitzenwerte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 Höhenmeter.

Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 zurückzuführenden künstlichen Beiträge zur γ-Ortsdosisleistung (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten der ODL-Messstellen mit In-situ-Messfahrzeugen des Bundes und der Länder nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden in der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Mit Hilfe der im Ereignisfall durchzuführenden In-situ-Messungen lassen sich für eine eventuelle, frische Kontamination des Untergrundes/Bodens die Radionuklide und deren Aktivität schnell bestimmen.

Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ-Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von natürlichen Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen und es stellen sich innerhalb weniger Stunden wieder die für die betroffenen Standorte typischen Werte ein.

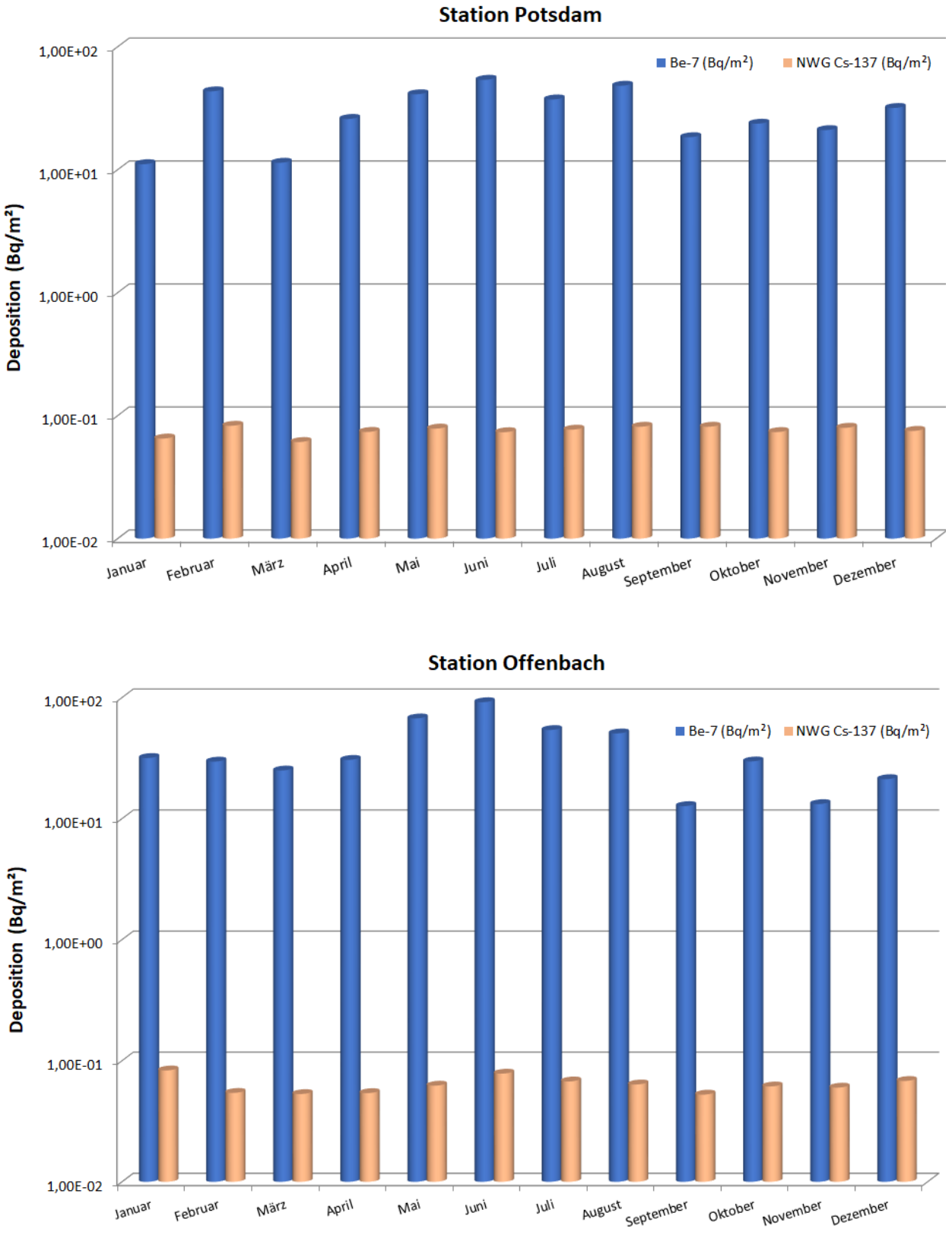


Abbildung B II 2.1-10 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2021 - DWD-Stationen Potsdam und Offenbach

(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2021 - DWD stations in Potsdam and Offenbach)

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung, Blitzschutz und Standortdokumentation. Seit einigen Jahren läuft eine umfangreiche, langjährige Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung und Datenfernübertragung im ODL-Messnetz. Im Berichtsjahr wurden im Messnetz weiterhin Messstellen auf neueste Sonden-, Messdatenlogger- und LTE-Technik umgerüstet. Ende 2020 konnte die LTE-Umrüstung abgeschlossen werden. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte 2021 ebenfalls fortgesetzt werden. Durch den Einsatz der neuen Technik werden beispielsweise rund 140 ODL-Messstellen an Liegenschaften des DWD kostenneutral durch Nutzung des gesicherten DWD-WAN (Weitverkehrsnetz) integriert. Diese Messstellen liefern ihre Daten online im Routinebetrieb alle 10 Minuten.

Seit 2012 liefen im ODL-Messnetz Feldversuche, bei denen spektrometrierende ODL-Sonden mit Cadmium-Zink-Tellurid- oder Lanthanbromid-Detektoren verschiedener Hersteller eingesetzt wurden. Diese können, mit Hilfe von spektrometrischen Messdaten mittlerer Energieauflösung, nuklidspezifische Informationen zusätzlich zur gemessenen ODL liefern. Im Vergleich zu den herkömmlichen In-situ-Messsystemen mit hochauflösenden Reinstgermaniumdetektoren zeigen diese Systeme zwar eine geringere Energieauflösung, sind aber erheblich preiswerter und robuster und können bei normaler Umgebungstemperatur betrieben werden. Auf Grund des neuen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) werden seit 2017 spektrometrierende ODL-Sonden stationär in der Zentralzone um Kernkraftwerke sukzessive aufgebaut und operationell im 10 Minuten-Takt betrieben.

Im Rahmen von groß angelegten internationalen oder nationalen Messübungen konnte der operationelle Einsatz und Betrieb von zusätzlich ausgebrachten, quasistationären autarken Sonden, spektrometrierenden ODL-Sonden und drohnen- und fahrzeuggestützten mobilen ODL-Messungen im Messnetz seit 2014 erfolgreich verifiziert werden. Ebenso konnte das Konzept des Einsatzes von mobilen In-situ-Messungen an nicht ortsfesten ODL-Messstellenstandorten erweitert und DV-technisch umgesetzt werden. Die zentrale Datenbank wurde um mobile und spektrometrische Messungen grundlegend erweitert und kann auch z. B. mobile ODL-Messdaten der CBRN-Erkundungsfahrzeuge der Länder mit aufnehmen.

Durch den geplanten Ausstieg Deutschlands aus der Nutzung der Kernenergie wurde das ODL-Messnetzkonzept 2021 szenario-spezifisch vom BfS radiologisch neu analysiert und bewertet. Der Entwurf der geplanten Anpassung des ODL-Messnetzes (neues ODL-Konzept) befindet sich momentan in der Abstimmung mit dem BMUV und den Ländern.

2.1.4 Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktstrahlung aus kerntechnischen Anlagen

Im § 101 der Strahlenschutzverordnung wird die Ermittlung der realitätsnahen Jahresdosis (effektive Dosis) von Einzelpersonen der Bevölkerung gefordert. Die Exposition durch die Direktstrahlung kerntechnischer Anlagen kann aus den Messwerten der Gamma-Ortsdosisleistung sowie der Neutronen-Ortsdosisleistung an geeigneten Messorten berechnet werden. Da die erforderlichen Informationen dem Bundesamt für Strahlenschutz nicht vorlagen, wurden ersatzweise die Messwerte aus den REI-Jahresberichten der Betreiber der kerntechnischen Anlagen und der zuständigen Landesbehörden herangezogen. In den Messwerten ist neben der Direktstrahlung aus kerntechnischen Anlagen auch der natürliche Hintergrund durch terrestrische und kosmische Strahlung enthalten. Für jede kerntechnische Anlage wurde die höchste über das Jahr gemittelte Gamma-Ortsdosisleistung bzw. Neutronen-Ortsdosisleistung außerhalb des Betriebsgeländes für die Dosisberechnung herangezogen, ungeachtet dessen, ob an dieser Stelle längere Aufenthalte von Einzelpersonen der Bevölkerung möglich sind. Das Ergebnis sind effektive Jahresdosen, die die reale Exposition der Bevölkerung durch Direktstrahlung erheblich überschätzen.

Die Ergebnisse für die Dosisberechnung für das Jahr 2021 zeigt Tabelle T II.27. Die aus der Gamma-Ortsdosisleistung (Gamma-ODL) berechneten Beiträge zur effektiven Jahresdosis liegen bis auf eine Ausnahme im Bereich von 0,27 mSv bis 0,67 mSv. Diese Dosiswerte liegen im erwartbaren Bereich, da bis auf die Urananreicherungsanlage Gronau (UAG Gronau) die Summe der natürlichen Hintergrundstrahlung und der Direktstrahlung aus kerntechnischen Anlagen von den Messgeräten erfasst wurde. Die aus der Neutronen-Ortsdosisleistung (Neutronen-ODL) berechneten Beiträge zur effektiven Jahresdosis betragen bis auf die oben genannte Ausnahme 0,05 mSv bis 0,22 mSv. Diese Wertebereiche sind insgesamt weit unterhalb des Grenzwertes für die effektive Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 80 StrlSchG (1 mSv im Kalenderjahr). Wie bereits erwähnt sind die Ergebnisse für die Urananreicherungsanlage Gronau eine Ausnahme. Da anhand lokaler Messungen die natürliche Hintergrundstrahlung bestimmt wurde, konnte die effektive Jahresdosis, die aus der kerntechnischen Anlage resultiert, wie von § 101 StrlSchV gefordert realitätsnah berechnet werden.

2.1.5 Radioaktivität in Luft und Niederschlag in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz

Luft

Gemäß der REI sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und von schwebstoffpartikelgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 5 mBq/m^3und bei den aerosolpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei 0,4 mBq/m^3.

Für das gasförmige I-131 wurden im Allgemeinen nur Nachweisgrenzen gemessen - mit Ausnahme der zeitweise durch Fukushima beeinflussten Einzelmesswerte 2011 (siehe Tabelle B-II-2.1.4-1a im Jahresbericht 2011 des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Im Berichtsjahr hat sich die Konzentration des emittierten I-131 gegenüber den Vorjahren nicht verändert (Tabelle T II.28). Dasselbe gilt für die Aktivitätskonzentrationen der schwebstoffpartikelgebundenen Radionuklide, die 2021 wie im Vorjahr an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen lagen. Die Messergebnisse sind in Tabelle T II.29 für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ-Ortsdosisleistung (Tabelle T II.30) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung auf. Zum einen können stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes hierfür der Grund sein, zum anderen bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes. Bauliche Veränderungen im Umfeld einer Messstelle, wie z. B. die Errichtung eines Gebäudes oder Bodenarbeiten, beeinflussen den vorhandenen Grundpegel an der Messstelle und können in den gemessenen Ortsdosisleistungswerten sichtbar werden.

Seit dem 1. August 2011 gilt verbindlich die neue dosimetrische Messgröße Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $dH^*(10)/dt$ (siehe Kapitel II, „Allgemeine Angaben“ im Grundlagenbericht).

Niederschlag

Gemäß REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln (siehe „Allgemeine Angaben“ im Grundlagenbericht). Aus den Aktivitätskonzentrationen und den Niederschlagsmengen wird die Deposition berechnet. Aus den Monatsdepositionen in Becquerel pro Quadratmeter werden Jahresmittelwerte gebildet und berichtet. Als Nachweisgrenze für die Konzentrationsmessung, bezogen auf Co-60, werden 0,05 Bq/l gefordert. Die Niederschlagsmenge liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen 0,5 Bq/m^2 und 5 Bq/m^2 resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In Tabelle T II.31 sind die erzielten Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst.

2.2 Nord- und Ostsee

In diesem Kapitel wird der Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich mindestens je eine Überwachungsfahrt in Nord- bzw. Ostsee mit Schiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und ggf. gecharterten ausländischen Forschungsschiffen sowie zahlreiche Meerwasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen genommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch des zeitlichen Trends der Kontamination möglich. Im Meerwasser werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, Pu-238, Pu-(239+240), Am-241 und H-3 radiochemisch analysiert. Meeresschwebstoff und -sediment werden gammaspektrometrisch gemessen. Ausgewählte Meeressedimentproben werden zusätzlich auf PU-238, Pu-(239+240) untersucht. Die in den letzten Jahren gefundenen Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten waren in allen Fällen sehr gering und daher für Mensch und Umwelt unbedenklich.

Aufgrund personeller Engpässe waren Auswertungen für die Berichtsjahre 2015 bis 2020 teilweise noch nicht verfügbar. Diese werden in vorliegendem Bericht größtenteils nachgeliefert. Die Auswertungen für das Berichtsjahr 2021 sind vollständig.

Aufgrund Corona-Maßnahmen fanden im Jahr 2020 in der Ostsee und im Jahr 2021 in der Nordsee keine Probeentnahmen statt.

2.2.1 Radionuklide im Nordseewasser

Die Zeitreihen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 lassen seit einigen Jahren nur noch Aktivitätskonzentrationen zwischen 1 Bq/m³ und 2 Bq/m³ erkennen (Abbildung B II 2.2-1 und Abbildung B II 2.2-2). Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) Sellafield (UK) und La Hague (F) nur noch sehr geringe Einleitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentrationen nur noch sehr gering über den Kontaminationswerten des Oberflächenwassers des Atlantiks. Diese sind im Wesentlichen durch die Rückstände des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests der sechziger Jahre gekennzeichnet. Ein Eintrag von Cs-137 aus der Elbe ist nicht festzustellen. Der Fallout Tschernobyls mit seinem charakteristischen Verhältnis der Nuklide Cs-134 zu Cs-137 war in der deutschen Bucht schon zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr messbar. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG <0,3 Bq/m³).

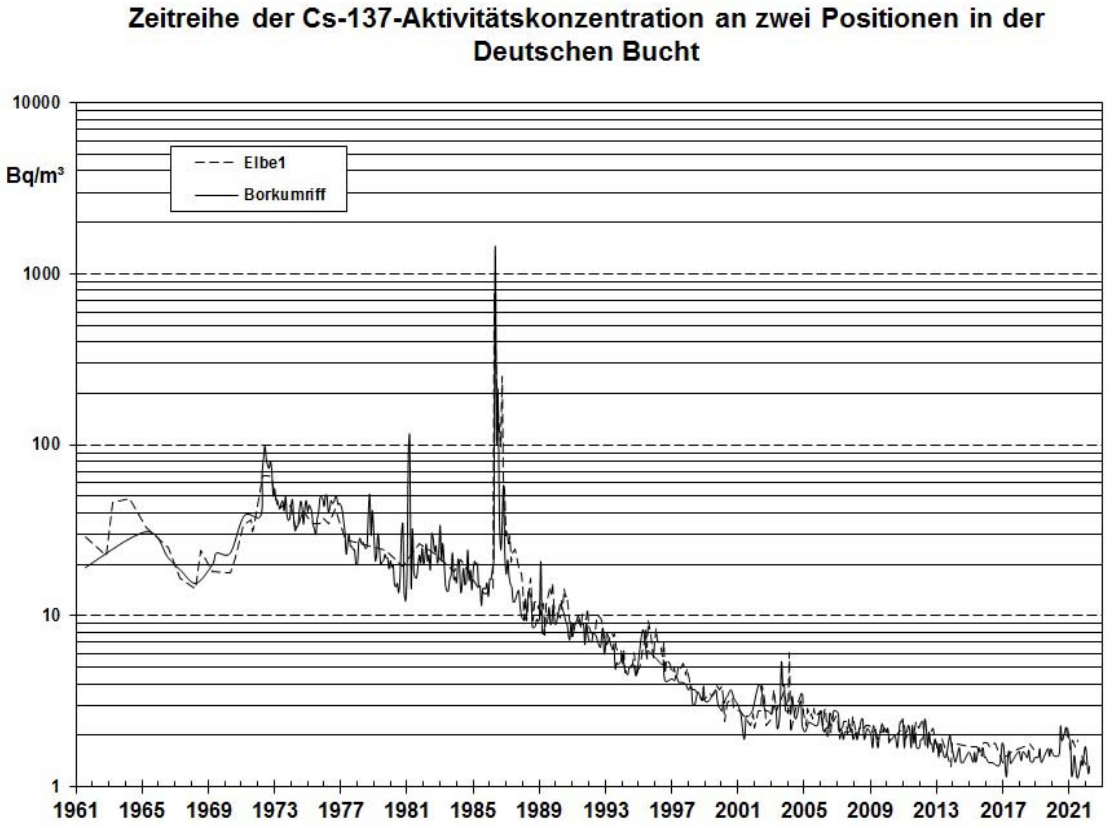


Abbildung B II 2.2-1 **Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961**

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) at two positions in the German Bight since 1961)

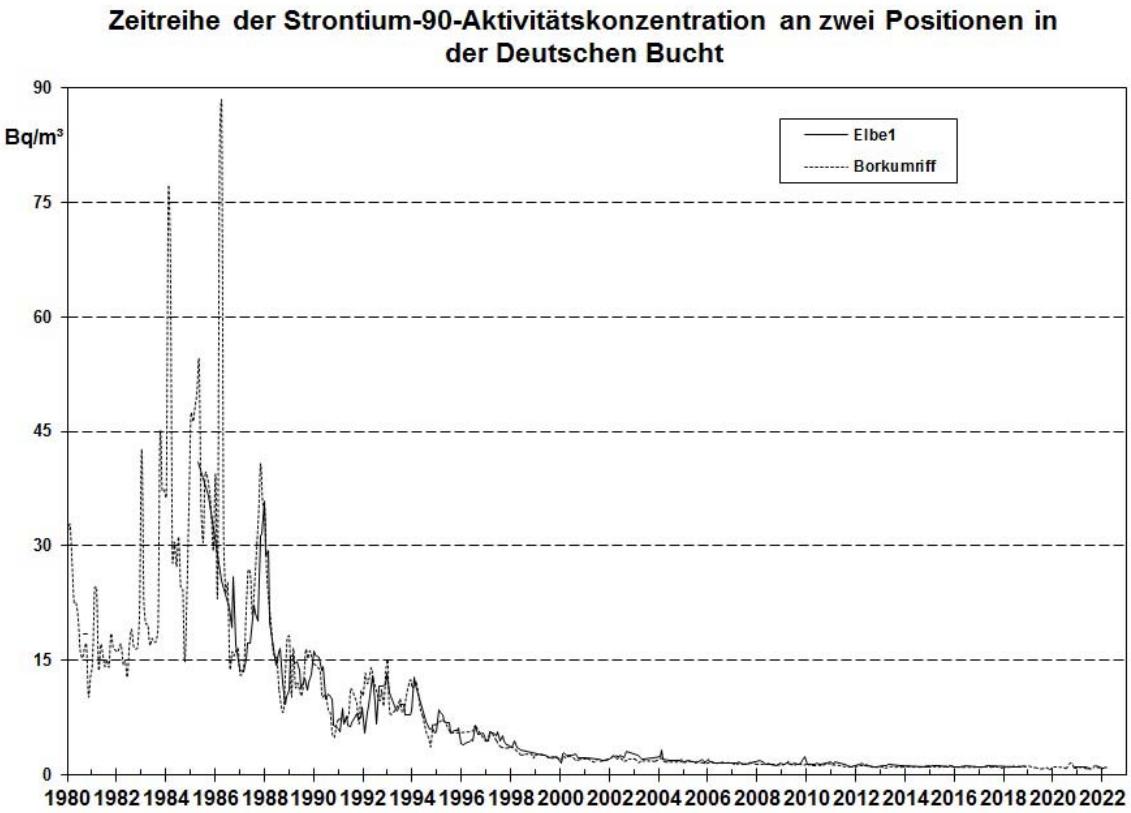


Abbildung B II 2.2-2 **Zeitlicher Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980**

(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) at two positions in the German Bight since 1980)

Abbildungen B II 2.2-3, B II 2.2-4 und B II 2.2-5 zeigen die Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Oberflächenwasser und an ausgewählten Stationen in der Wassersäule der Nordsee von 50° bis 60° nördlicher Breite der Jahre 2018, 2019 und 2020. Insgesamt sind die Konzentrationen gering, mit einer minimalen Erhöhung im Skagerrak bzw. dessen Ausgang als Resultat des aus der Ostsee fließenden Oberflächenwassers. Der höchste hier gefundene Wert von (4,8 ± 0,3) Bq/m³ ist sehr gering im Vergleich zu gemessenen Aktivitätskonzentrationen in früheren Jahrzehnten. Ebenfalls leicht erhöht sind die Aktivitätskonzentrationen an der englischen Ostküste. Dabei ist diese Erhöhung nicht auf aktuelle Einleitungen der Anlage Sellafield zurückzuführen, sondern auf Resuspension aus dem Meeressediment der Irischen See. Hier wurden in der Vergangenheit, vor allem in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, große Mengen künstlicher Radionuklide abgelagert, die seitdem aus dieser Senke langsam wieder freigesetzt werden. Auch in der Umgebung der Anlage La Hague sind aktuelle Cs-137-Einleitungen nicht mehr nachweisbar.

Abbildungen B II 2.2-6 und B II 2.2-7 zeigen die Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Oberflächenwasser der Deutschen Bucht der Jahre 2019 und 2020. Die Aktivitätskonzentrationen beider Jahre unterscheiden sich nicht signifikant.

In den Abbildungen B II 2.2-8 bis B II 2.2-12 sind jeweils die Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 im Oberflächenwasser und an ausgewählten Stationen in der Wassersäule der Nordsee von 50° bis 60° nördlicher Breite der Jahre 2016 bis 2020 dargestellt. Abbildungen B II 2.2-13 bis B II 2.2-15 zeigen die Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 im Oberflächenwasser der Deutschen Bucht der Jahre 2017, 2019 und 2020. Die Sr-90-Konzentrationen sind räumlich relativ homogen verteilt. Die gegenüber Cs-137 geringeren Konzentrationen sind auf die unterschiedliche Spaltausbeute der Kernspaltung zurückzuführen und weisen oberirdische Kernwaffenversuche der 1960er Jahre als Hauptquelle aus. Die im Einflussbereich der Elbe erhöhten Konzentrationen von Sr-90 erklären sich aus dem Umstand, dass dieses Falloutnuklid in den Tonmineralen der Landfläche weniger stark als Cs-137 adsorbiert wird und folglich über den Süßwasserkreislauf stärker ins Meer eingetragen wird. Ein Jahresgang ist nicht zu erkennen.

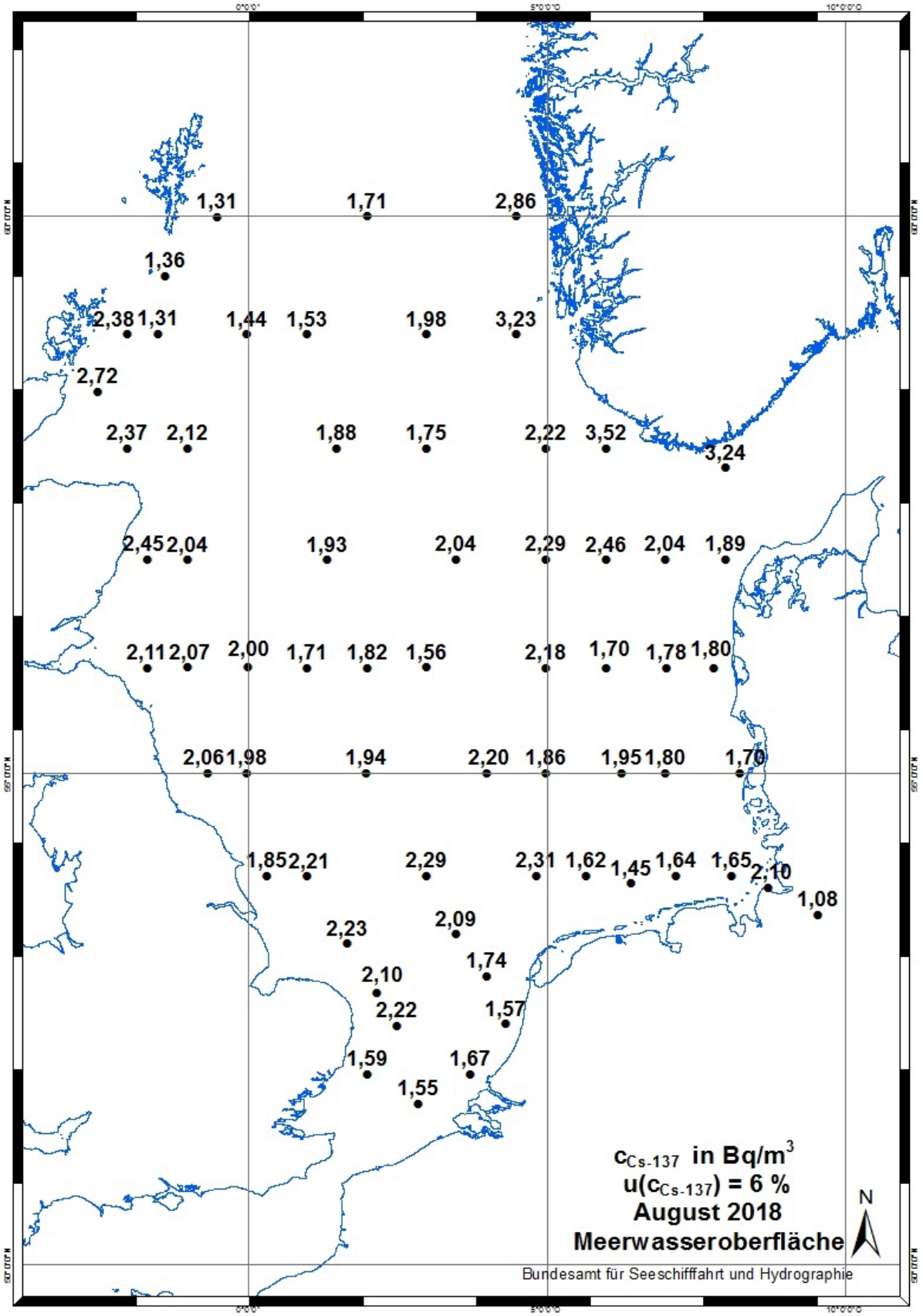


Abbildung B II 2.2-3 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2018**

(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2018)

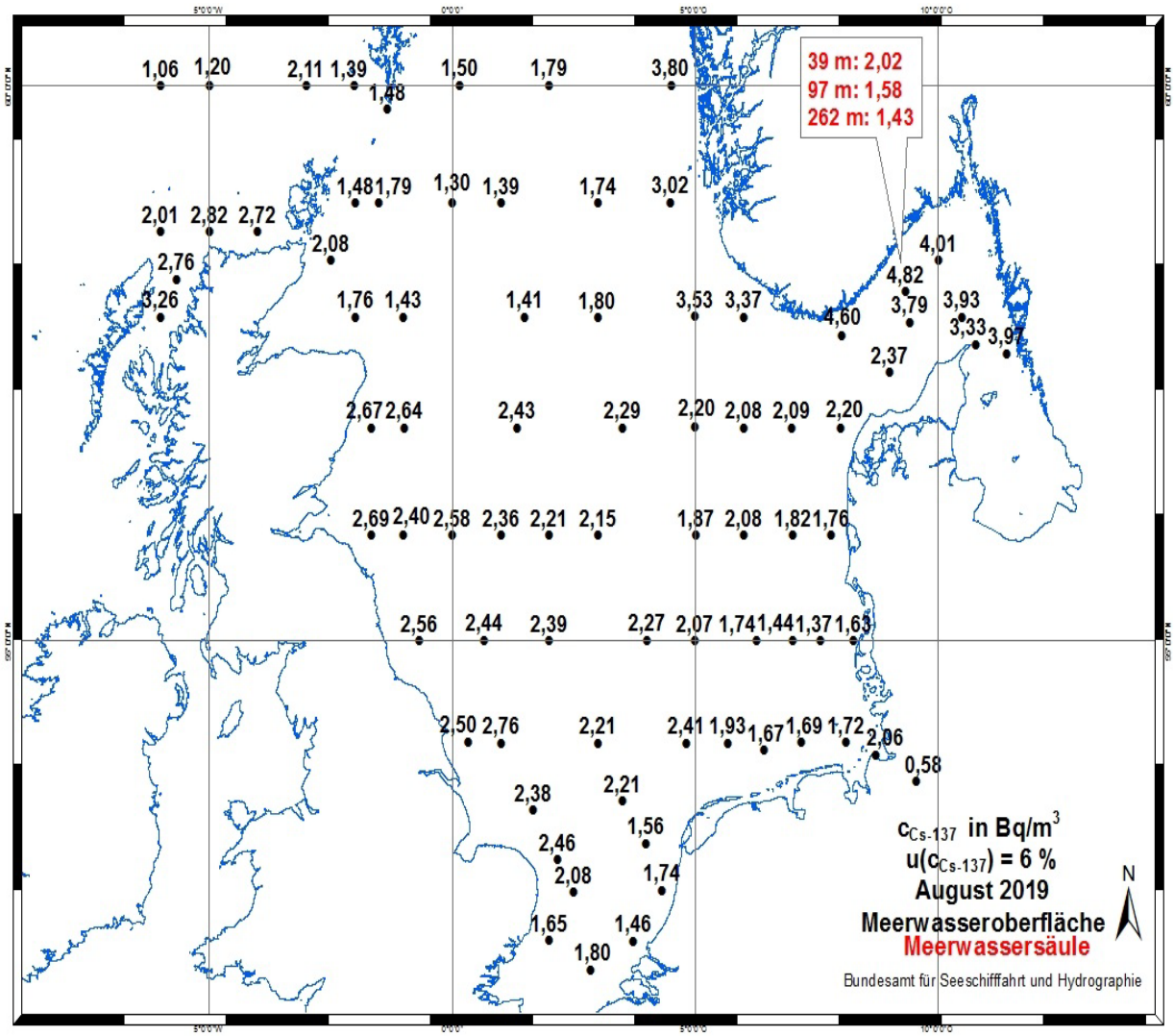


Abbildung B II 2.2-4 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2019**

(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2019)

Die Aktivitätskonzentrationen von Tritium (H-3) im Oberflächenwasser und an ausgewählten Stationen in der Wassersäule der Nordsee von 50° bis 60° nördlicher Breite der Jahre 2015, 2018 und 2019 sind in Abbildungen B II 2.2-16 bis B II 2.2-18 dargestellt. Abbildungen B II 2.2-19 und B II 2.2-20 zeigen die Verteilung der H-3-Aktivitätskonzentrationen im Oberflächenwasser der Deutschen Bucht der Jahre 2017 und 2019. Die Konzentration des Tritiums ist grundsätzlich um drei Größenordnungen höher als die der radiotoxikologisch relevanten Nuklide Cs-137 und Sr-90. Es ist offensichtlich, dass die Küstengewässer deutlich höher kontaminiert sind als die zentrale Nordsee. Dies ist sowohl auf die Einleitungen der Anlage La Hague als auch auf die Ableitungen der kontinentalen kerntechnischen Anlagen über die Flüsse zurückzuführen. Durch den zusätzlichen Verdünnungseffekt während des langen Transportweges nördlich um die britischen Inseln herum ergeben sich für die zentrale Nordsee sehr geringe Konzentrationen. Deutlich zu erkennen sind die Tritiumeinleitungen der Anlage La Hague im Bereich des Ärmelkanals. Hier wurden in allen dargestellten Jahren erhöhte Konzentrationen gemessen, im Jahr 2019 von bis zu 5,2 kBq/m³.

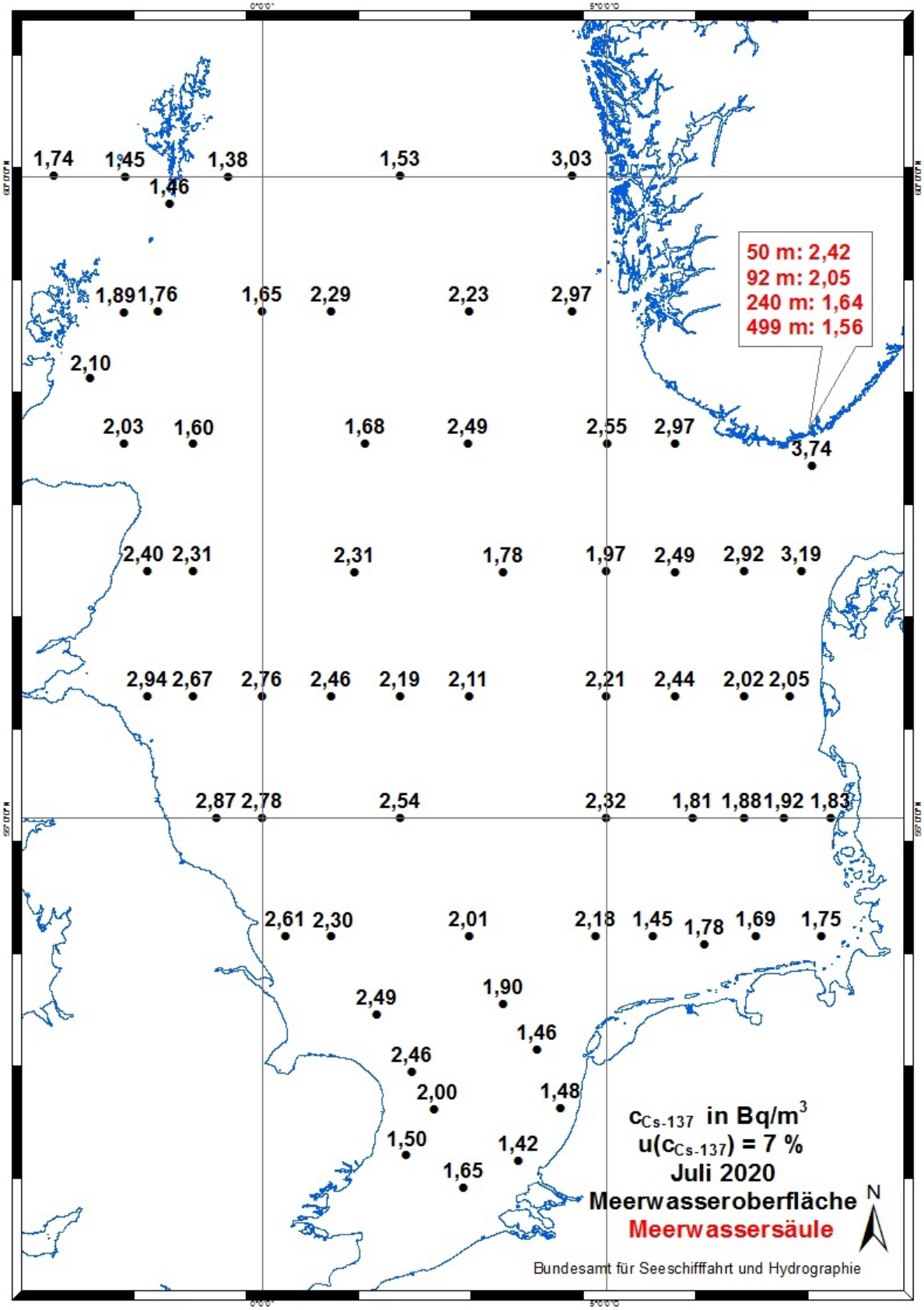


Abbildung B II 2.2-5 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im Juli 2020**

(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in July 2020)

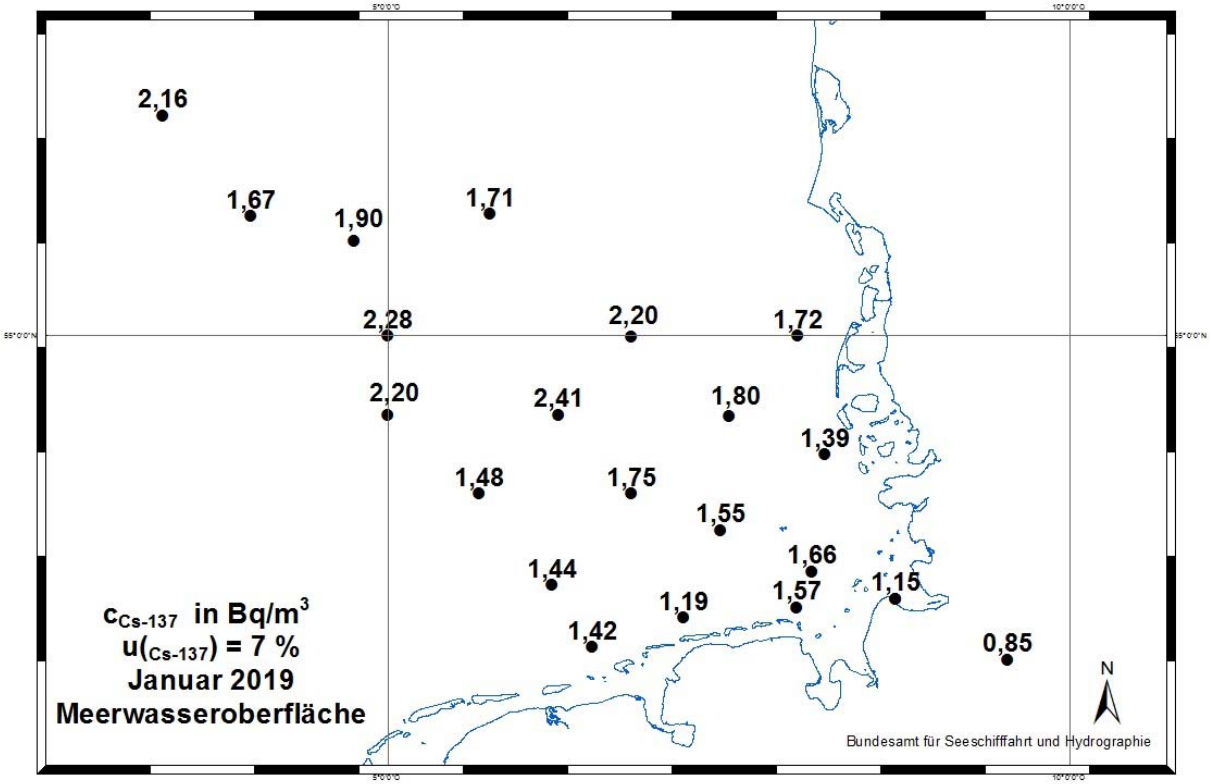


Abbildung B II 2.2-6 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2019**

(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) in seawater of the German Bight in January 2019)

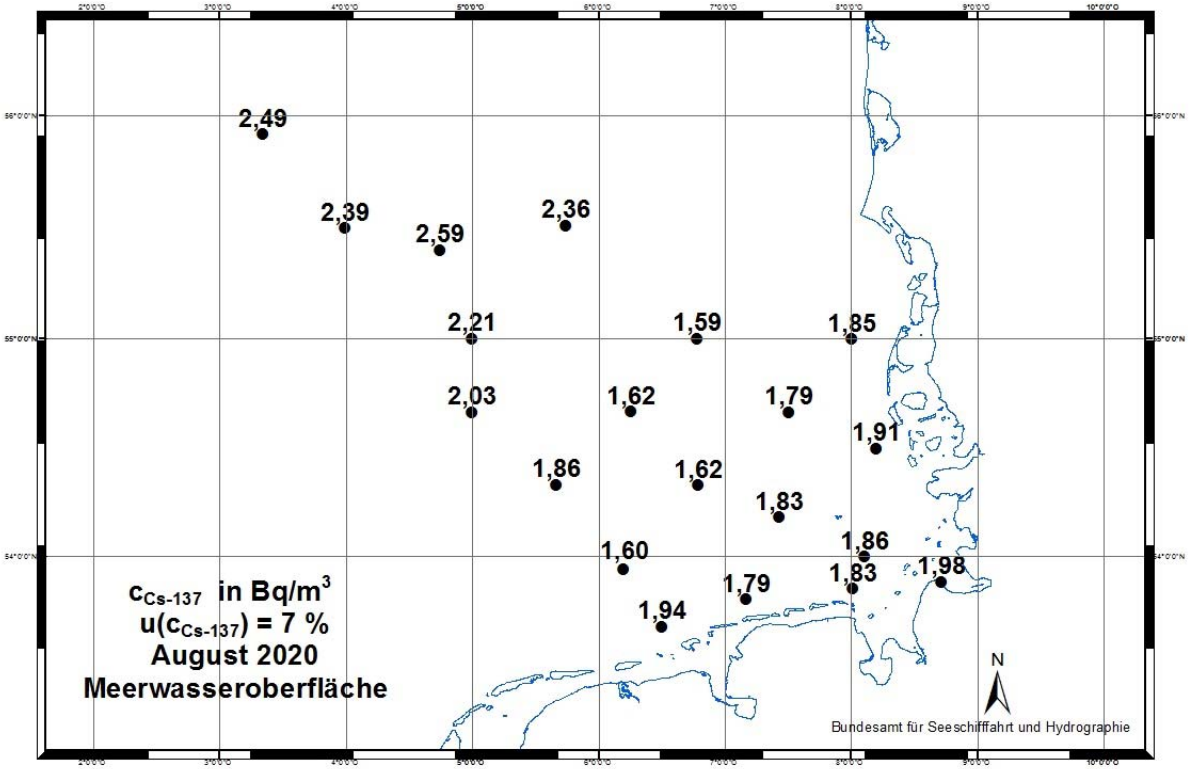


Abbildung B II 2.2-7 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (in Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im August 2020**

(Distribution of the activity concentration of Cs-137 (in Bq/m³) in seawater of the German Bight in August 2020)

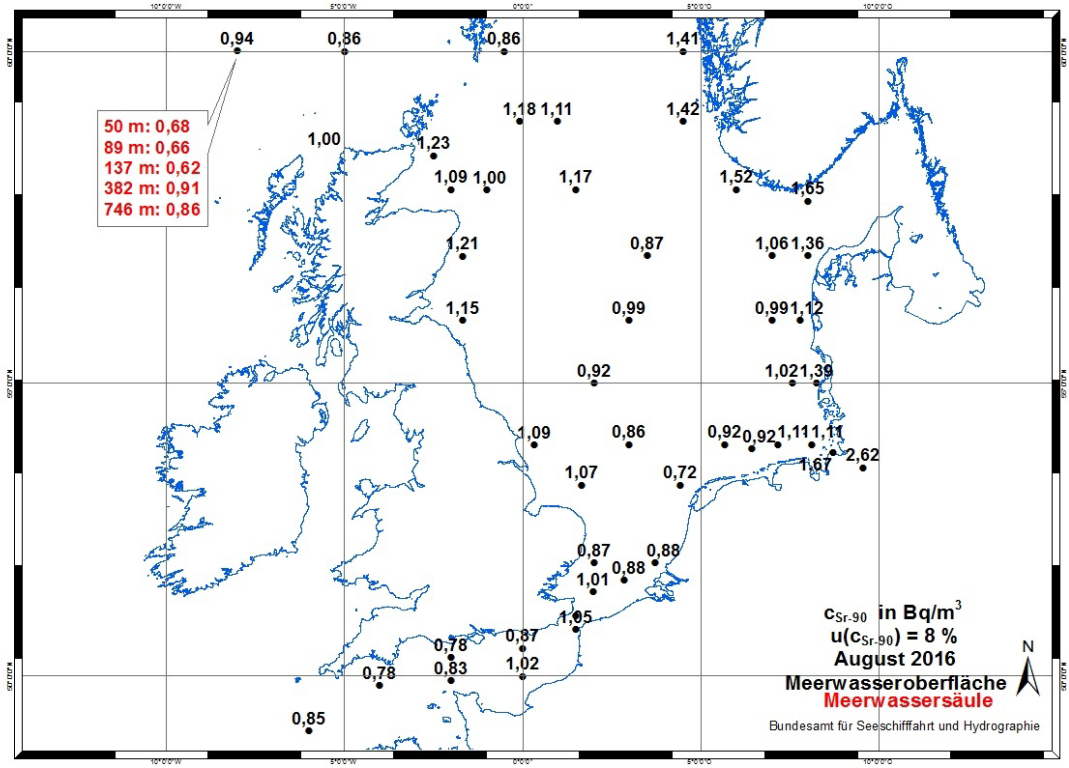


Abbildung B II 2.2-8 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2016**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2016)

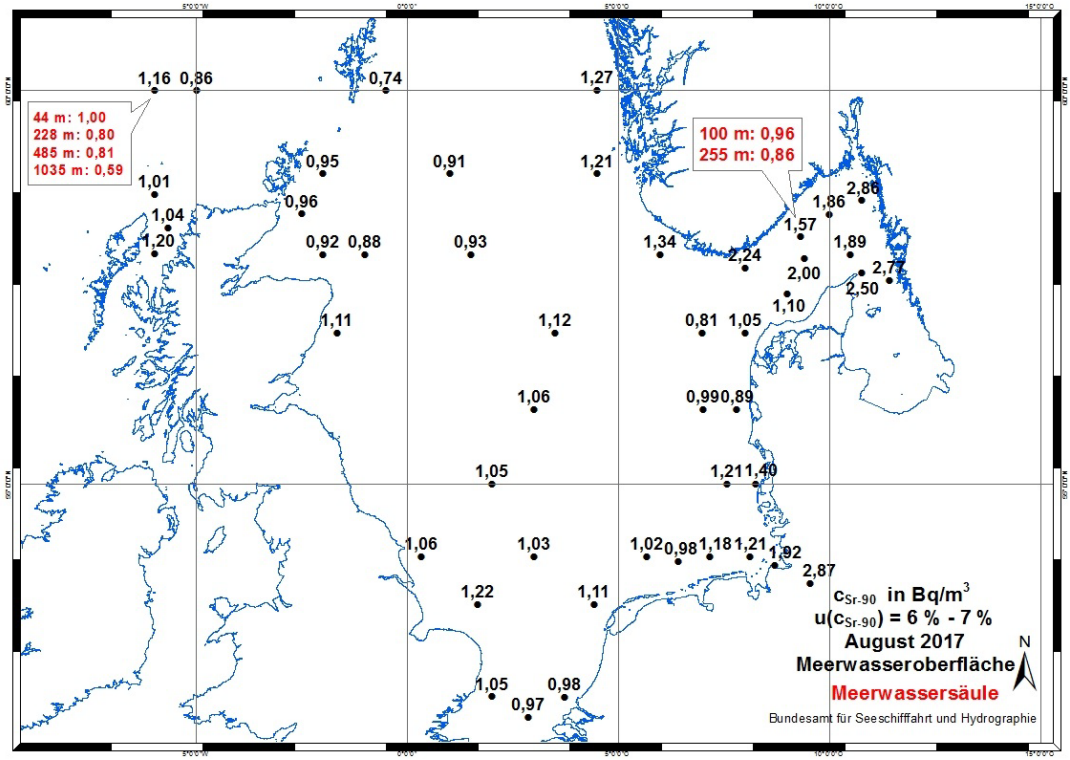


Abbildung B II 2.2-9 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2017**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2017)

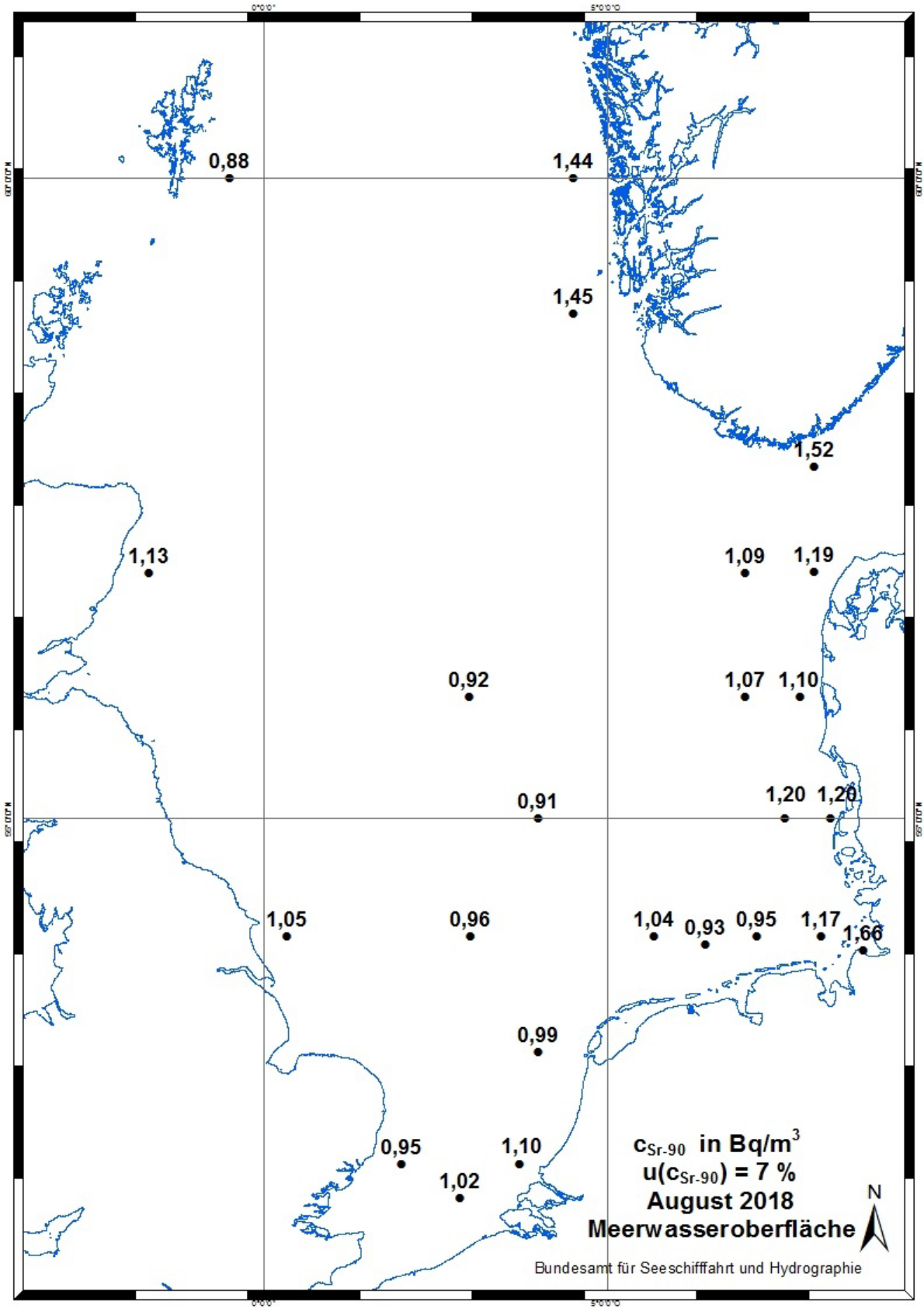


Abbildung B II 2.2-10 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2018**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2018)

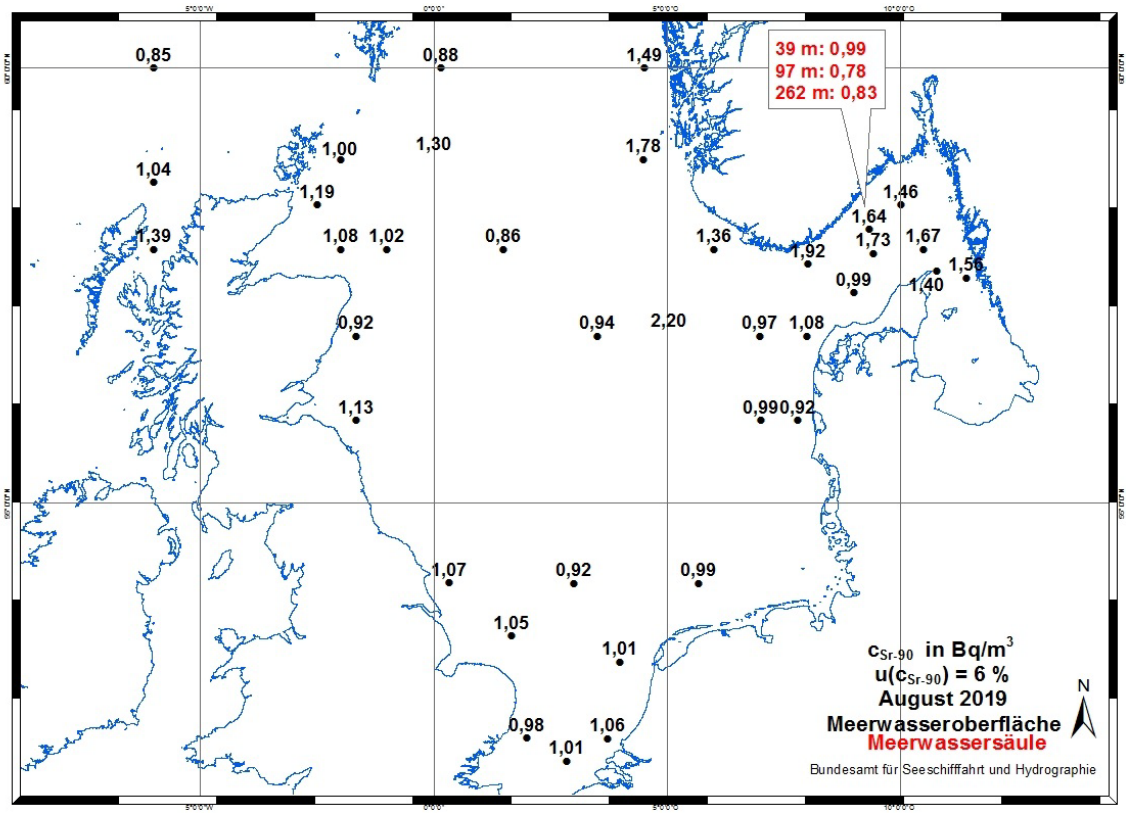


Abbildung B II 2.2-11 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2019**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in August 2019)

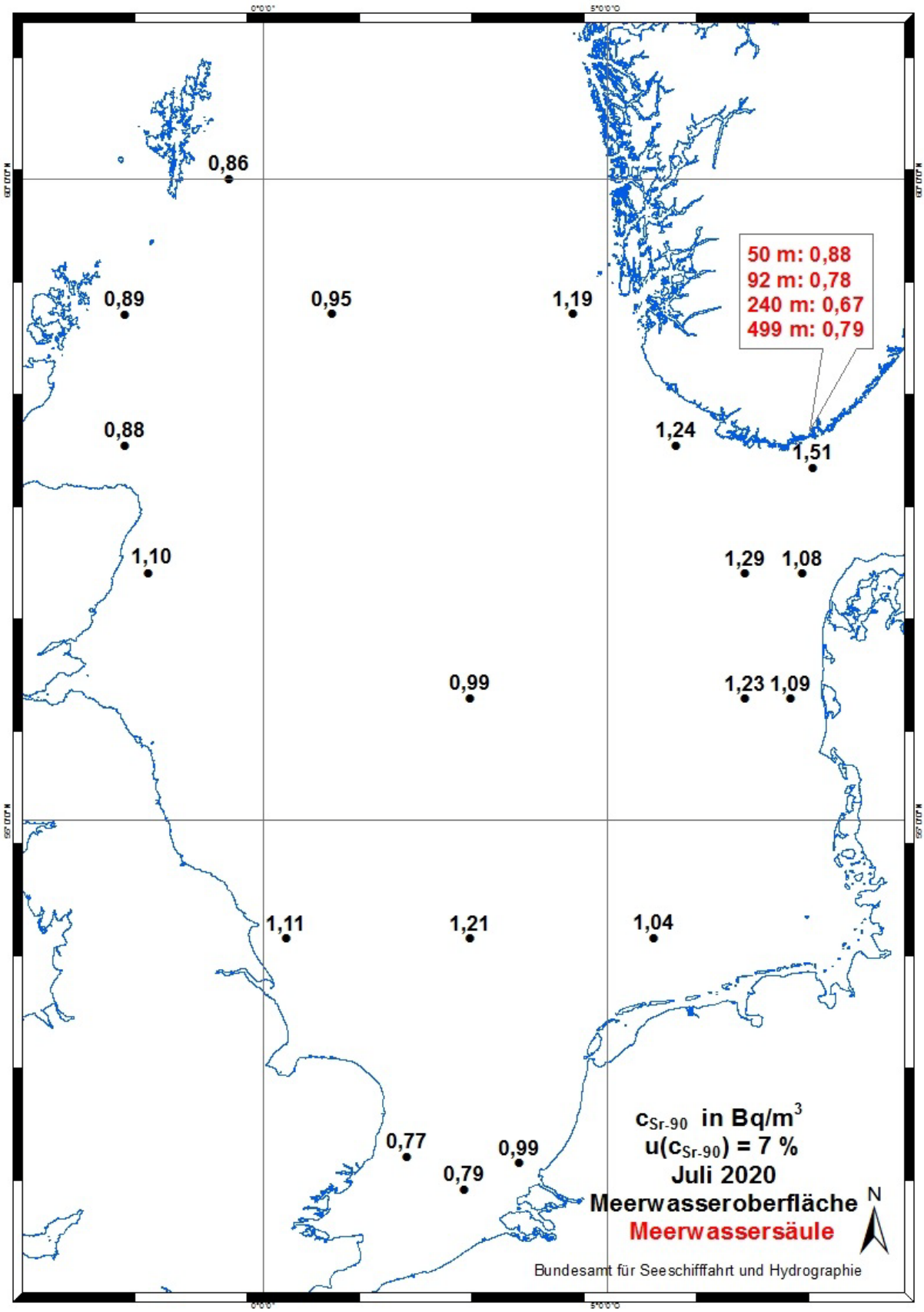


Abbildung B II 2.2-12 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Nordsee im Juli 2020**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the North Sea in July 2020)

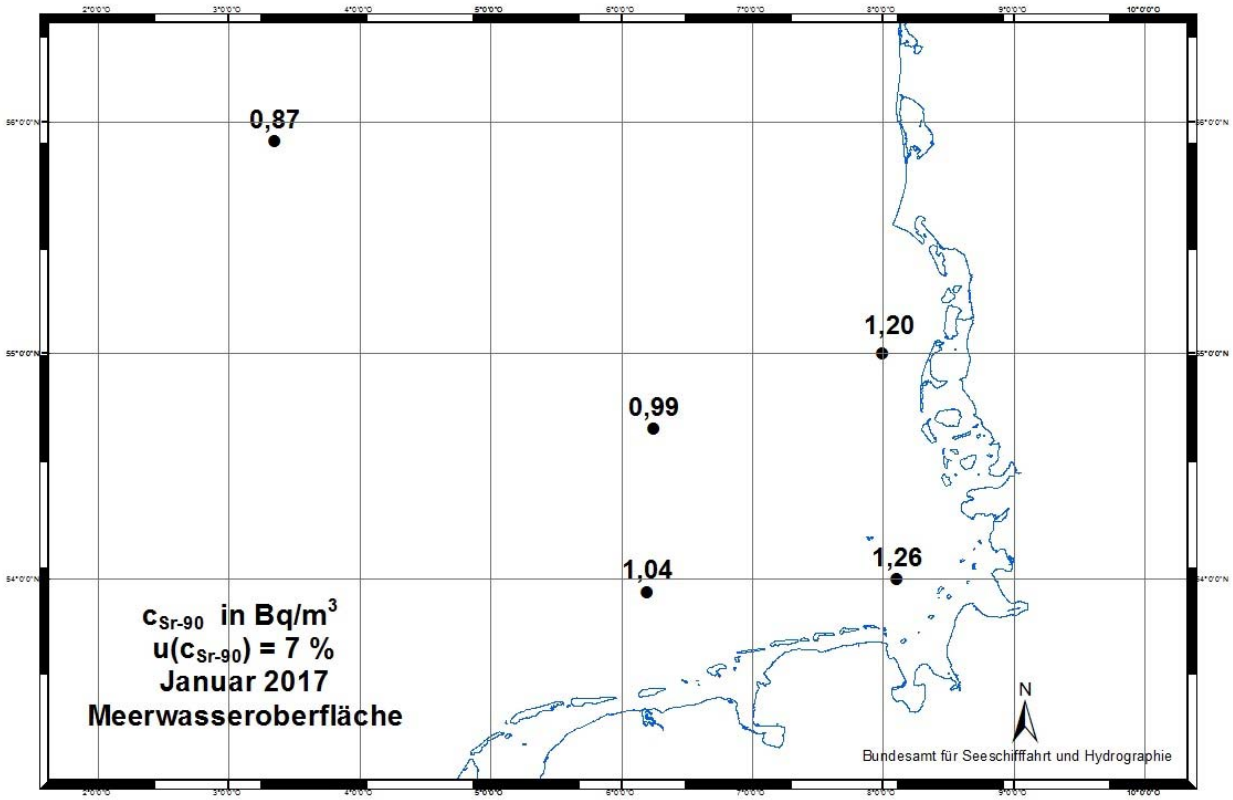


Abbildung B II 2.2-13 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2017**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the German Bight in January 2017)

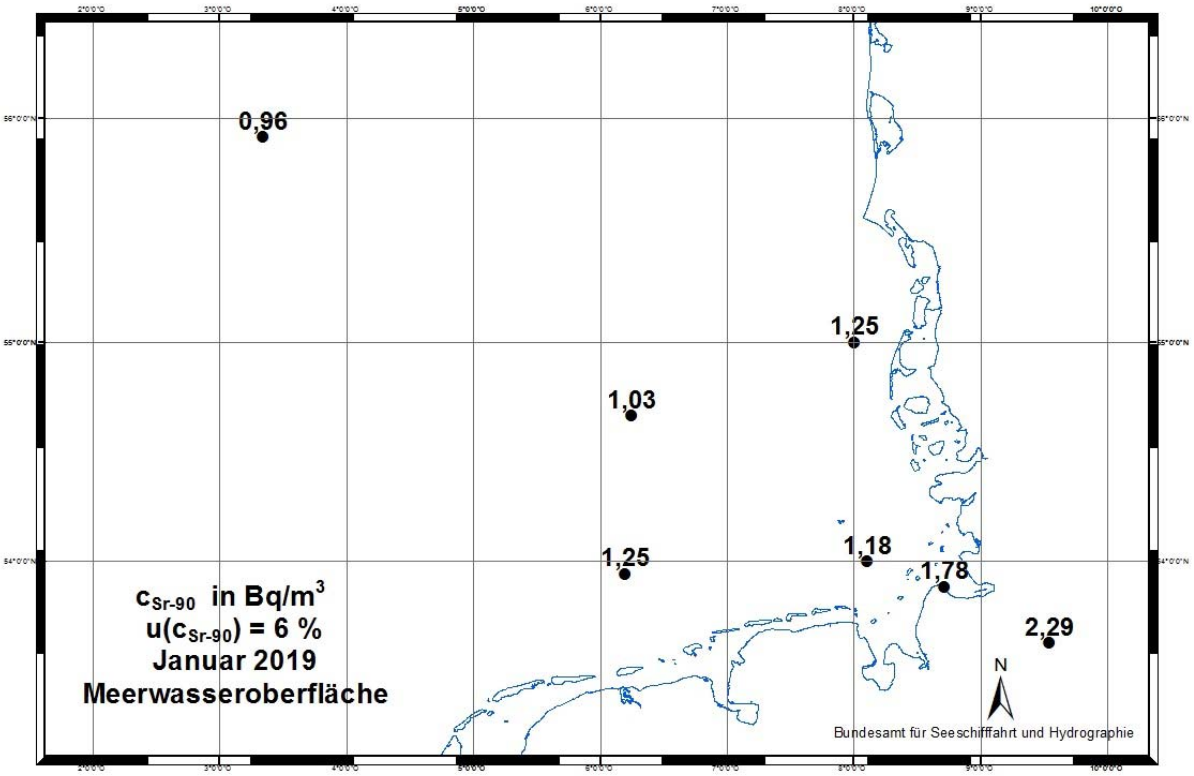


Abbildung B II 2.2-14 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2019**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the German Bight in January 2019)

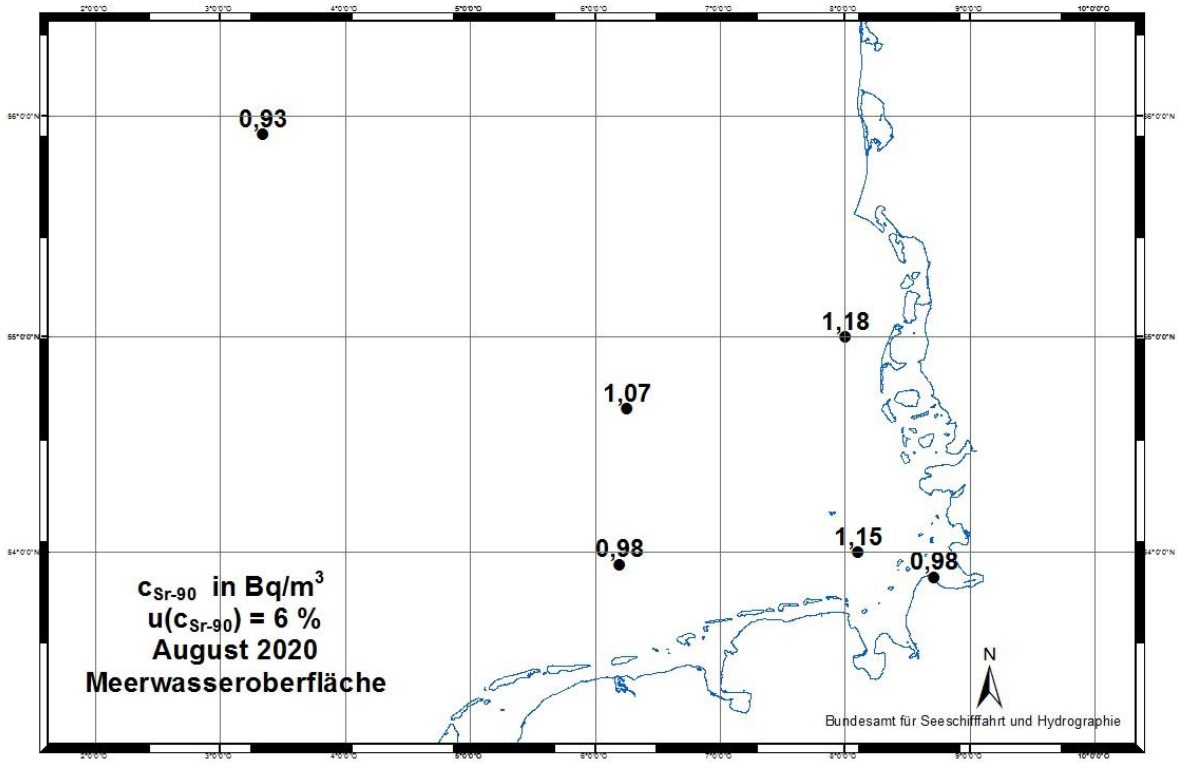


Abbildung B II 2.2-15 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (in Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im August 2020**

(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (in Bq/m³) in seawater of the German Bight in August 2020)

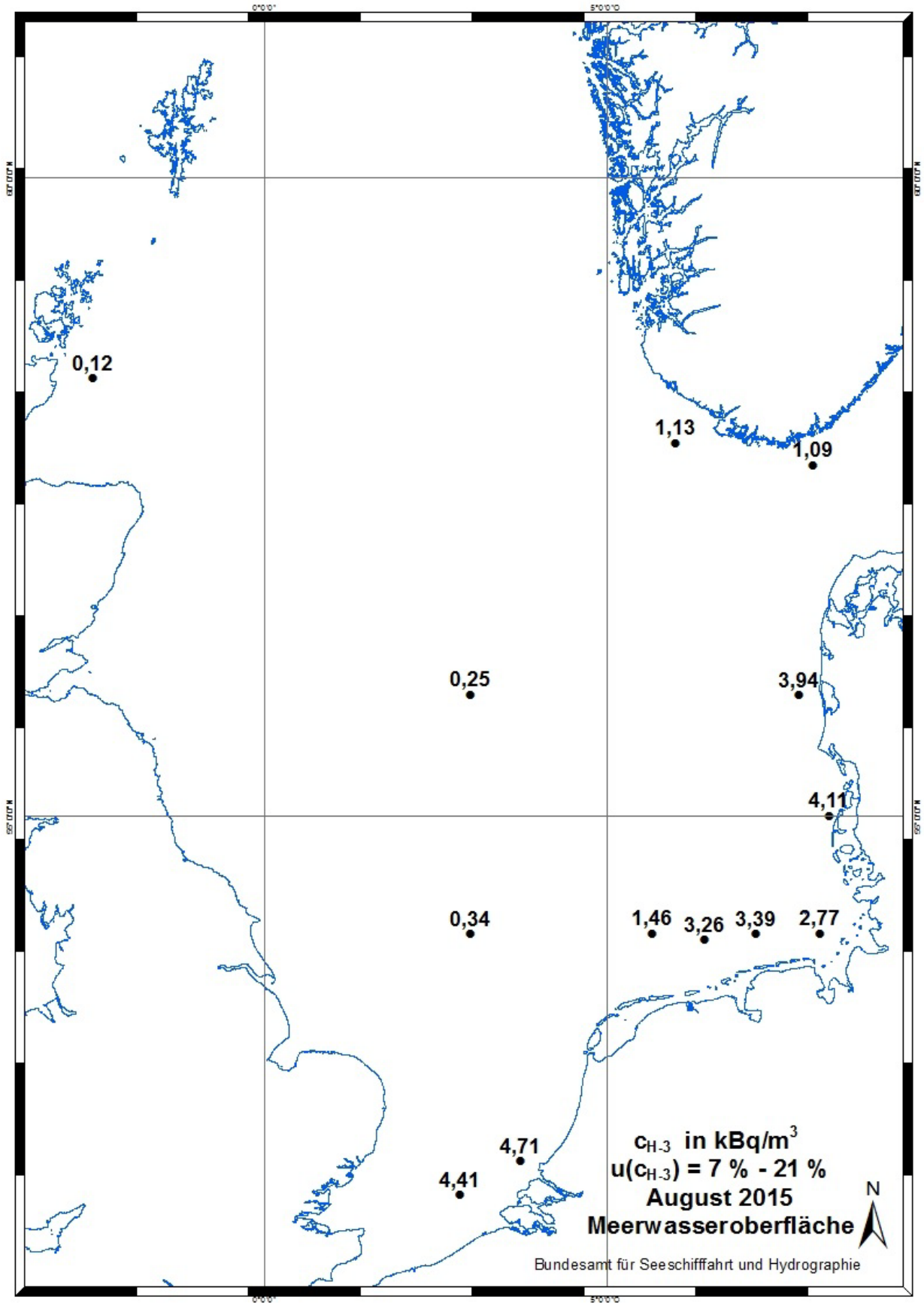


Abbildung B II 2.2-16 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (in kBq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2015**

(Distribution of the activity concentration of H-3 (in kBq/m³) in seawater of the North Sea in August 2015)

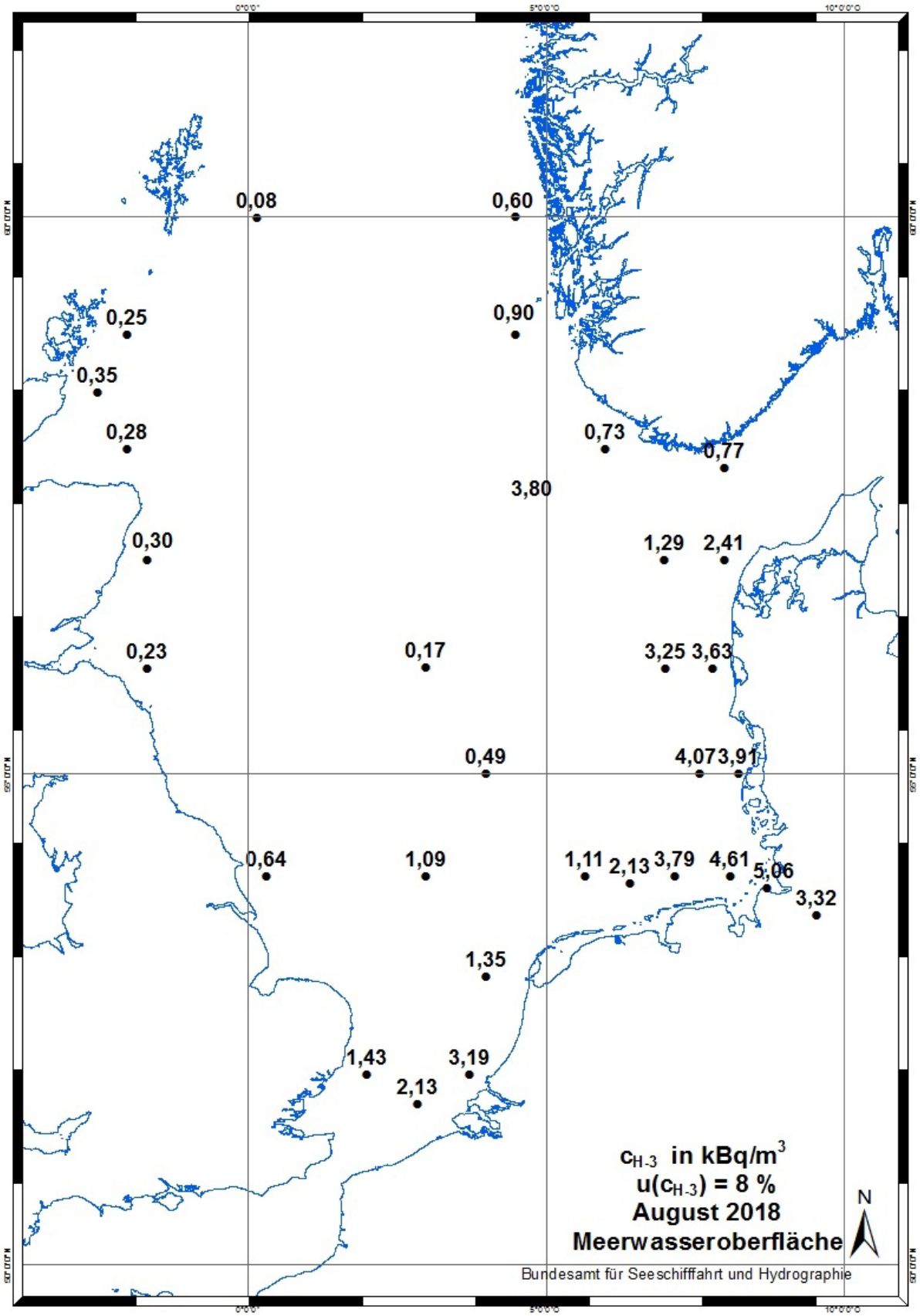


Abbildung B II 2.2-17 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (in kBq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2018**

(Distribution of the activity concentration of H-3 (in kBq/m³) in seawater of the North Sea in August 2018)

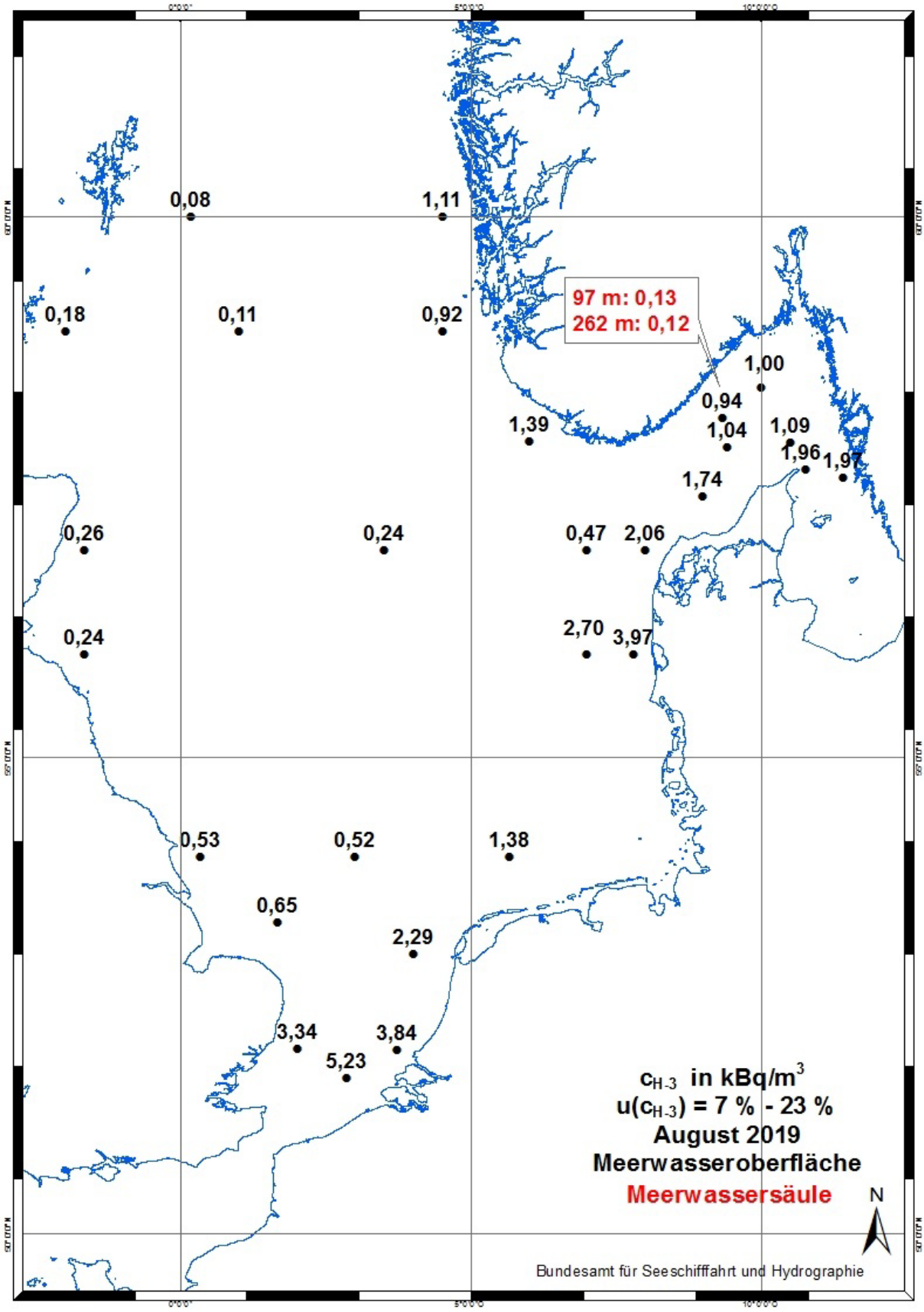


Abbildung B II 2.2-18 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (in kBq/m³) im Wasser der Nordsee im August 2019**

(Distribution of the activity concentration of H-3 (in kBq/m³) in seawater of the North Sea in August 2019)

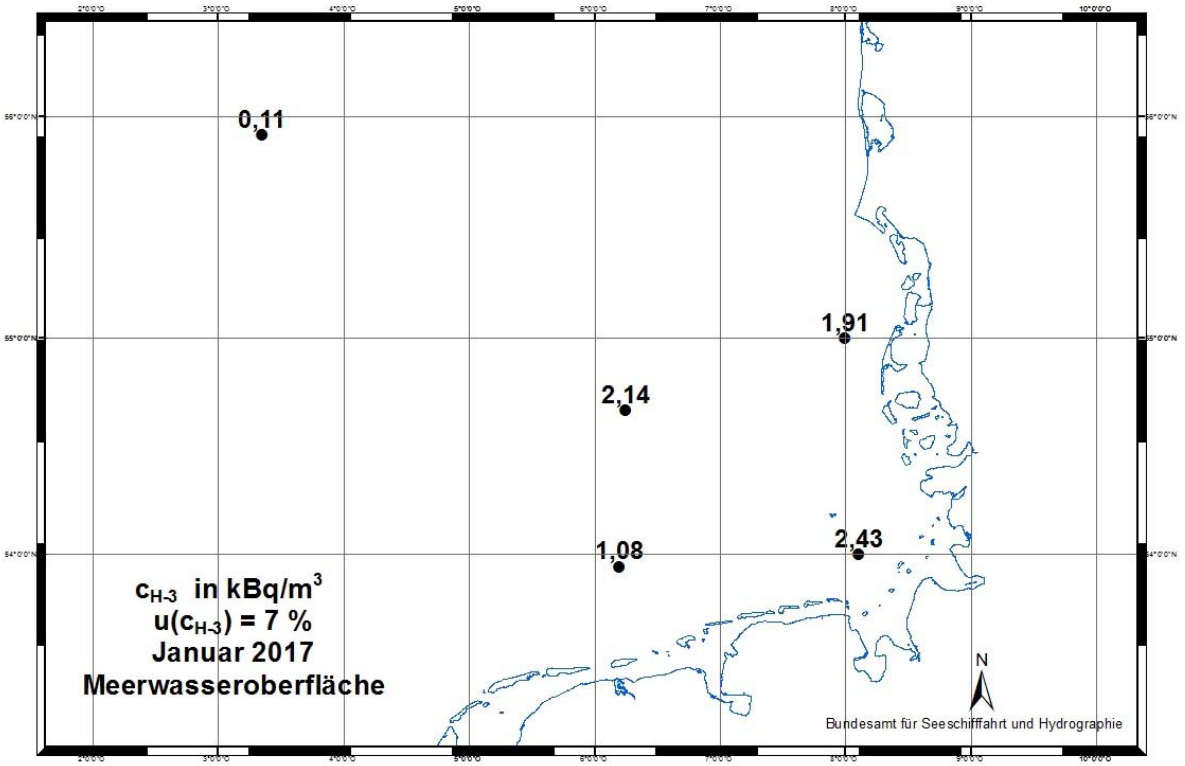


Abbildung B II 2.2-19 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (in kBq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2017**

(Distribution of the activity concentration of H-3 (in kBq/m³) in seawater of the German Bight in January 2017)

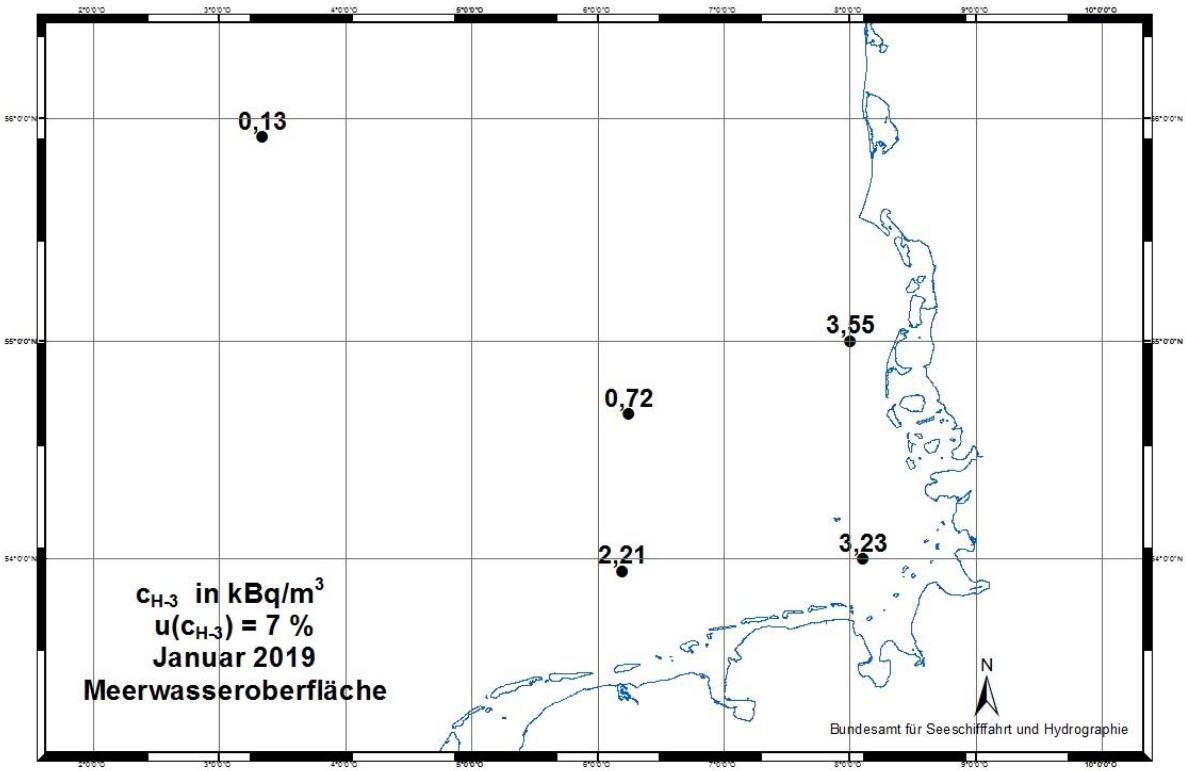


Abbildung B II 2.2-20 **Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (in kBq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2019**

(Distribution of the activity concentration of H-3 (in kBq/m³) in seawater of the German Bight in January 2019)

2.2.2 Radionuklide im Ostseewasser

Die Ostsee erfuhr nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout, im Wesentlichen durch die Radionuklide Cs-137 und Cs-134. Die Schwerpunkte des Eintrages lagen in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und - in geringerem Maße - in der Lübecker Bucht. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit der Nordsee dauert es Jahrzehnte, bis Schadstoffe aus der Ostsee durch Meeresströmungen verteilt werden. Dies ist seit über 30 Jahren auch für das Cs-137 aus dem Tschernobylfallout zu beobachten. Das ebenfalls eingetragene Cs-134 ist auf Grund der relativ kurzen physikalischen Halbwertszeit von etwa zwei Jahren in der Ostsee nicht mehr nachweisbar.

Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee transportiert wird. In der Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Nordseewassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wider. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden sich durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung B II 2.2-21 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der westlichen Ostsee seit 1961 dar: Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und von Cs-137 seit dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Die Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich variierenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee zwischen etwa (17,5 ± 0,9) Bq/m³ im westlichen und (22,7 ± 1,1) Bq/m³ im östlichen Teil des 2019 überwachten Gebietes (Abbildung B II 2.2-22). Abbildung B II 2.2-23 zeigt die Werte für das Jahr 2021. Gegenüber 2019 ist eine leichte Abnahme festzustellen. Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallouts. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich in den letzten Jahren insgesamt deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um etwa den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen 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 nachweisen. Im Bereich des Fehmarnbelts zeigen die Messwerte die größten Unterschiede in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser. Hier wurde in beiden Jahren 2019 und 2021 erneut eine Aktivitätskonzentration unter 10 Bq/m³ im Bodenwasser nachgewiesen - wie erstmals 2016 seit dem Tschernobylunfall.

Eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von unter 15 Bq/m³ entspricht der historischen Vor-Tschernobyl-Konzentration und wurde von HELCOM dementsprechend als langfristiges, ökologisches Qualitätsziel für die Ostsee festgelegt. Diese Konzentration wird allerdings bislang in kaum einem Seegebiet der Ostsee erreicht. Ein weiteres Kriterium, um eine Aussage über den Umweltzustand der Ostsee treffen zu können, ist eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von 40 Bq/m³. Liegen die gemessenen Werte unter diesem Kriterium, kann man von einem guten Umweltzustand in Bezug auf Cs-137 sprechen. Dieser liegt in der gesamten westlichen Ostsee vor, da die gemessenen Aktivitätskonzentrationen niedriger als 40 Bq/m³ sind.

Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak (siehe Abschnitt 2.2.1 Radionuklide im Nordseewasser). 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.

Die räumliche Verteilung der Sr-90-Aktivitätskonzentrationen im Oberflächen- und Bodenwasser auf einigen ausgewählten Stationen der Jahre 2017 bis 2019 sowie 2021 zeigen die Abbildungen B II 2.2-24 bis B II 2.2-27. Die Verteilung von Sr-90 ist relativ homogen, weil sie vom globalen Kernwaffenfallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird. In der Ostsee sind die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen etwa um den Faktor 5 höher als in der Deutschen Bucht, bedingt durch den geringen Wasseraustausch mit der Nordsee.

Abbildungen B II 2.2-28 bis B II 2.2-31 zeigen die Aktivitätskonzentrationen des Tritiums der Jahre 2015, 2016, 2019 und 2021. Die H-3-Aktivitätskonzentrationen sind über die Jahre hinweg in der westlichen Ostsee sehr homogen, weil sie vom Kernwaffenfallout und von natürlichen Quellen und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt werden. Es gibt im Einzugsbereich der Ostsee keine kerntechnische Anlage, die vergleichbar hohe Tritiumaktivitätskonzentrationen einleitet wie z. B. die Anlage La Hague im englischen Kanal. Die Aktivitätskonzentrationen von Tritium haben sich seit dem Jahr 2000 um etwa die Hälfte verringert.

2.2.3 Radionuklide in Meeressedimenten der Nordsee

Auf zwei Positionen (in der mittleren Deutschen Bucht und in der Nähe von Helgoland) wurden im Januar 2019 sowie August 2020 Sedimentproben genommen. Die Maximalwerte der spezifischen Cs-137-Aktivitäten betrugen in 2019 (1,4 ± 0,1) Bq/kg TM bzw. (2,2 ± 0,1) Bq/kg TM, die gefundenen Inventare bis in 18 cm Sedimenttiefe ergaben (0,20 ± 0,02) kBq/m² bzw. (0,14 ± 0,01) kBq/m². Im August 2020 betrugen die spezifischen Aktivitäten des Cs-137 (1,2 ± 0,1) Bq/kg TM bzw. (1,2 ± 0,1) Bq/kg TM, die Inventare bis in 18 cm Sedimenttiefe (0,27 ± 0,02) kBq/m² bzw. (0,05 ± 0,01) kBq/m². Im Vergleich mit Daten aus dem Jahr 2008 zeigt sich, dass sich die Aktivitätskonzentrationen auf beiden Stationen jeweils etwa halbiert haben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass, wie auch schon in zahlreichen anderen Untersuchungen nachgewiesen, zwischen Wasser und Sediment ein Gleichgewicht besteht. In der Nordsee führt der ständige Zu-

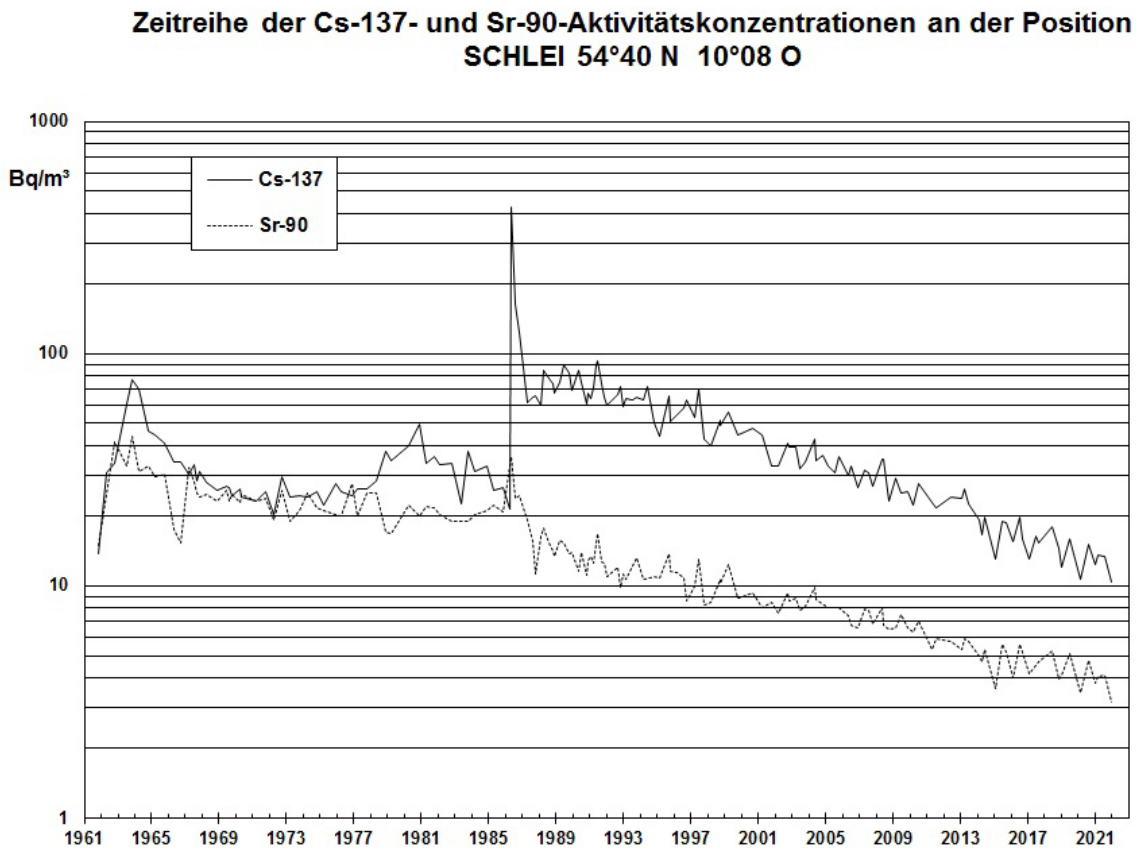


Abbildung B II 2.2-21 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m³) an der Position "Schleimündung" (54°40'N, 010°05'O) seit 1961

(Temporal trend of the activity concentrations of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m³) at the position "Schleimündung" (54°40'N, 010°05'E) since 1961)

strom von sehr gering kontaminiertem Wasser dazu, dass lösliche Substanzen, in diesem Fall Cs-137, aus dem Sediment resuspendiert werden. Allerdings läuft dieser Prozess in Zeitskalen von Jahrzehnten ab. Im Vergleich zur Ostsee sind die höchsten spezifischen Aktivitäten des Cs-137 in der Deutschen Bucht um etwa einen Faktor 40 geringer.

Abbildungen B II B II 2.2-32 und B II 2.2-33 zeigen das Inventar in kBq/m² oben genannter Stationen bis in 18 cm Tiefe der Jahre 2019 und 2020.

2.2.4 Radionuklide in Meeressedimenten und -schwebstoffen der Ostsee

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall findet sich natürlich auch in den Schwebstoffen und Sedimenten der Ostsee. Die spezifische Aktivität in Schwebstoffen an einigen ausgewählten Stationen in der westlichen Ostsee des Jahres 2021 ist in Abbildung B II 2.2-34 dargestellt. Die Messwerte liegen im Schwankungsbereich der letzten zehn Jahre. Die gegenüber den anderen Stationen erhöhte Aktivität im Greifswalder Bodden wird seit einiger Zeit beobachtet und variiert von Jahr zu Jahr. Auch die im Jahr 2021 gemessene Aktivität dieser Station ist im Schwankungsbereich der letzten zehn Jahre.

In den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee wurde das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall 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. Der Maximalwert der spezifischen Aktivität wird seit Jahren im Greifswalder Bodden in Sedimenttiefen zwischen vier und acht Zentimetern gemessen. In den Jahren 2018 und 2019 wurden dort jeweils spezifische Aktivitäten des Cs-137 von (92 ± 2) Bq/kg Trockenmasse, im Jahr 2021 von (88 ± 2) Bq/kg Trockenmasse bestimmt. Das Profil der spezifischen Aktivität des Cs-137 der Station im Greifswalder Bodden im Jahr 2021 zeigt Abbildung B II 2.2-35. Die spezifische Aktivität nimmt innerhalb der ersten sechs Zentimeter auf den Maximalwert (88 ± 2) Bq/kg Trockenmasse zu, bevor sie stark zu sinken beginnt und in einer Tiefe zwischen 18 und 20 Zentimetern bei unter 10 Bq/kg Trockenmasse liegt.

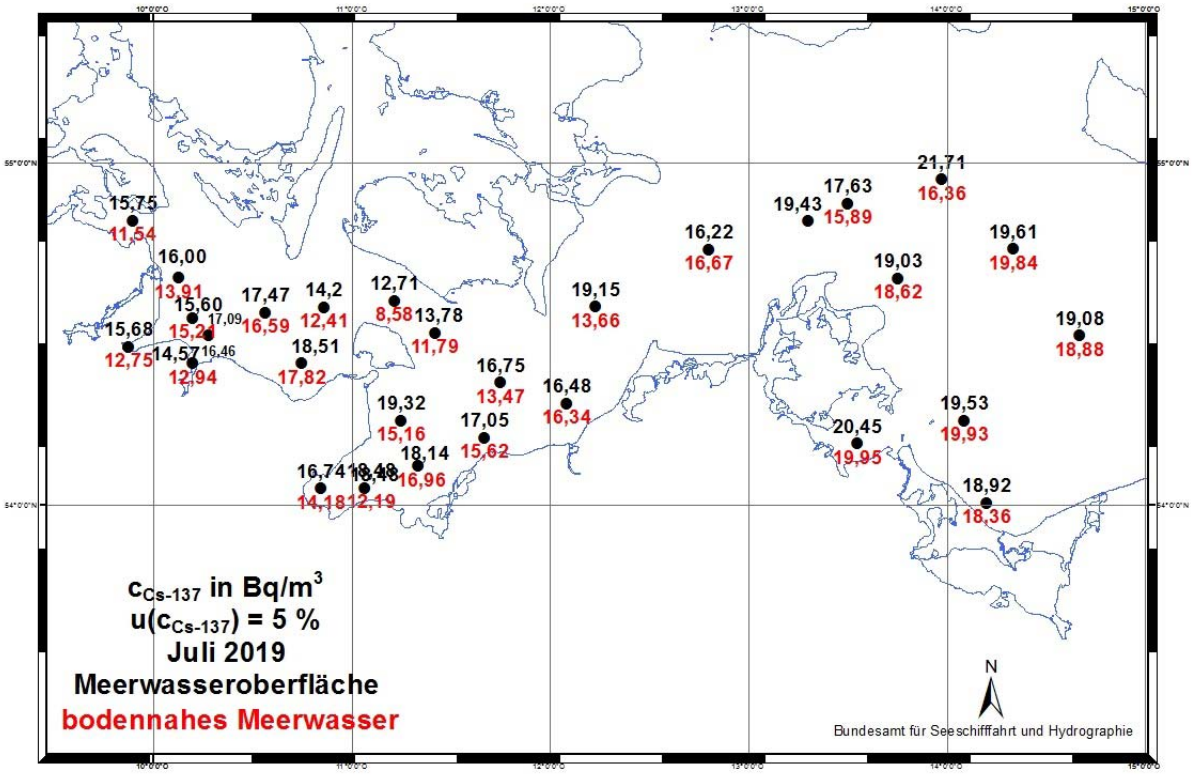


Abbildung B II 2.2-22 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juli 2019**

(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in July 2019)

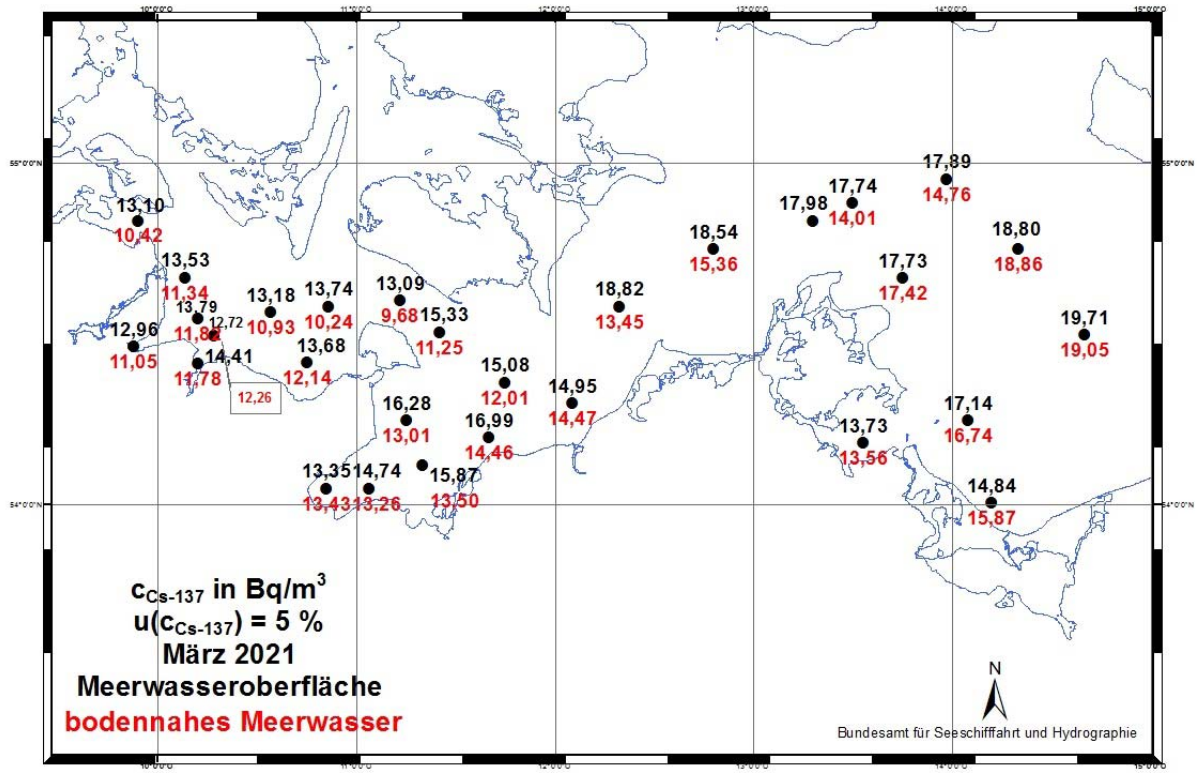


Abbildung B II 2.2-23 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im März 2021**

(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in March 2021)

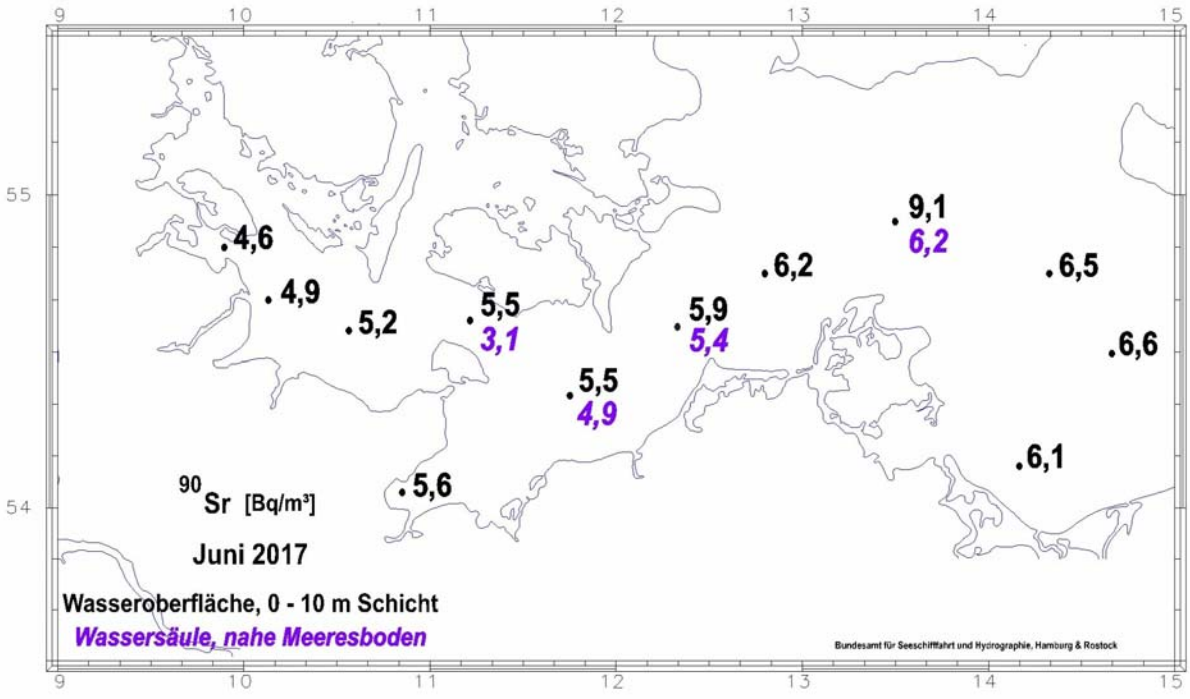


Abbildung B II 2.2-24 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2017**

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in June 2017)

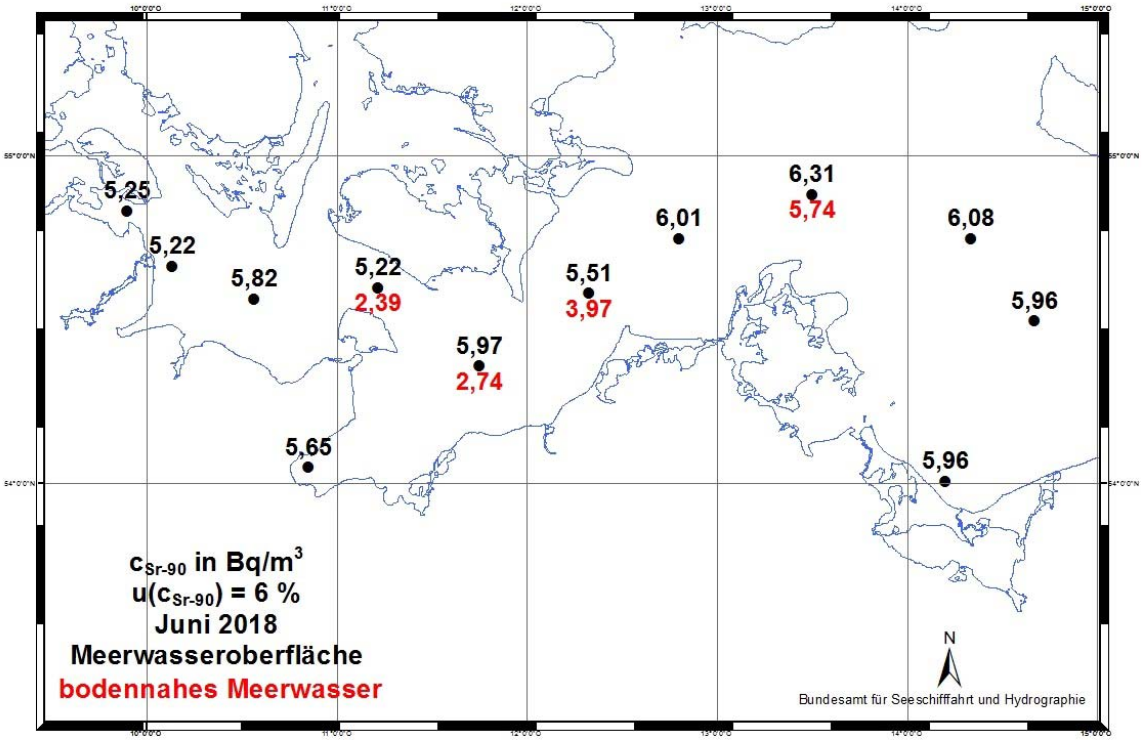


Abbildung B II 2.2-25 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2018**

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in June 2018)

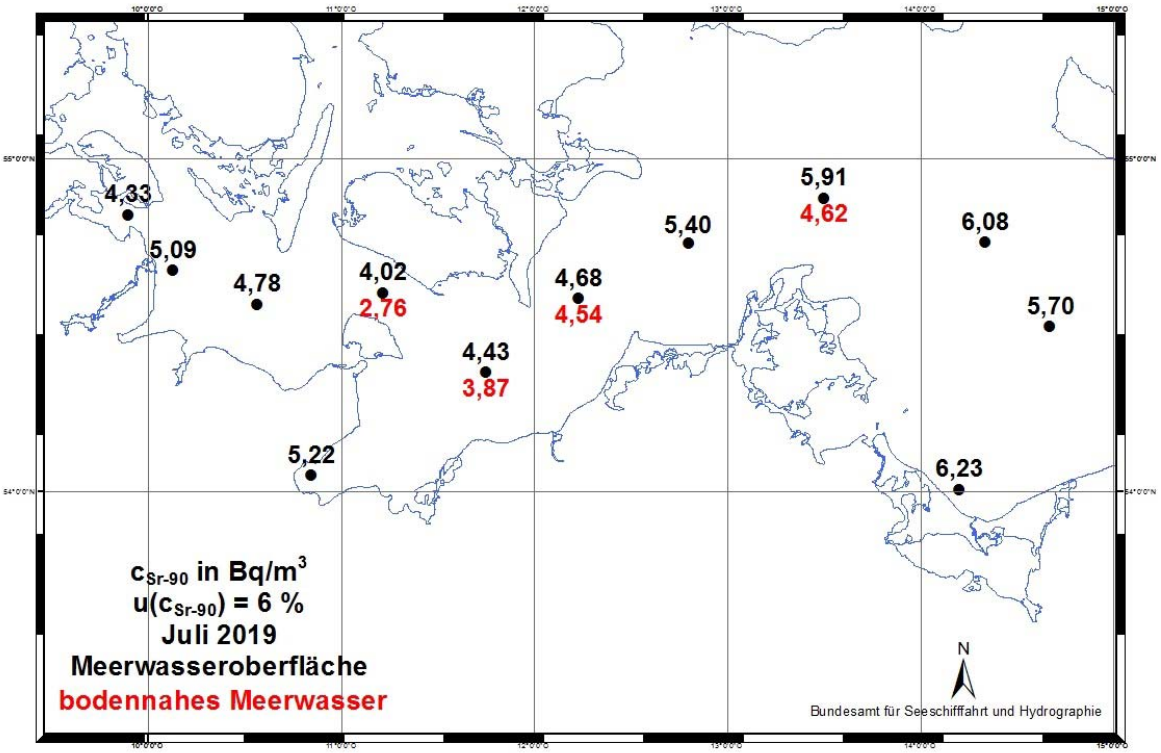


Abbildung B II 2.2-26 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2019**

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in June 2019)

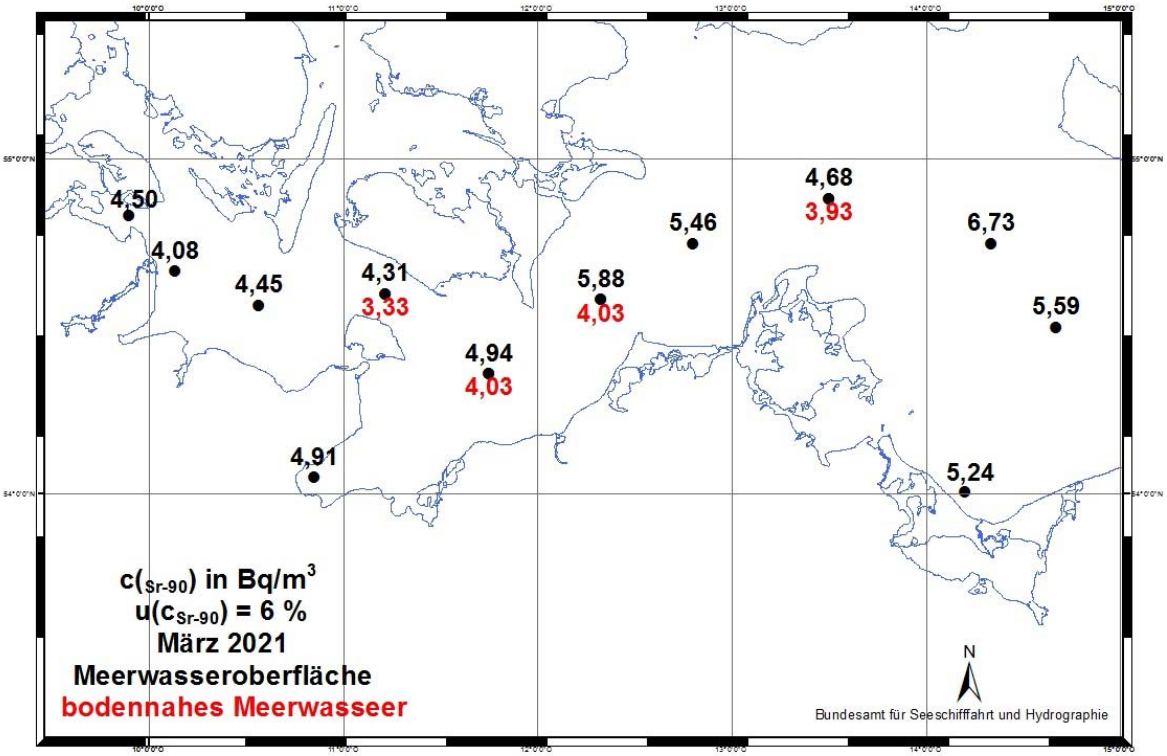


Abbildung B II 2.2-27 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im März 2021**

(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in March 2021)

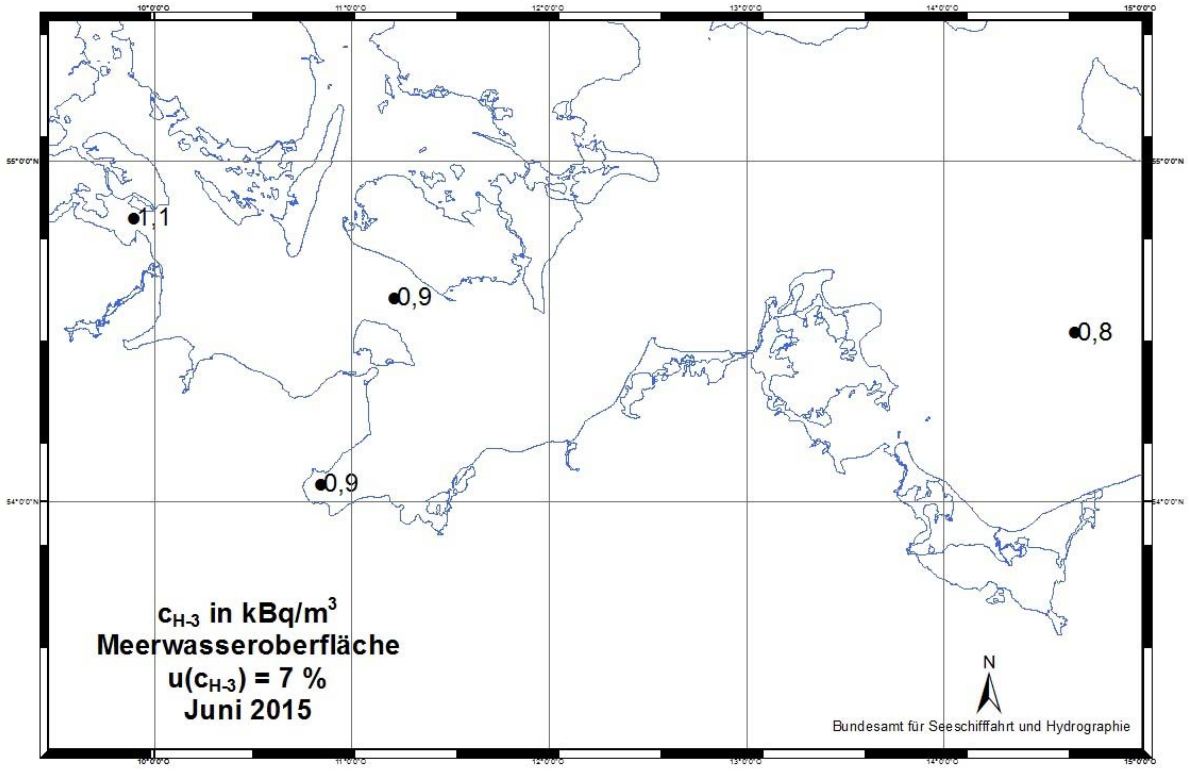


Abbildung B II 2.2-28 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2015**

(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in June 2015)

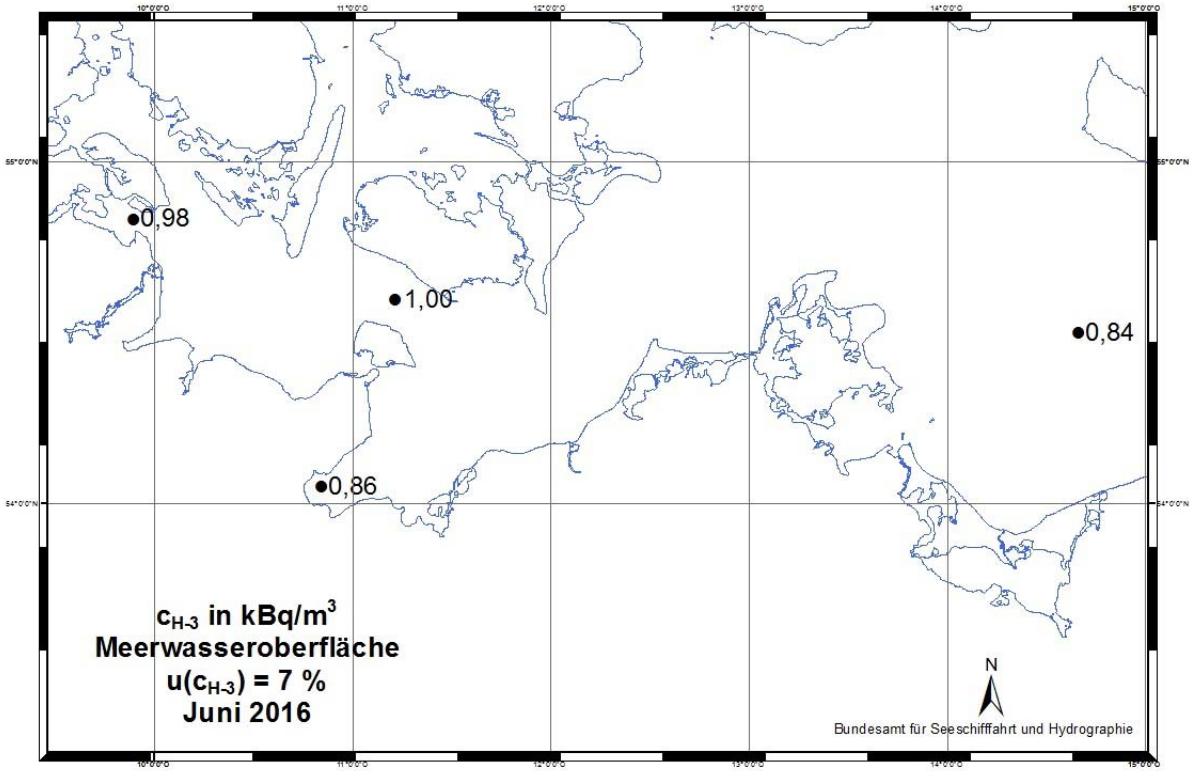


Abbildung B II 2.2-29 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2016**

(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in June 2016)

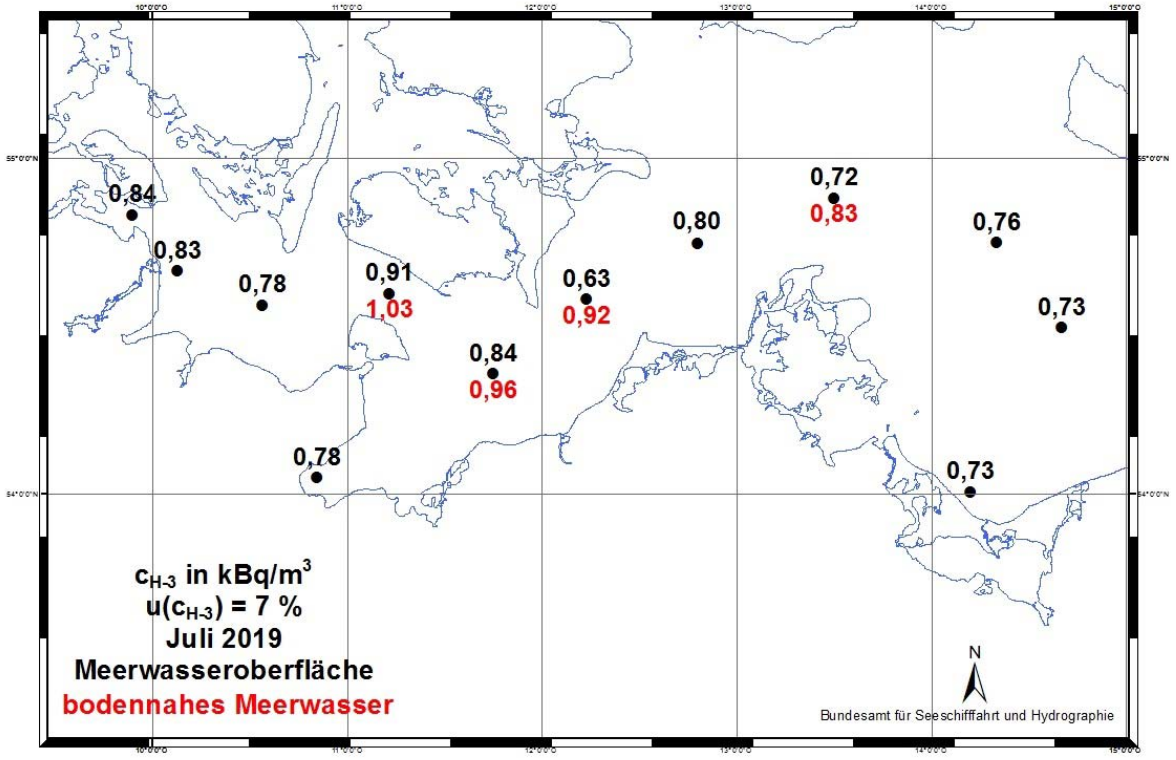


Abbildung B II 2.2-30 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juli 2019**

(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in July 2019)

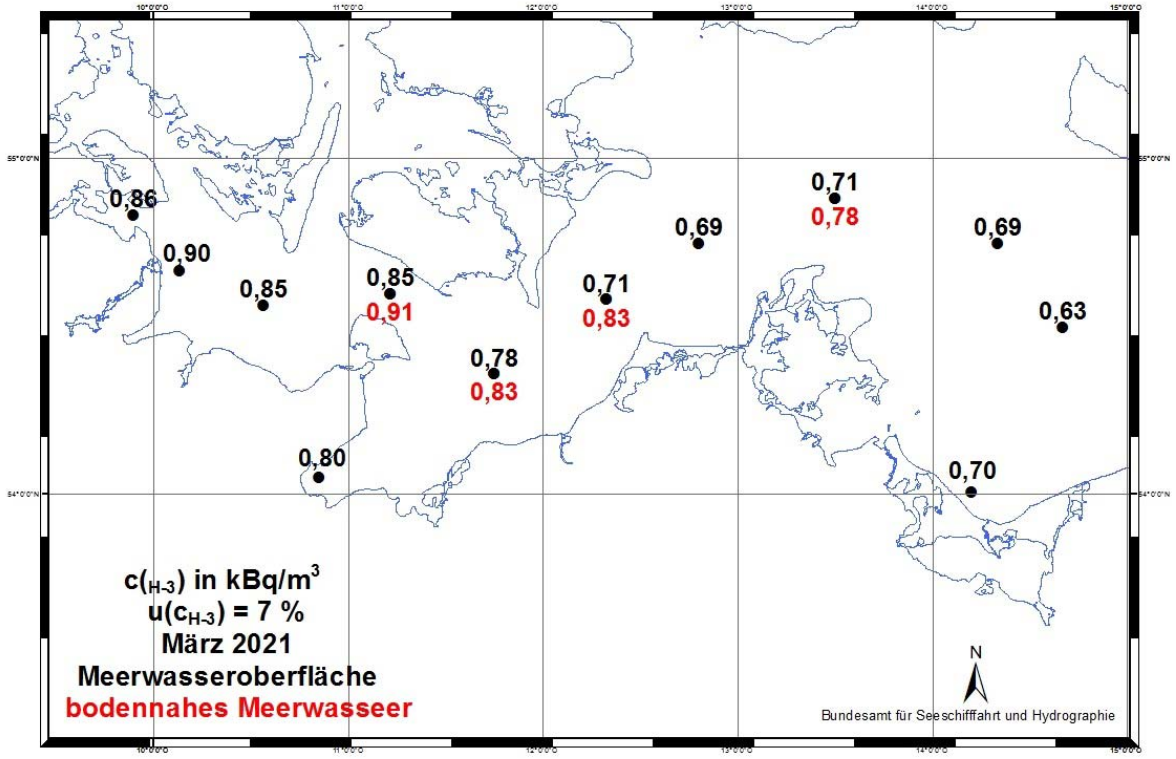


Abbildung B II 2.2-31 **Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (kBq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im März 2021**

(Spatial distribution of the activity concentration of H-3 (Bq/m³) in surface and bottom seawater of the western Baltic Sea in March 2021)

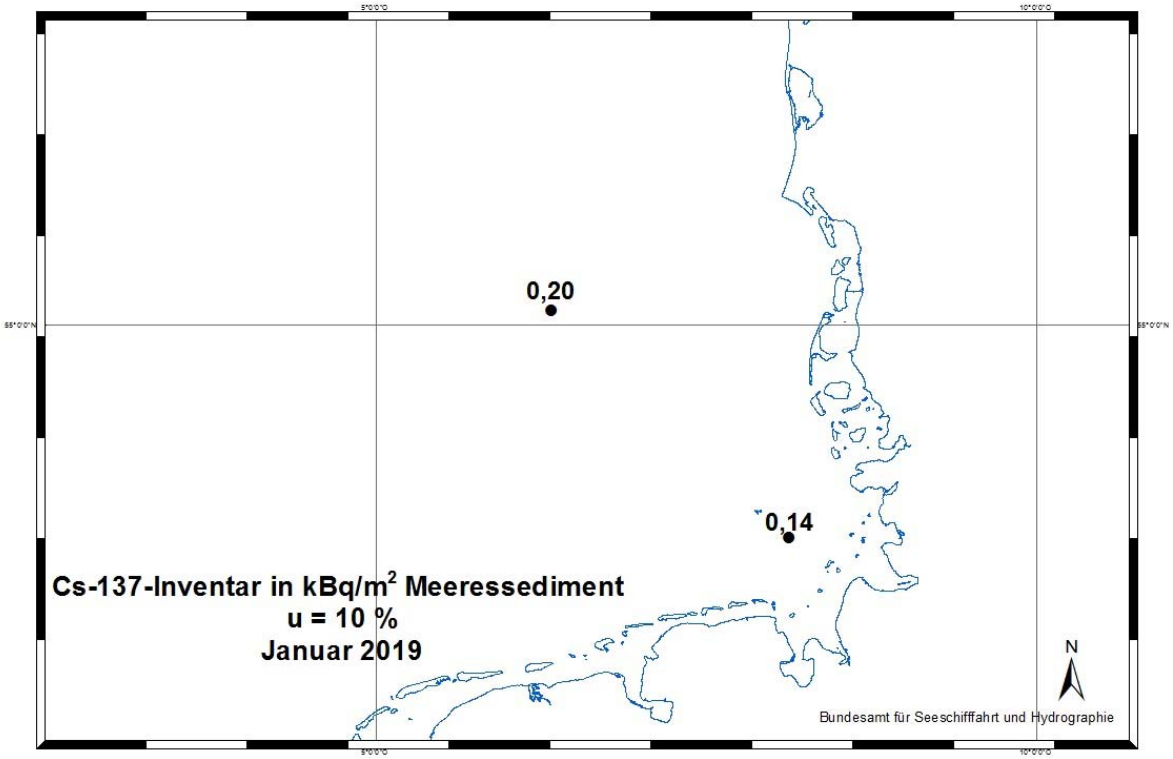


Abbildung B II 2.2-32 **Cs-137-Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der Deutschen Bucht im Januar 2019. Das Inventar wird bis 18 cm Sedimenttiefe erfasst.**

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the German Bight in January 2019. The inventory is calculated down to 18 cm depth.)

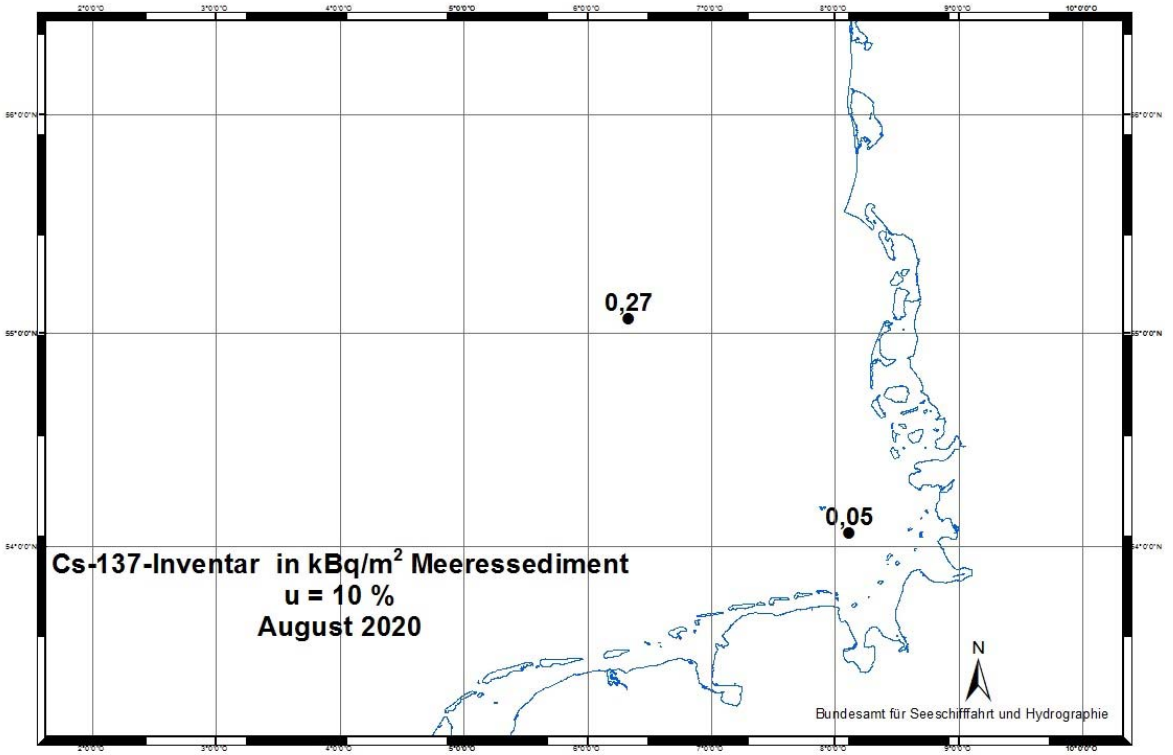


Abbildung B II 2.2-33 **Cs-137-Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der Deutschen Bucht im August 2020. Das Inventar wird bis 18 cm Sedimenttiefe erfasst.**

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the German Bight in August 2020. The inventory is calculated down to 18 cm depth.)

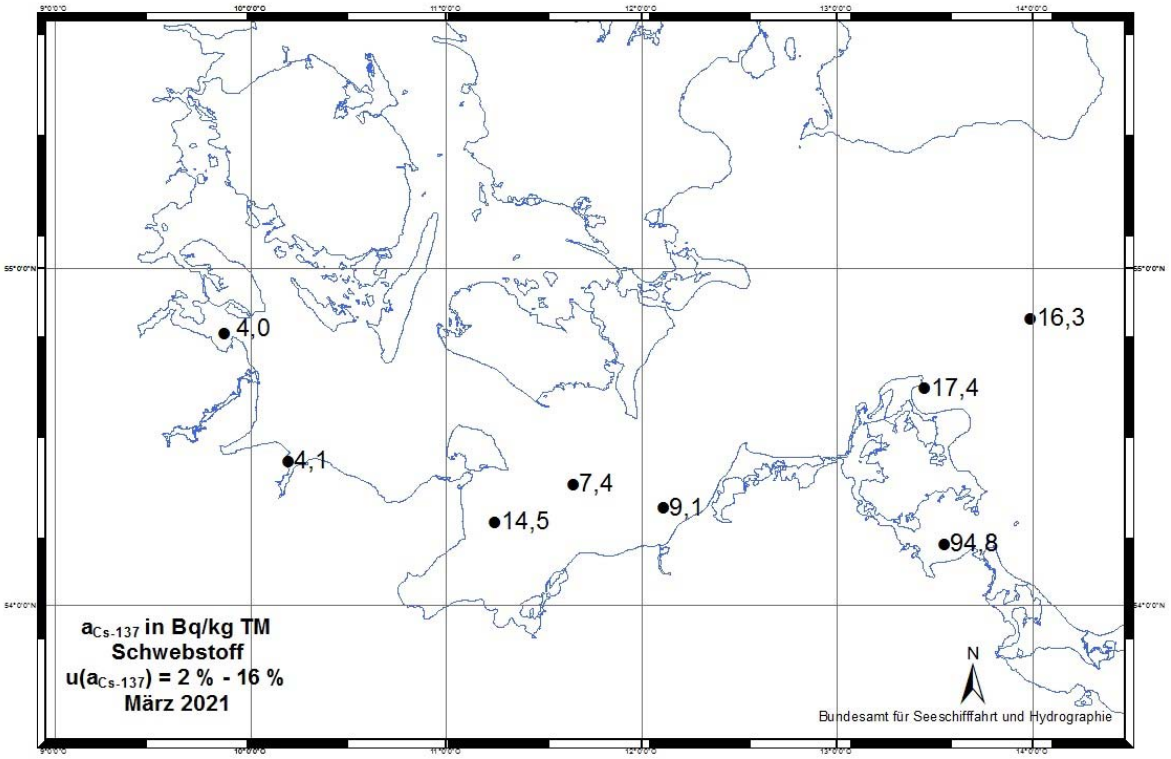


Abbildung B II 2.2-34 **Verteilung der spezifischen Aktivität von Cs-137 (Bq/kg TM) in Schwebstoffproben aus der westlichen Ostsee im März 2021**

(Spatial distribution of the specific activity of Cs-137 (Bq/kg DW) in suspended matter from the western Baltic Sea in March 2021)

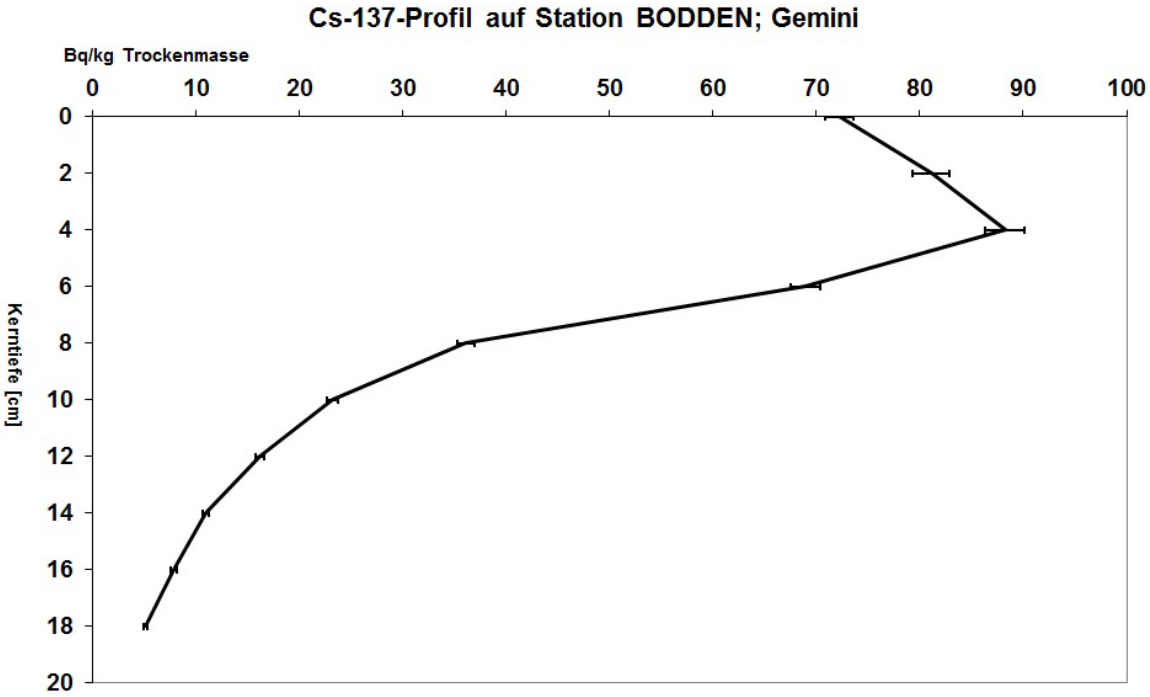


Abbildung B II 2.2-35 **Sedimentprofil der spezifischen Aktivität von Cs-137 (Bq/kg TM) der Station im Greifswalder Bodden im März 2021**

(Sediment profile of the specific activity of Cs-137 (Bq/kg DW) in suspended matter from the western Baltic Sea in March 2021)

Abbildungen B II 2.2-36 bis B II 2.2-38 zeigen das Inventar in kBq/m² einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 24 cm Tiefe der Jahre 2018, 2019 und 2021. Die höchsten Werte mit bis zu 4,5 kBq/m² bzw. 4,2 kBq/m² (Eckernförder Bucht bzw. Kieler Förde) sind in den wasseraustauscharmen Buchten, Bodden und dem als Senke fungierenden Arkonabecken zu finden. Es zeigt sich, dass 35 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall noch Depositionen gefunden werden. Die Inventare hängen stark von der Feinkörnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare an Cs-137 wesentlich geringer als z.B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen, jedoch höher als in fast allen Gebieten des Weltmeeres, mit Ausnahme z.B. der Irischen See. Das Cs-137-Inventar des Jahres 2018 der Station nahe der Odermündung darf mit den Inventaren der Jahre 2019 und 2021 nicht verglichen werden. Der Grund ist eine geänderte Probeentnahmetechnik aufgrund der sandigen und muschelenthaltenden Beschaffenheit des dortigen Meeressediments. Seit dem Jahr 2019 wird daher auf die Entnahme eines Sedimentkerns verzichtet und ausschließlich die Sedimentoberfläche beprobt.

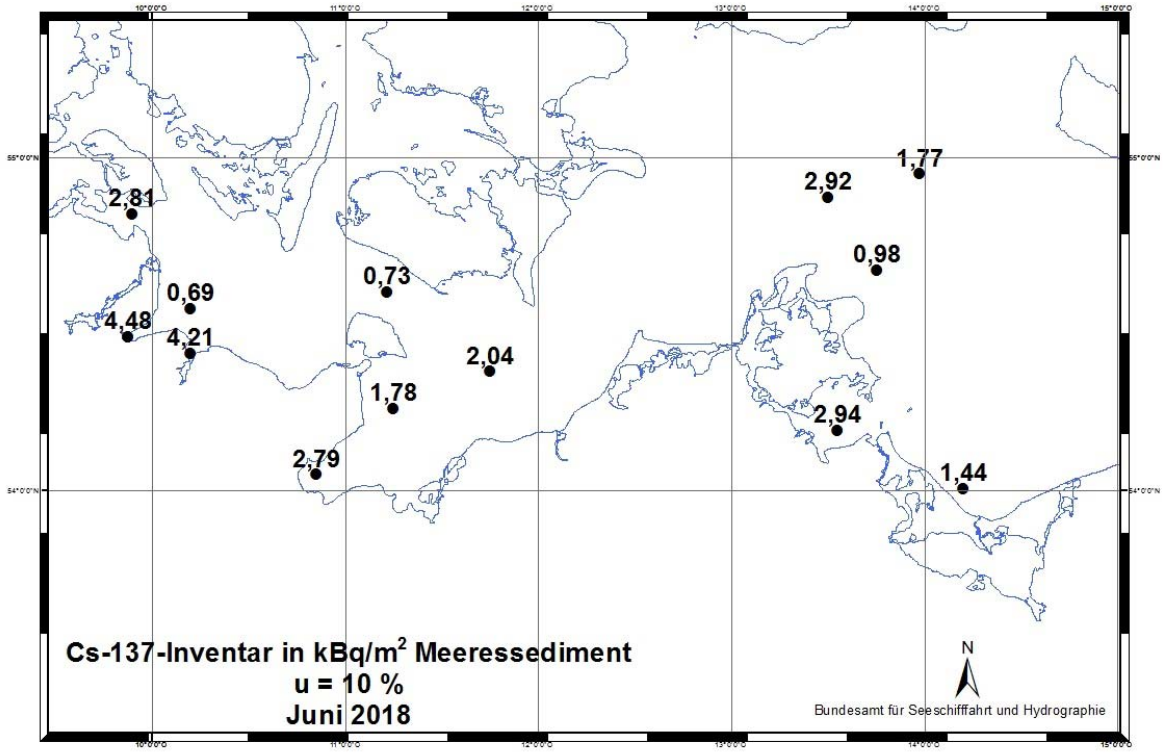


Abbildung B II 2.2-36 **Cs-137-Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2018. Das Inventar wird bis 24 cm Sedimenttiefe erfasst.**

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2018. The inventory is calculated down to 24 cm depth.)

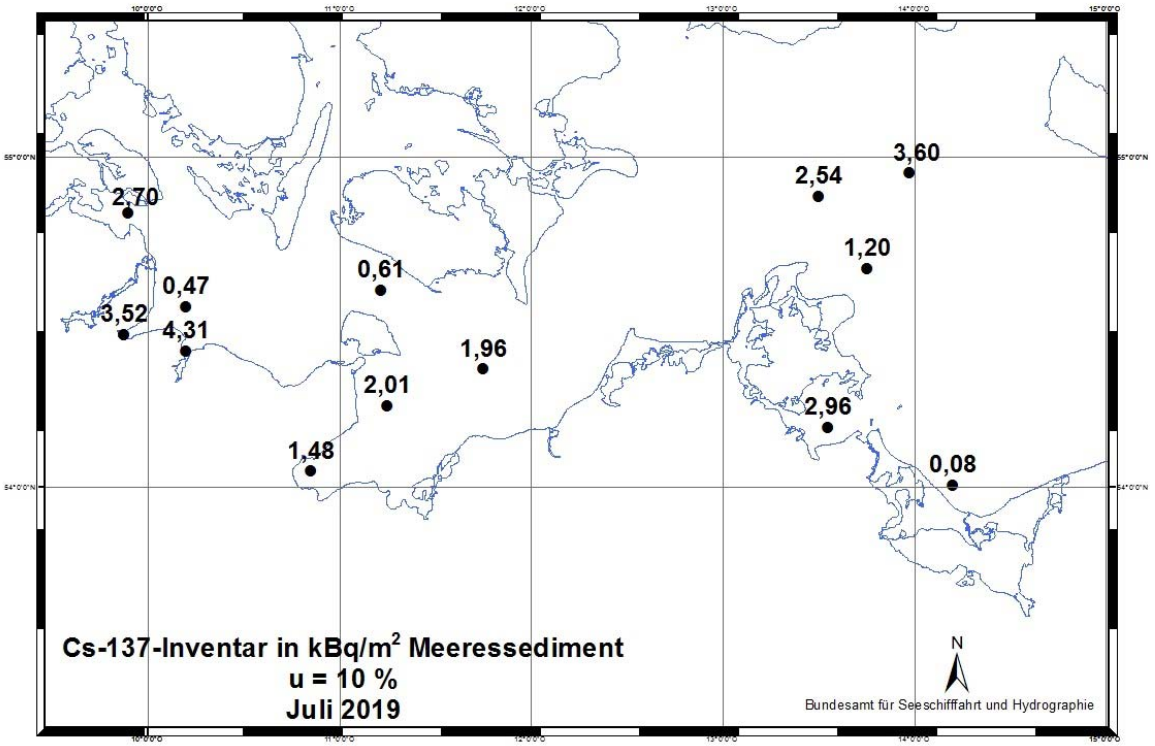


Abbildung B II 2.2-37 **Cs-137-Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juli 2019. Das Inventar wird bis 24 cm Sedimenttiefe erfasst.**

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in July 2019. The inventory is calculated down to 24 cm depth.)

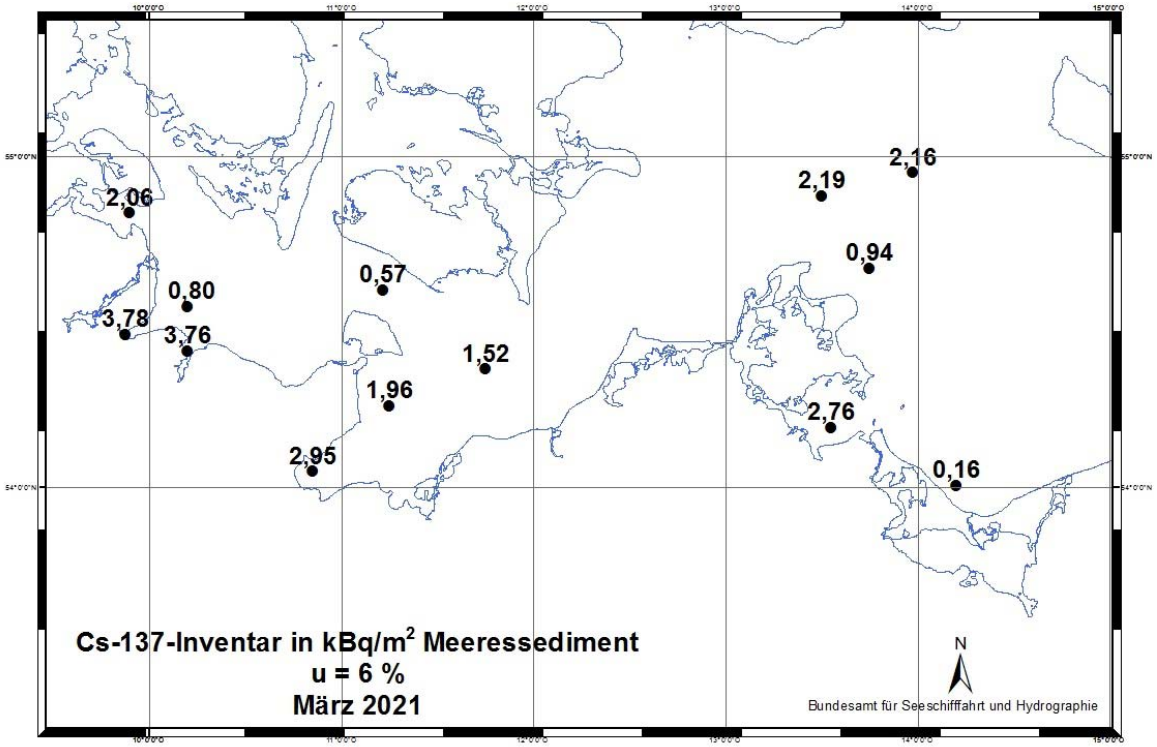


Abbildung B II 2.2-38 **Cs-137-Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im März 2021. Das Inventar wird bis 24 cm Sedimenttiefe erfasst.**

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in March 2021. The inventory is calculated down to 24 cm depth.)

2.3 Binnengewässer

2.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer

In diesem Kapitel 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 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG, §§ 161, 162) für das Jahr 2021 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Kapitel 2.3.2 zusammengefasst und bewertet. Eine Übersicht über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG bzw. REI ist in der Tabelle T II.32 zusammengestellt.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrlSchG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 160 Gewässern mit insgesamt ca. 21 000 Einzelwerten durchgeführt. Zur Auswertung wurden für repräsentative Entnahmestellen Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte unter Berücksichtigung von Messwerten und NWG berechnet worden, so dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so lagen weniger als die Hälfte der Messwerte über der NWG. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auflistung „nn“ angegeben. Tabelle T II.33 enthält die Auswertungen für Fließgewässer und Tabelle T II.34 die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte der letzten 20 Jahre für ausgewählte Entnahmestellen beispielhaft in den Abbildungen B II 2.3-1 bis B II 2.3-8 aufgetragen, wobei die geforderte NWG des RMP (Messstellen der Länder) jeweils zum Vergleich als Orientierungshilfe angegeben ist.

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

Oberflächenwasserproben wiesen H-3-Aktivitätskonzentrationen im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betrugen die Jahresmittelwerte höchstens 32 Bq/l (Mosel). Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen in den meisten Fällen unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Vorgaben zu Nachweisgrenzen des RMP. Der im Jahresbericht 2020 erwähnte leicht ansteigende Trend der Messwerte für Sr-90 hat sich 2021 nicht fortgesetzt und die Messwerte sind wieder in den Bereich der Vorjahre zurückgegangen (Abb. B II 2.3-3). Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren, abgesehen von H-3, im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen in Wasserproben nicht mehr nachweisbar. Das in der Nuklearmedizin eingesetzte kurzlebige I-131 trat nur gelegentlich mit Einzelwerten bis 0,02 Bq/l auf. Lu-177 wurde 2021 im Gegensatz zum Vorjahr in Wasserproben nicht nachgewiesen. In einer einzelnen Wasserprobe (Eider, Schleswig-Holstein) wurden 0,002 Bq/l Cs-134 gemessen. Zudem wurden in einer einzelnen Wasserprobe (Havel, Brandenburg) 0,004 Bq/l Pu-238 nachgewiesen. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für U-234, U-235 und U-238 durchweg Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen. Für U-238 traten beispielsweise regional Werte bis 0,04 Bq/l auf.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 50 Bq/kg Trockenmasse (TM). In Flüssen betrug der maximale Jahresmittelwert 51 Bq/kg TM (Elde, Mecklenburg-Vorpommern). Auch in der Donau wurde noch ein Einzelwert von Cs-137 über 50 Bq/kg TM gemessen. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: Der maximale Jahresmittelwert lag bei 198 Bq/kg TM (Steinhuder Meer, Niedersachsen). Co-58 und Co-60 wurden regelmäßig in der Mosel nachgewiesen, wobei alle Werte unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM lagen. Im Rhein wurde in einzelnen Proben Co-60 nachgewiesen. Ag-110m und Cs-134 wurden 2021 in keiner Schwebstoffprobe nachgewiesen.Für die kurzlebigen Radionuklide I-131 bzw. Lu-177 wurden in Schwebstoffproben Einzelwerte bis 64 Bq/kg TM (Spree) bzw. 58 Bq/kg TM (Rhein) gemessen; in beiden Fällen werden nuklearmedizinische Anwendungen als Quelle angenommen.

In **Sedimentproben** betrugen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 ebenfalls meist weniger als 50 Bq/kg TM. In Flüssen lag der maximale Jahresmittelwert bei 60 Bq/kg TM (Elde, Mecklenburg-Vorpommern). In einzelnen Seen traten jedoch weiterhin höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: Der maximale Jahresmittelwert lag bei 172 Bq/kg TM (Schollener See, Sachsen-Anhalt). Jahresmittelwerte für Cs-137 über 100 Bq/kg TM wurden zudem im Wittensee (Schleswig-Holstein), dem Großensee (Schleswig-Holstein) und dem Starnberger See (Bayern) gemessen. Co-60 wurde regelmäßig in Sedimenten der Mosel und vereinzelt im Rhein gefunden; alle Werte lagen jedoch 2021 unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. Co-58 wurde nur in drei Proben aus der Mosel mit maximal 0,56 Bq/kg TM gemessen. In Sedimentproben wurde 2021 kein Ag-110m nachgewiesen.

Aus radioökologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer im Berichtsjahr mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der mittleren Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten der langlebigen künstlichen Radionuklide können, vom radioaktiven Zerfall abgesehen, mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden. Diese können zu sehr heterogenen und zeitlich variablen Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen. In Sedimenten variieren die Radionuklidgehalte zudem, genauso

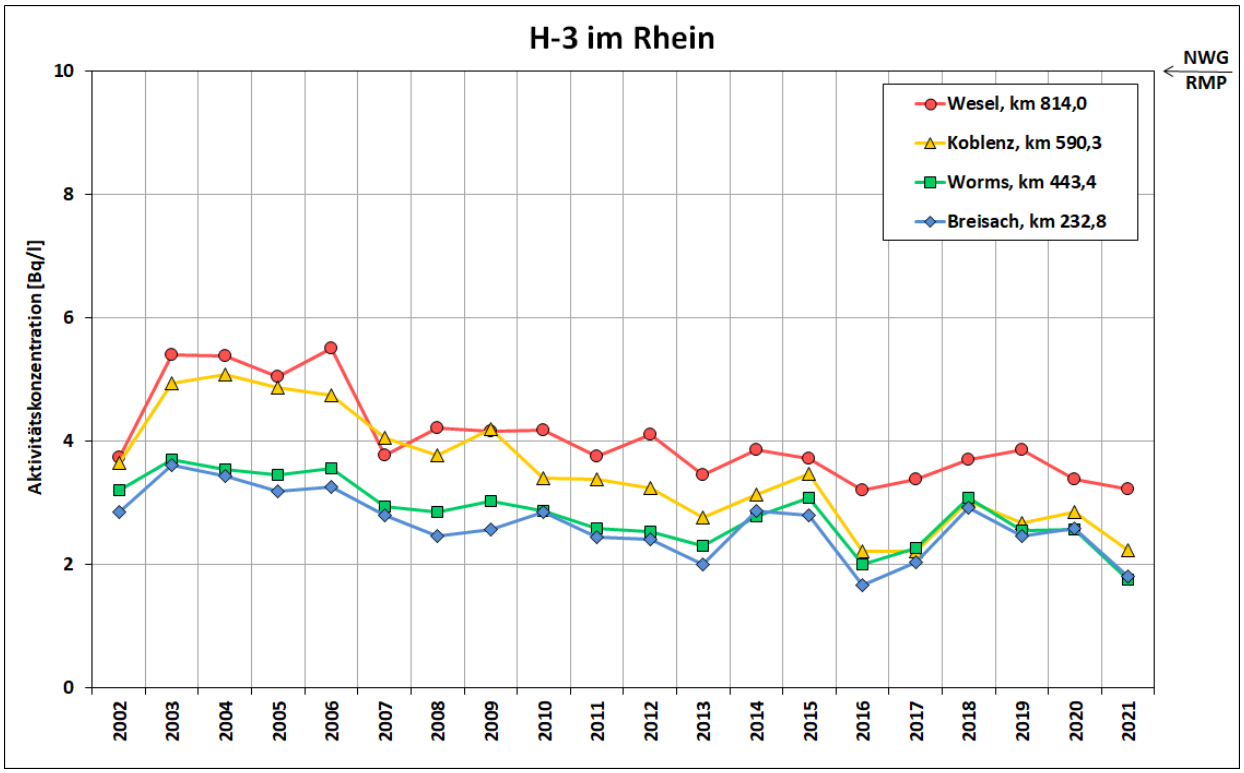


Abbildung B II 2.3-1 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)

(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

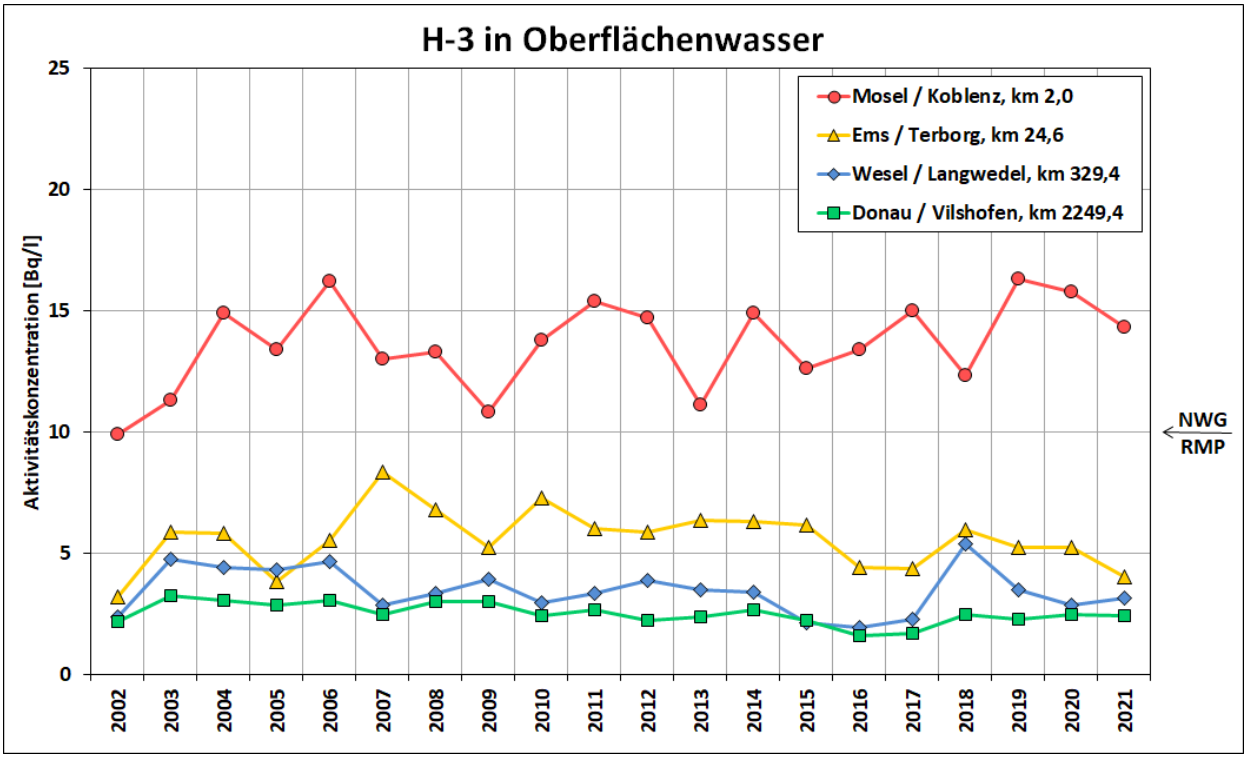


Abbildung B II 2.3-2 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

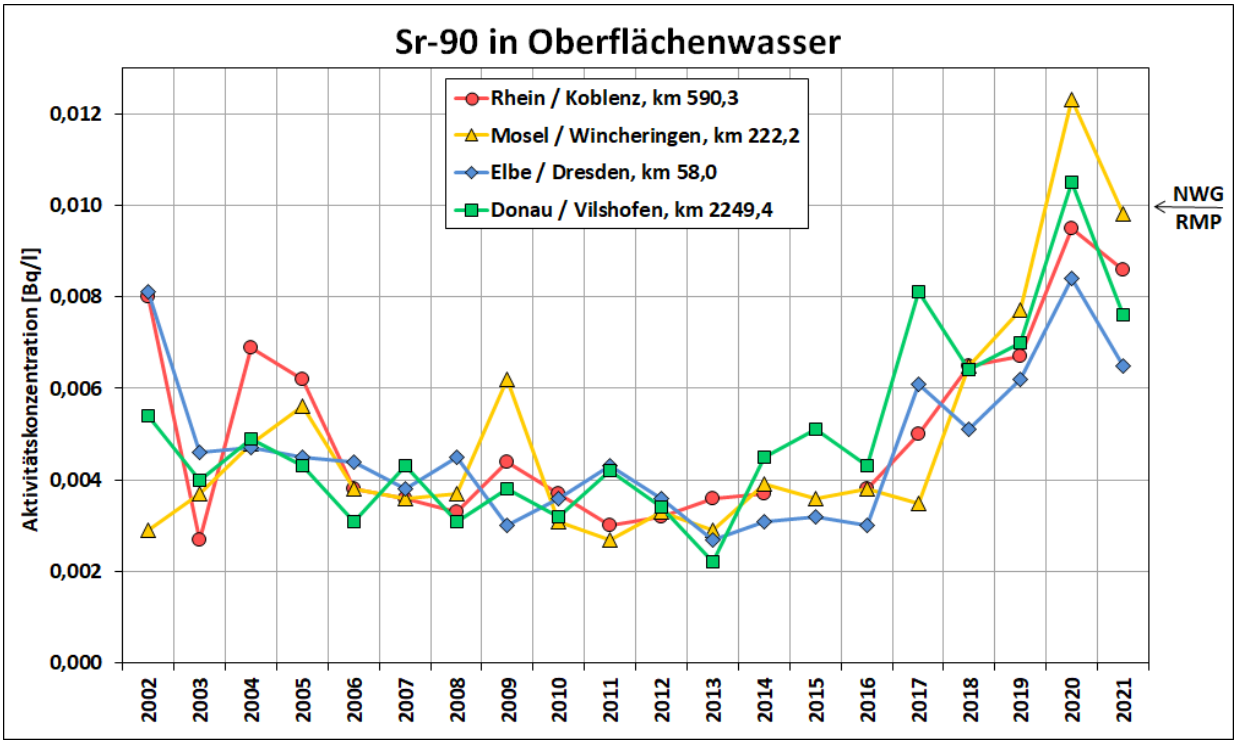


Abbildung B II 2.3-3 **Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Strontium-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(Strontium-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

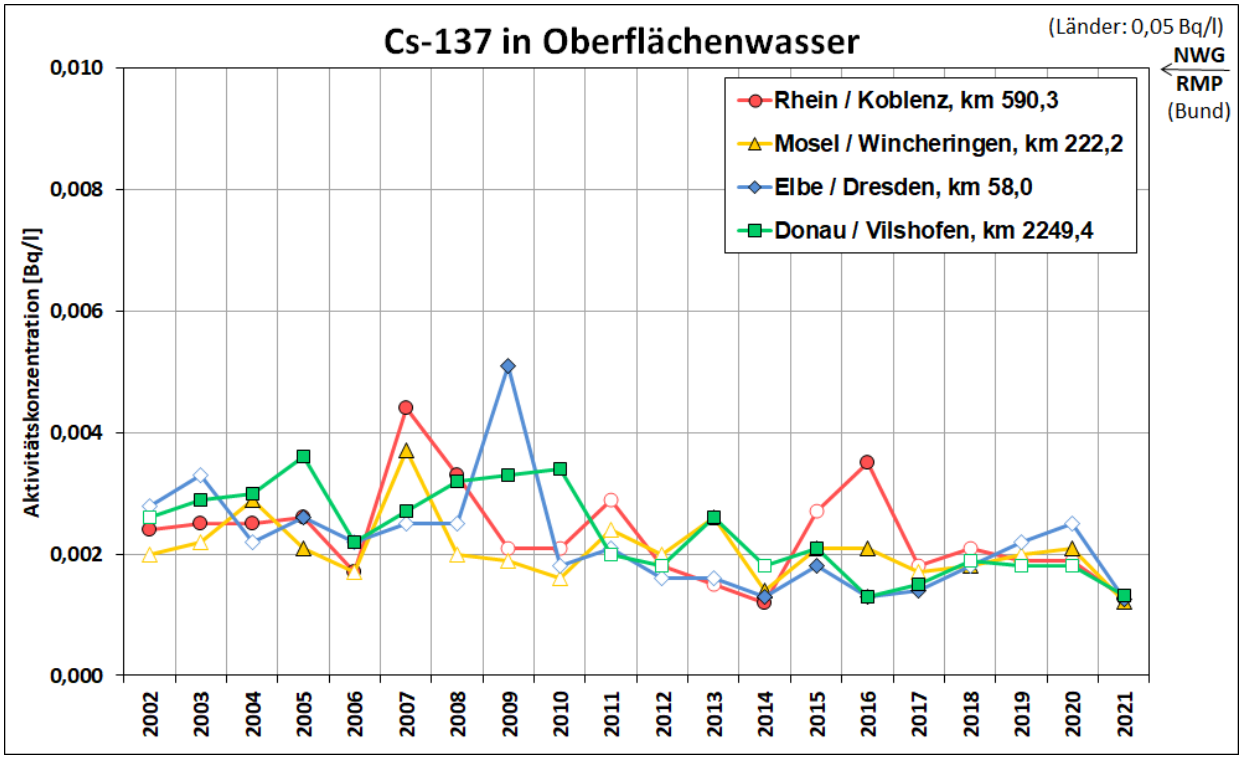


Abbildung B II 2.3-4 **Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cäsium-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG.**

(Cesium-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values. White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit.)

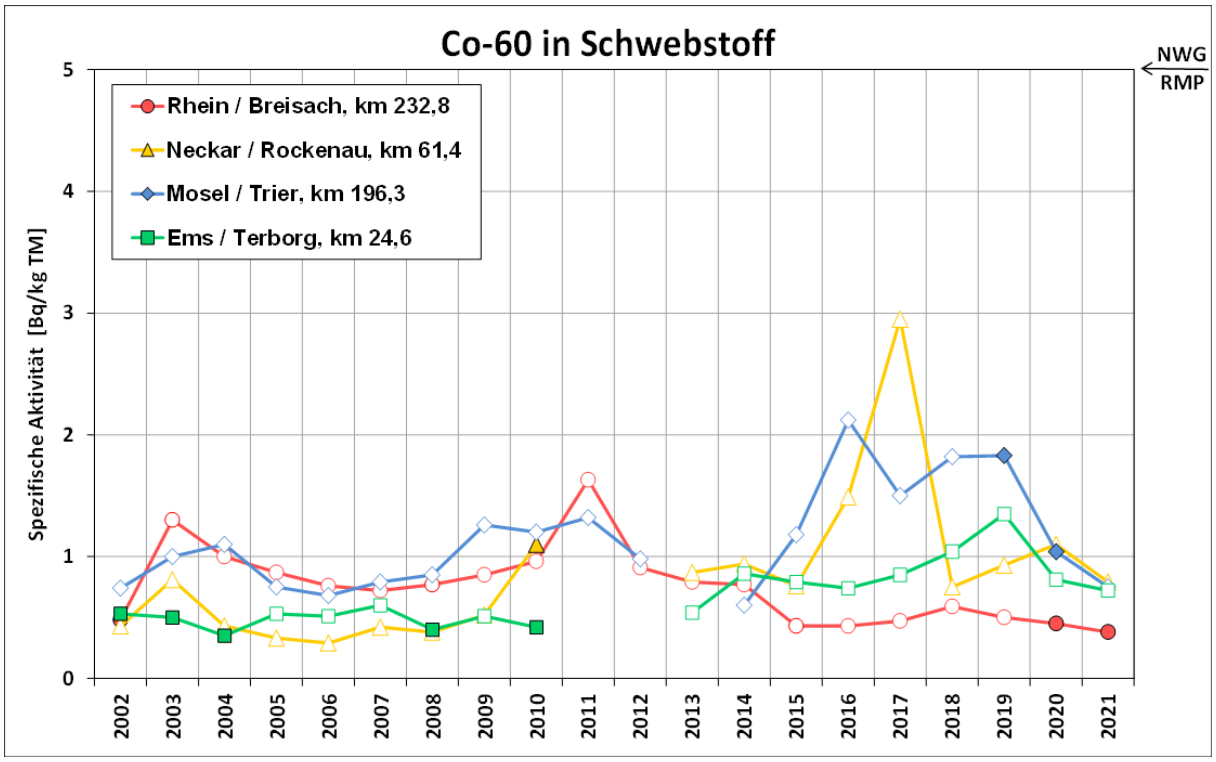


Abbildung B II 2.3-5 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Kobalt-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG.**

(Cobalt-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values). White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit.)

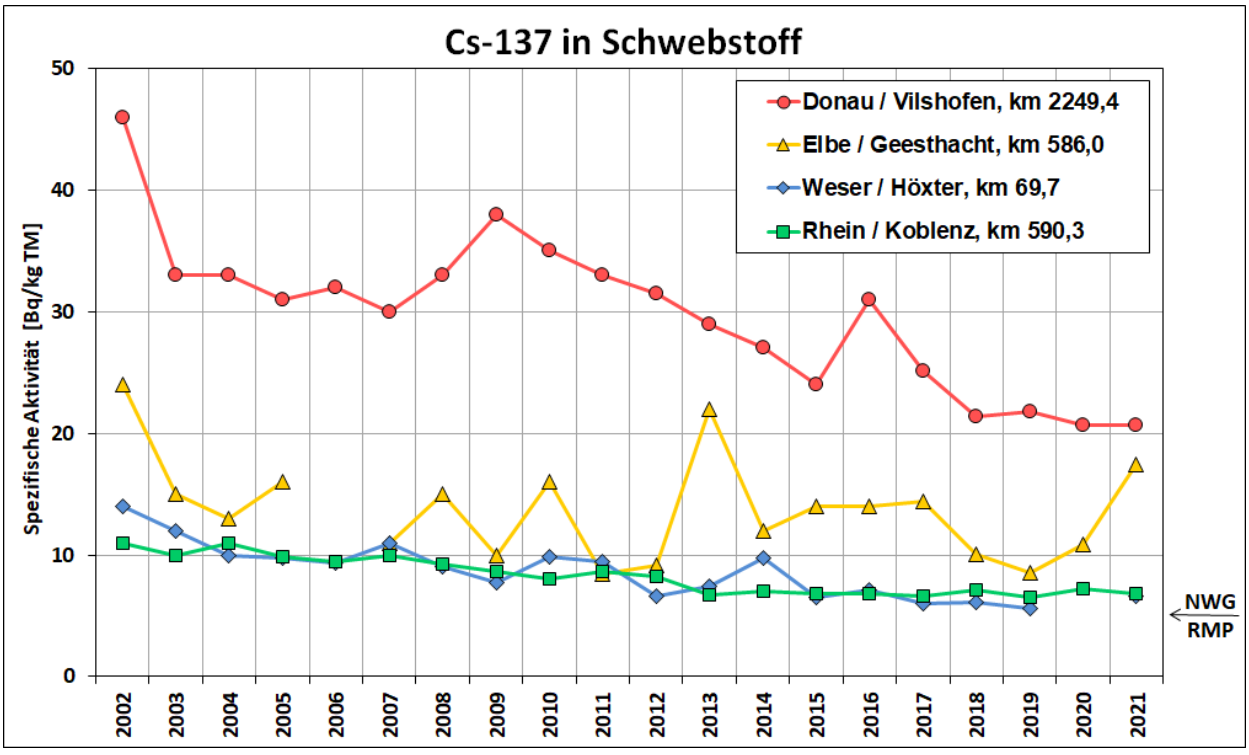


Abbildung B II 2.3-6 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(Cesium-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

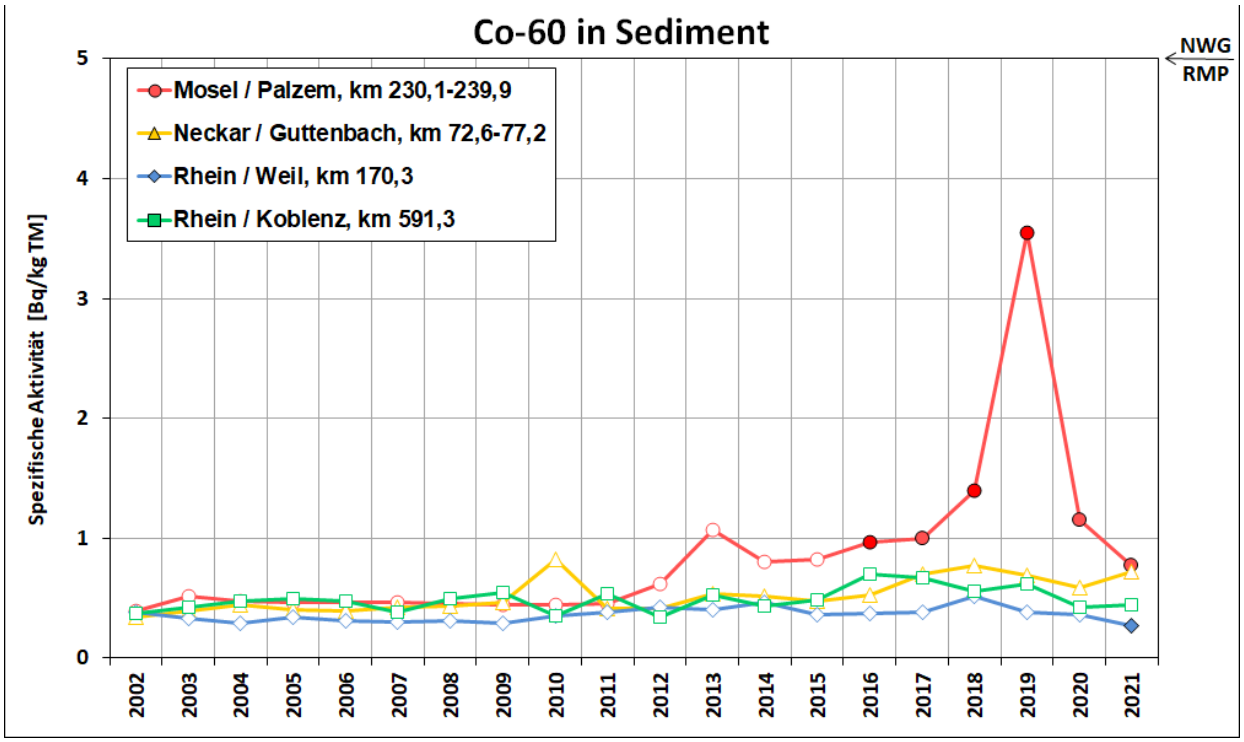


Abbildung B II 2.3-7 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Kobalt-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte). Weißer Symbolinhalt kennzeichnet Datensätze mit allen Werten <NWG.**

(Cobalt-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)
White symbol filling indicates data sets with all values below detection limit.

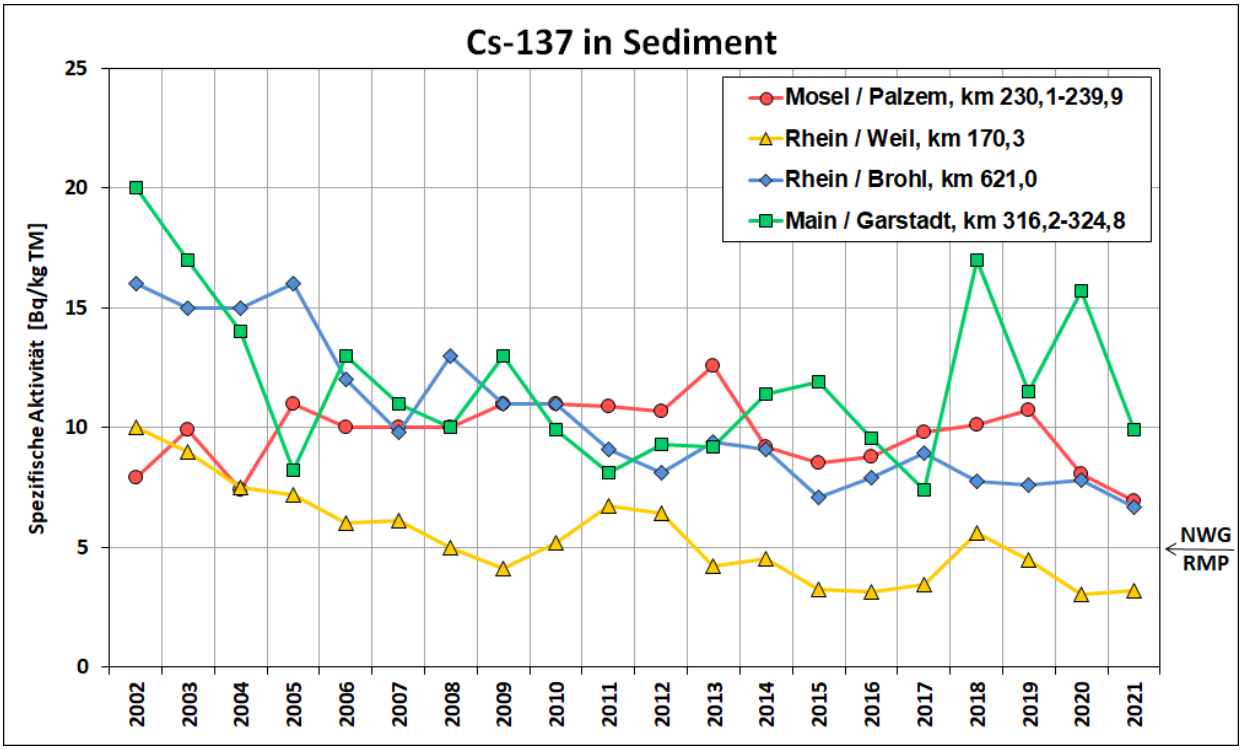


Abbildung B II 2.3-8 **Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cäsium-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)**

(Cesium-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

wie bei anderen Schadstoffen, mit der Korngrößenverteilung (siehe auch Grundlagenbericht). Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und von nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

Strahlenexposition[1]

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 zusätzliche interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken. Nimmt man beispielsweise, entsprechend der Daten, 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, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (>17 a; 350 l/a Konsum) auf dem „Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser nicht aufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (≤ 1 a; 215 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,68 µSv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt jedoch mit ca. 0,87 µSv/a bzw. 5,3 µSv/a deutlich über dem anthropogen verursachten.

Insbesondere Cs-137 war auch 2021 in Sedimenten noch deutlich nachweisbar. Würde Sediment mit einem Cs-137- Gehalt von 100 Bq/kg TM 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, 760 Stunden Aufenthalt pro Kalenderjahr) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis mit ca. 8,1 µSv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Th-nat und U-nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 21 µSv/a wesentlich höher.

2.3.2 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung der Anlagen nach dem Atomgesetz

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen aus dem Berichtsjahr 2021 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). In die Auswertung wurden insgesamt ca. 6 950 Einzelwerte von Messungen an Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben einbezogen; diese erfolgte wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasserproben** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar (Tabelle T II.35). Erhöhte H-3-Aktivitätskonzentrationen wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden; die Mittelwerte betrugen hier maximal 2 146 Bq/l in der Ems (KKE Emsland). In Folge der Durchmischung gingen die H-3-Gehalte aber entlang der Fließstrecke auf niedrigere Aktivitätskonzentrationen zurück (siehe auch Kapitel 2.3.1). Die Aktivitätskonzentrationen anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten meist die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l. Für Cs-137 beispielsweise war der Einfluss kerntechnischer Anlagen wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen (Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl) nicht eindeutig zuordenbar. Dies gilt auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt werden kann. Transurane wurden in Wasserproben nicht nachgewiesen.

In **Sedimentproben** - und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten der anlagentypischen Radionuklide meist unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. I-131 und Cs-137 wurden nachgewiesen, Einflüsse der jeweiligen kerntechnischen Anlagen waren aber auf Grund anderweitiger Vorbelastungen praktisch nicht aufzuzeigen bzw. auszuschließen. Co-60 wurde gelegentlich, Co-58 vereinzelt nachgewiesen. Sr-90 wurde mit maximalen Einzelwerten bis 4,0 Bq/kg TM gemessen. Für Alphastrahler wurden erhöhte mittlere Werte für die Gesamt-Alpha-Aktivität (G-α) mit 5 244 Bq/kg TM in der Seege (BGZ Gorleben) und für Am-241 mit 6,5 Bq/kg TM im Hirschkanal (KIT Karlsruhe) gemessen. In Sedimentproben der Isar flussabwärts der Forschungsneutronenquelle HML München wurden bis zu 0,257 Bq/kg TM Pu-(239+240) gemessen. Darüber hinaus wurden keine Transurane nachgewiesen.

Strahlenexposition[1]

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Aktivitätskonzentrationen traten als Folge von Ableitungen aus Kernkraftwerken auf. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser mit 25 Bq/l H-3 nicht aufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die aus dem „Trinkwasser“-Pfad für Erwachsene (>17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,3 µSv/a. Für Kleinkinder (≤1 a; 430 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert ca. 0,69 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 99 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2 % ausgeschöpft werden.

Co-60 wurde vereinzelt in Sedimentproben gemessen. Für den Fall, dass Sediment mit 10 Bq/kg TM Co-60 gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ zu

[1] Die angenommenen Trinkwasser-Verzehrsmengen und Aufenthaltsdauern sind der StrlSchV (Stand 2018) entnommen: Anlage 11 Teil B Tabelle 1 bzw. Tabelle 3. Nach § 101 StrlSchV sind für den Betrieb kerntechnischer Anlagen für Kleinkinder, die nicht gestillt werden, 55 + 160 Liter Trinkwasser mit einem Faktor 2 anzusetzen. Dies ergibt eine Trinkwassermenge von 430 Liter.

erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (>17 a) für Standardbedingungen mit ca. 2,4 µSv/a abschätzen. Sie würde damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 99 StrlSchV von 300 µSv/a liegen.

2.4 Böden

2.4.1 Boden, Pflanzen und Futtermittel

Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort, wie sie in den Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probenentnahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war natürlich auch im Jahr 2021 durch die Deposition nach dem Tschernobyl-Unfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In Tabelle T II.36 sind Messwerte für als Weiden oder Wiesen genutzte Böden zusammengefasst. In Tabelle T II.37 sind entsprechende Werte für Ackerböden und in Tabelle T II.38 für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In der Vegetationsperiode 2021 wurden verschiedene Pflanzenproben gammaspektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

In Tabelle T II.39 sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in Tabelle T II.40 und Tabelle T II.41 zusammengestellt. In Tabelle T II.42 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In Tabelle T II.40, Tabelle T II.41 und Tabelle T II.42 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

2.4.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobyl-Unfall im Jahr 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabelle II.43 und Tabelle II.44 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Bei der Betrachtung des Bodens in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken erfolgen Wanderungen der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 in den Boden hinein nur langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort gehen auf Probenentnahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 ist durch die Deposition nach dem Tschernobyl Unfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

In der Vegetationsperiode werden verschiedene Pflanzenproben ɣ-spektrometrisch aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken gemessen. Im Vordergrund stehen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination des pflanzlichen Materials geht leicht zurück, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

2.5 Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser

2.5.1 Grundwasser und Trinkwasser

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Grund- und Trinkwasser wird auf den Grundlagenbericht, Kapitel II verwiesen.

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) im Jahr 2021 erhobenen und von dre Leitstelle als plausibel und repräsentativ bewerteten Daten für K-40, Cs-137, Sr-90, H-3 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind in Tabelle T II.45 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als „kleiner Nachweisgrenze“ (NWG) bewertet wurden, der kleinste und der größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem Ergebnisse kleiner der Nachweisgrenze gleichrangig wie tatsächliche Messwerte mit dem Wert der erzielten Nachweisgrenze berücksichtigt wurden. Die im Rahmen der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität nach Strahlenschutzgesetz geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspektrometrische Untersuchung 50 mBq/l bezogen auf Co-60, für die H-3-Bestimmung 10 000 mBq/l, für die Sr-90-Bestimmung und für die Messung der Alphastrahler (Uran- und Plutoniumisotope) je 10 mBq/l. Zudem werden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung mit im Mindesten zu dokumentierenden Radionuklide Co-60, Ru-103, I-131, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden die Messergebnisse für die jeweiligen Umweltbereiche berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.45 wird nicht vorgenommen.

Zusätzlich sind die Trinkwasserdaten, welche im Rahmen des ergänzenden Messprogramms mit erhöhten Anforderungen nach AVV-IMIS erhoben werden, separiert erfasst und im entsprechenden Berichtsteil zu Trinkwasser berücksichtigt. Eine zusätzliche Tabellendarstellung erfolgt nicht. Dieses Messprogramm dient zur Erfüllung der Anforderungen des weitmaschigen Überwachungsnetzes (sparse network) der EU. Zu diesem Zweck sind die vier geographischen Regionen Nord, Mitte, Süd und Ost in Deutschland benannt und durch jeweils eine repräsentative Probenentnahmestelle ausgewiesen. Zu messen sind die Radionuklide H-3, Sr-90 und Cs-137. Die geforderten Nachweisgrenzen sind mit Ausnahme von H-3 niedriger als die Nachweisgrenzen des Messprogramms für den Normalbetrieb nach AVV-IMIS und betragen für die Sr-90-Bestimmung 6 mBq/l und für die Cs-137-Bestimmung 10 mBq/l.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürlicher Bestandteil in Boden und Gestein und gelangen durch Lösungsprozesse ins Grundwasser. Diese Radionuklide sind demnach geogenen Ursprungs und variieren in ihrer Aktivitätskonzentration im Grund- und Trinkwasser in Abhängigkeit von regionalen geologischen Gegebenheiten.

Cs-137 und Sr-90 stammen aus den Kernwaffenversuchen der Jahre 1950 bis 1980 und aus Kontaminationen in Folge der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im Jahr 1986. Diese Radionuklide gelangten aus der Atmosphäre (Fallout) und mit dem Niederschlag (Washout) auf die Erdoberfläche und von dort in das Grund- und Trinkwasser.

H-3 entsteht durch die kosmische Strahlung in der oberen Atmosphäre (kosmogenes Radionuklid) und gelangt mit dem Niederschlag in den Wasserkreislauf. Darüber hinaus wird H-3 als genehmigte Ableitung (nach Atomgesetz) mit der Abluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen in die Umwelt abgegeben.

Grundwasser

Im Jahr 2021 wurde Grundwasser von 52 Probenentnahmestellen untersucht.Aus Kapazitätsgründen konnte die Messstelle in Bremen für das Berichtsjahr 2021 keine Sr-90-Bestimmungen an den Grundwasserproben durchführen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen mit Ausnahme eines Messwertes für eine nicht zur Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasserprobe in Hamburg mit 0,23 mBq/l (NWG:0,42 mBq/l) ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,11 mBq/l bis 52 mBq/l. Die Größenordnung der Nachweisgrenze hängt dabei im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers ab. Der Median sämtlicher Nachweisgrenzen beträgt <6,8 mBq/l (2020: <6,7 mBq/l).

In 46 % der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,24 mBq/l bis 11 mBq/l (2020: 0,59 mBq/l bis 87 mBq/l) nachgewiesen werden. Ein Median von <3,9 mBq/l (2020: 3,9 mBq/l) wurde berechnet.

In 55 von 63 auf H-3 untersuchten Grundwasserproben wurde als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ erhalten, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 1 000 mBq/l und 10 000 mBq/l lagen. In den restlichen Proben wurden tatsächliche Messwerte deutlich unterhalb der mittleren Nachweisgrenze von ca. 5 000 mBq/l angegeben. Der Median liegt bei <4 400 mBq/l (2020: <4 600 mBq/l).

Im Rahmen des Routinemessprogramms wurden auch alphaspektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die erhobenen Messwerte für die Uranisotope U-238 und U-234 im Jahr 2021 sind mit einer Aktivitätskonzentration von bis zu 120 mBq/l und einem Median von 1,9 mBq/l und 1,2 mBq/l (2020: 2,3 mBq/l und 2,5 mBq/l) mit den Daten aus der vom BfS durchgeführten Trinkwasserstudie in Deutschland [1] vergleichbar. In dieser wurde für 565 Rohwasserdaten ein Median für U-238 von 3,7 mBq/l ermittelt.

Für die Plutoniumisotope Pu-238 und Pu-(239/240) wurden für das Berichtsjahr 2021 nur Ergebnisse übermittelt, die als „kleiner Nachweisgrenze“ bewertet wurden. Der aus allen 49 Ergebnissen jeweils berechnete Median liegt bei <0,81 mBq/l bzw. <0,59 mBq/l (2020:<1,2 mBq/l bzw. <1 mBq/l).

Der Medianwert für das natürliche Radionuklid K-40 im Grundwasser beträgt 200 mBq/l (2020:>190 mBq/l). Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2021 wurde in einer Probe mit 750 mBq/l ermittelt (2020: 1 700 mBq/l).

Trinkwasser

Die 2021 untersuchten Roh- und Reinwässer stammten aus 80 bzw. 90 Probenentnahmestellen. Aus Kapazitätsgründen konnte die Messstelle in Bremen für das Berichtsjahr 2021 keine Sr-90-Bestimmungen an den Roh- und Reinwasserproben durchführen.

Für das ergänzende Messprogramm lagen die Daten von drei Probeentnahmeregionen (Nord, Ost und Süd) bis zum Stichtag 30.06. vor.

In der Tabelle T II.45 wird zwischen Rohwasser (dem unbehandelten Grund- oder Oberflächenwasser als Zulauf der Wasserwerke) und Reinwasser (dem im Wasserwerk aufbereiteten Wasser, das als Trinkwasser in das Netz eingespeist wird) unterschieden.

Für Cs-137 im Rohwasser ist ein Messwert aus Hamburg mit 0,33 mBq/l (NWG: 0,40 mBq/l) übermittelt worden. Alle weiteren Ergebnisse sind als „kleiner Nachweisgrenze“ bewertet worden, wobei die bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen zwischen 0,65 mBq/l und 50 mBq/l liegen. Als Median aller mitgeteilten Ergebnisse für das Jahr 2021 wurde <6,9 mBq/l (2020: <7,3 mBq/l) berechnet. Im Reinwasser wurden für 237 untersuchte Proben Cs-137 unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen von 0,068 mBq/l bis 52 mBq/l übermittelt. Oberhalb der Nachweisgrenze wurden für zwei Oberflächenwasserproben aus Bad Harzburg Messergebnisse mit 0,95 mBq/l und 3.9 mBq/l angegeben. Der Median aller Ergebnisse beträgt <7,3 mBq/l (2020: <7,7 mBq/l). Für das ergänzende Messprogramm konnten in zwei Proben der Trinkwassertalsperre Frauenau (Bayerischer Wald) Cs-137 mit einer maximalen Aktivitätskonzentration von 1,8 mBq/l belegt werden.

In 44 % der untersuchten Proben im Rohwasser und in 38 % der untersuchten Proben im Reinwasser konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen sind mit 1,0 bis 15 mBq/l im Rohwasser und 1,0 mBq/l bis 12 mBq/l im Reinwasser (2020: 1,4 mBq/l und 16 mBq/l im Rohwasser und 1,0 mBq/l und 17 mBq/l im Reinwasser) angegeben worden, der Median sämtlicher Ergebnisse beträgt <3,6 mBq/l für das Rohwasser und 4,2 mBq/l für das Reinwasser (2020: <4,3 mBq/l im Rohwasser und 4,7 mBq/l im Reinwasser). Im ergänzenden Messprogramm konnte in 40 % der untersuchten Proben Sr-90 nachgewiesen werden. Der aus den vorliegenden Daten berechnete Median betrug 2,3 mBq/l. Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf Trinkwässer.

Die für 2021 angegebenen Mediane für die Uranisotope U-238 und U-234 von 1,6 mBq/l bis <3,0 mBq/l liegen im Bereich des in der Trinkwasserstudie in Deutschland [1] für 582 Proben ermittelten Medians für U-238 von 3,2 mBq/l. Für eines von 67 Reinwässern wurde für die Plutoniumisotope Pu-239+240 ein Messwert mit 0,0007 mBq/l (NWG: 0,001 mBq/l) angegeben. Dieser liegt um ein Vielfaches unter dem bestimmten Median von <1,5 mBq/l für das Reinwasser. Die Übermittlung von Messwerten ist in diesem konkreten Fall mit der überdurchschnittlich hohen Menge an eingesetztem Probenmaterial zu begründen. Zusammen mit dem gewählten messtechnischen Verfahren entscheidet die Probenmenge maßgeblich über die zu erreichende Größenordnung der Erkennungs- und Nachweisgrenze. Alle weiteren übermittelten Ergebnisse zu Pu-238 und Pu-239+240 im Roh- und Reinwasser wurden als „kleiner Nachweisgrenze“ bewertet.

Die Medianwerte für das natürliche Radionuklid K-40 im Roh- und Reinwasser betragen <160 mBq/l bzw. <150 mBq/l. Die höchste K-40-Aktivitätskonzentration im Jahr 2021 wurde mit 770 mBq/l im Rohwasser und mit 1 100 mBq/l im Reinwasser ermittelt (2020: 620 mBq/l im Rohwasser und 4 200 mBq/l im Reinwasser).

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser ist gegenüber der natürlichen Strahlenexposition, die im Mittel 2 100 µSv/a beträgt, sehr klein. Legt man die vorliegenden Maximalwerte aus den Messungen für Cs-137 und Sr-90 von 3,9 mBq/l und 12 mBq/l im Reinwasser zu Grunde, ergeben sich, mit einer angenommenen jährlichen Verzehrsrate von 700 Liter für eine erwachsene Referenzperson gemäß StrlSchV Anlage 11 Teil B, Ingestionsdosen von 0,035 µSv/a bzw. 0,030 µSv/a. Für den Säugling (0 bis 1 Jahr) errechnen sich entsprechend einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 366 Liter Ingestionsdosen von 0,24 µSv/a bzw. 1,0 µSv/a.

2.5.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Die von den amtlichen Messstellen der Länder nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen im Jahr 2021 erhobenen Daten sind für Co-60, K-40, Cs-137, Sr-90 und H-3 sowie - wenn ermittelt - für die Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität in Tabelle T II.46 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit dem Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ (<NWG), der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte (>NWG) sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden der Leitstelle Messwerte von 146 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen von 304 untersuchten Grundwasserproben alle Messwerte unter den angegebenen Nachweisgrenzen von 1,8 mBq/l bis 78 mBq/l, der Median aller Cs-137-Ergebnisse beträgt <29 mBq/l (2020: <25 mBq/l).

In 54 % der untersuchten Proben wurde Sr-90 nachgewiesen. Es wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,7 mBq/l und 13 mBq/l gemessen. Ein Median von 4,8 mBq/l (2020: <1,8 mBq/l) wurde ermittelt.

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 20 mBq/l und 99 mBq/l (20120: 17 mBq/l bis 120 mBq/l), mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von <40 mBq/l (2020: <35 mBq/l).

In 10 % der untersuchten Wasserproben wurde H-3 im Konzentrationsbereich von 840 mBq/l bis 11 000 mBq/l nachgewiesen (2020: 1 000 mBq/l bis 12 000 mBq/l), der Median aller Ergebnisse beträgt <5 600 mBq/l (2020: <5 800 mBq/l). Einige Werte liegen damit deutlich über den derzeitigen Messergebnissen für H-3 im Niederschlag im Bereich von 1 000 mBq/l bis 2 000 mBq/l (siehe 2.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)).

Trinkwasser

Im Jahr 2021 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz 17 Rohwasser- und 36 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt. In Tabelle T II.46 sind die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen getrennt nach Roh- und Reinwasser dokumentiert.

Für Cs-137 ist bei 113 untersuchten Reinwasserproben als Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ angegeben worden, wobei die Nachweisgrenzen zwischen 0,38 mBq/l und 59 mBq/l liegen. Der Median aller mitgeteilten Werte beträgt <8,1 mBq/l (2020: <8,0 mBq/l).

In fünf Reinwasserproben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,18 mBq/l und 13 mBq/l (2020: bei 0,13 mBq/l und 5,2 mBq/l), der Median sämtlicher Ergebnisse liegt bei <6,9 mBq/l (2020: <5,2 mBq/l).

In 22 von 128 gemessenen Reinwasserproben wurde H-3 mit Aktivitätskonzentrationen von 1 500 mBq/l bis 13 000 mBq/l (2020: 2 400 mBq/l und 16 000 mBq/l) nachgewiesen. Der Median aller Ergebnisse liegt bei <4 200 mBq/l (2020: <4 100 mBq/l). Erhobene Werte für Reinwasser über den durchschnittlich erreichten Nachweisgrenzen von etwa 5 000 mBq/l können auf den Eintrag von durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig belastetes Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) hindeuten. Der H-3-Wert von 13 000 mBq/l stammt aus einer Einzelwasserversorgung in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Karlsruher Institutes für Technologie, Campus Nord (KIT) liegt. In der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) [2] ist für Tritium ein Parameterwert von 10 000 mBq/l angegeben. Die Überschreitung des Parameterwertes im Sinne der TrinkwV löst einen Prüfprozess der zuständigen Behörde aus, inwiefern das Vorhandensein des radioaktiven Stoffes ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt, dass ein Handeln erfordern würde. Von einer gesundheitlichen Besorgnis ist aus diesem Grund nicht auszugehen, da selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus dieser Einzelwasserversorgung gedeckt werden würde, sich nur eine sehr geringe Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition durch das Vorhandensein von Tritium für die betroffenen Personen ergeben würde.

Insgesamt zeigen die Daten, dass künstliche radioaktive Stoffe auf dem Weg über das Trinkwasser nur sehr wenig zu einer Exposition der Bevölkerung führen, die zudem deutlich geringer als die natürliche Strahlenexposition ist.

Literatur

[1] Beyermann M, Bünger T, Gehrcke K, Obrikat D: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.), BfS SW 06/09, Salzgitter, 2009, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100319945

[2] Bundesministerium für Gesundheit: Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. September 2021 (BGBl. I S. 4343) geändert worden ist

2.5.3 Milch und Milchprodukte

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobyl-Unfall deponierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2021 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In Tabelle T II.47 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass

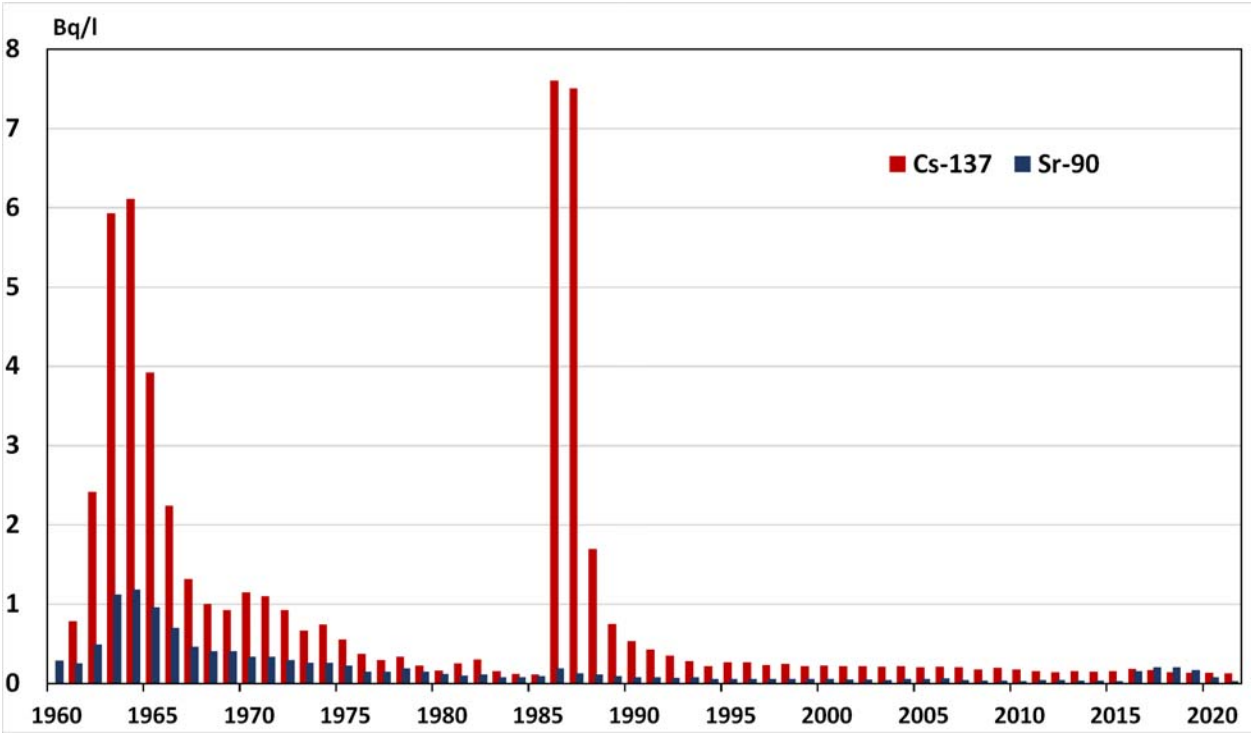


Abbildung B II 2.5-1 Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<“ gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Abbildung B II 2.5-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2021.

Tabelle T II.48 gibt global für das Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten.

2.5.4 Milch in der Umgebung von Anlagen in der Nähe kerntechnischer Anlagen

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung der Anlagen nach Atomgesetz nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobyl-Unfall im Jahr 1986 geprägt. Die aktuellen Aktivitätskonzentrationen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Tabelle T II.49 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit Orten, die nicht in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen, in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen. Die Milchproben aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken, an denen die Messungen vorgenommen werden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks/Stapeltanks von Molkereien/Betrieben, so dass aus dieser Sicht Mittelwertbildungen sinnvoll erscheinen. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte.

2.5.5 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Im Folgenden werden Messergebnisse über spezifische Aktivitäten einzelner Radionuklide in Fischen, Fischereiprodukten sowie Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2021 vorgestellt und diskutiert.

Methodik

Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben von Fischen, Fischereiprodukten, Krusten- und Schalentieren sind in Bq/kg Feuchtmasse (FM) der Muskulatur angegeben, falls nicht explizit auf eine andere Bezugsgröße verwiesen wird.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routinemessprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst:

- Norddeutschland mit Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg
- Mitteldeutschland mit Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen
- Süddeutschland mit Baden-Württemberg und Bayern.

Bei der Bestimmung der spezifischen Aktivität einer Umweltprobe kann es aus diversen Gründen vorkommen, dass statt eines Messwertes nur ein Wert unterhalb der Nachweisgrenze des Messverfahrens ermittelt werden kann. In solchen Fällen wird die Nachweisgrenze des Messverfahrens mit vorgestellte „<"-Zeichen angegeben; die Anzahl solcher Messwerte im Datensatz ist in den Tabellen jeweils in der Spalte „nn" ausgewiesen. Für die statistische Auswertung der Messwerte in den zuvor genannten Regionen wird der Median als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet, weil die ermittelten Messwerte eher log-normalverteilt sind und der arithmetische Mittelwert daher nicht verwendet werden darf. Um dabei auch die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze einbeziehen zu können, wird das Verfahren nach „Helsel und Cohn" eingesetzt [1].

Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse der Messstellen der Bundesländer und der Leitstelle

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten von Fischen aus Binnenseen Nord- und Mitteldeutschlands (Abbildung B II 2.5-2) waren auch im Jahr 2021 deutlich höher als jene aus Fischteichen und Fließgewässern (Tabelle T II.50).

Die höchsten spezifischen Aktivitäten in Binnenseen wurden im Jahr 2021 in der Region Norddeutschland (11,9 Bq/kg) und 8,76 Bq/kg in Proben von Kaulbarschen (*Gymnecephalus cernuus*) aus dem Selenter See, gefolgt von einer Probe von Hechten (*Esox lucius*) (5,7 Bq/kg) aus dem Starnberger See in Bayern ermittelt (Tabelle T II.50). Der im Vergleich zu den Vorjahren deutlich niedrigere Median in der Region Mitteldeutschland ergibt sich daraus, dass im Jahr 2021 keine Messwerte für die Fische aus dem sachsen-anhaltinischen Arendsee oder dem Schollener See übermittelt wurden. In diesen beiden Seen wurden in den vergangenen Jahren die höchsten spezifischen Cs-137-Aktivitäten beobachtet, die seit dem Jahr 2007 von maximalen Cs-137-Aktivitäten bis zu 190 Bq/kg im Schollener See und 45 Bq/kg im Arendsee (siehe auch Jahresbericht 2007 [2]) auf Werte um 20 Bq/kg bis 15 Bq/kg zurückgegangen sind.

In Fischen aus Teichhaltung wurden seit dem Jahr 1990 regelmäßig höhere Cs-137-Mittelwerte in der Region Norddeutschland verglichen mit der Region Süddeutschland beobachtet (Abbildung B II 2.5-3). Die Verläufe der Cs-137-Werte von Proben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands über die Zeit unterscheiden sich allerdings nicht von denen derselben Gewässertypen Nord- und Süddeutschlands siehe (Abbildung B II 2.5-3 und Abbildung B II 2.5-4).

Für Forellen und Karpfen, die wirtschaftlich bedeutendsten Zuchtfischarten der Binnengewässer, wurden die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle T II.51 zusammengestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass Forellen bis 1999 weniger Cäsium enthielten als Karpfen; ab 1999 sind die festgestellten Unterschiede nicht mehr signifikant (vgl. Abbildung B II 2.5-5).

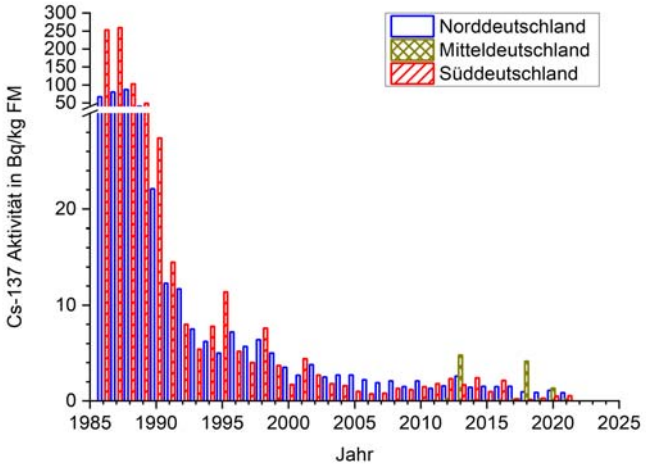


Abbildung B II 2.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

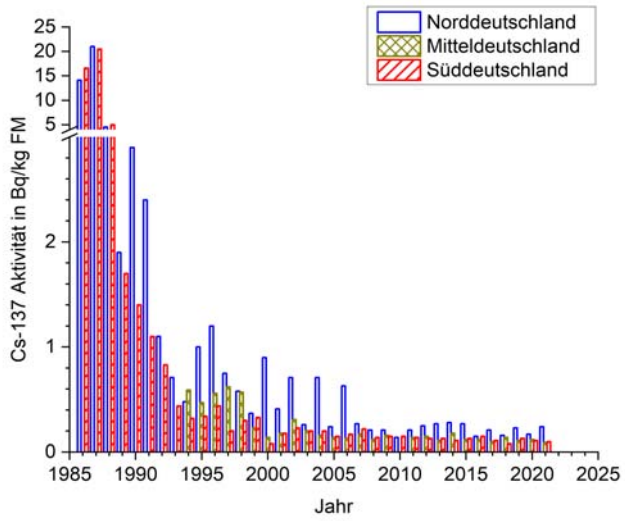


Abbildung B II 2.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

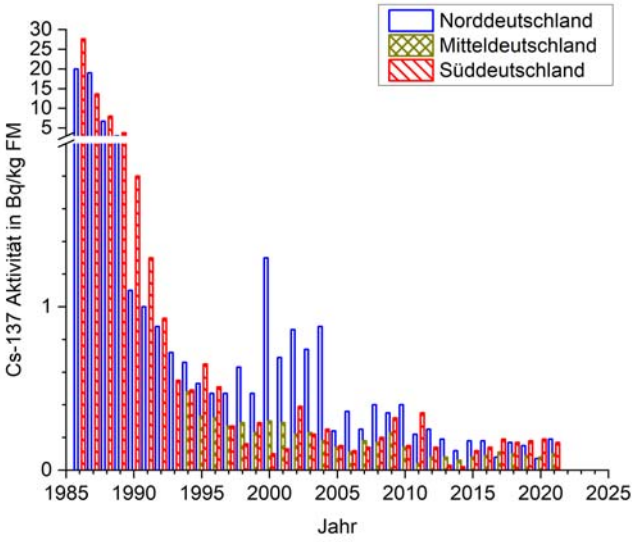


Abbildung B II 2.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

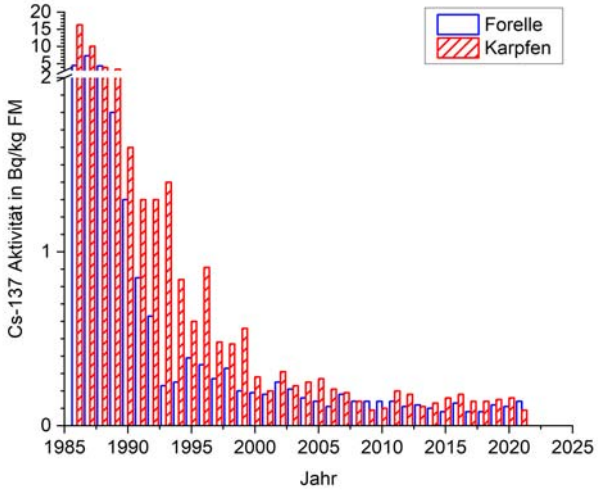


Abbildung B II 2.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout in Bq/kg WW)

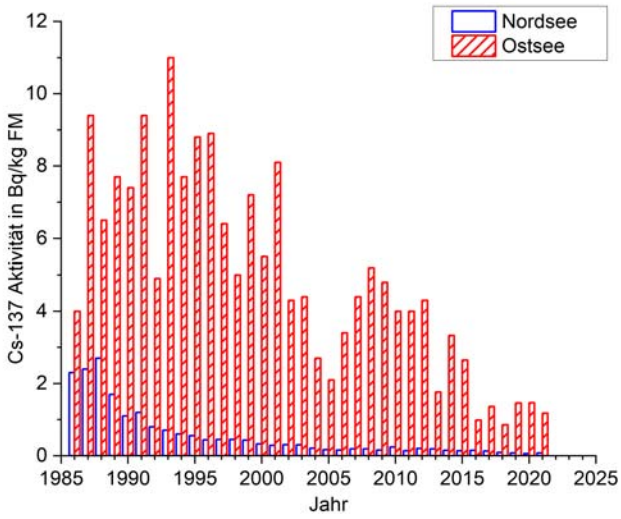


Abbildung B II 2.5-6
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM

(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In Tabelle T II.52 sind die mittleren spezifischen Cs-137-Aktivitätswerte für Biota aus der Nord- und Ostsee zusammengestellt. In Fischen aus der Nordsee blieben die Messwerte im Jahr 2021 unterhalb von 0,12 Bq/kg. Die mittlere Cs-137-Aktivität in Fischen der Nordsee beträgt 0,08 Bq/kg. Auch im Jahr 2021 waren die spezifischen Aktivitäten von Cs-137 in Fischen der Ostsee im Mittel höher als jene der Nordsee (Tabelle T II.52). Dies ist unter anderem mit dem höheren Wasseraustausch der Nordsee im Vergleich zur Ostsee erklärbar, wodurch der Eintrag von Cs-137 aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl in Fischen aus der Nordsee seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr nachweisbar ist (siehe Abbildung B II 2.5-6). Im Gegensatz dazu dominiert der Eintrag aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl noch immer die ermittelte Cs-137-Aktivität in Fischen aus der Ostsee. Die in Abbildung B II 2.5-6 festgestellte Variation der Jahresmittelwerte in Fischen der Ostsee geht im Wesentlichen auf den stark schwankenden Anteil von Proben aus der östlichen Ostsee (in diesem Fall östlich Rügen) zurück, in denen in vergangenen Jahren eine höhere Cs-137-Aktivität nachgewiesen wurde. Gleichzeitig spiegelt sich auch der Einstrom von Wasser aus der Nordsee in die Ostsee in den Messdaten wider. Insgesamt nähern sich die aktuellen Messwerte von Fischen aus der Ostsee den vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessenen Werten immer weiter an [3].

In Proben von Nordseegarnelen (*Crangon crangon*) und Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) von der Nordseeküste wurden im Jahr 2021 erstmals wieder Cs-137-Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt (vgl. Tabelle T II.52), nachdem für Garnelen seit dem Jahr 2006 und für Miesmuscheln seit dem Jahr 2013 ununterbrochen ausschließlich Werte darunter übermittelt wurden. Dennoch sind die Messwerte mit im Mittel 0,02 Bq/kg und 0,04 Bq/kg sehr niedrig.

Die ermittelten Mediane von Cs-137 lagen in Proben von Importen aus Fischerei und Aquakultur (Tabelle T II.53) im Jahr 2021 nur für See- und Süßwasserfische oberhalb der Nachweisgrenze, während alle Messungen an Krusten- und Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen als unterhalb der Nachweisgrenze dokumentiert wurden.

Wegen der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 werden Importe aus dem Pazifik zusätzlich separat betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der deutschen Landesmessstellen auf Cs-137 sind in Tabelle T II.54 zusammengestellt. Die im Jahr 2021 in Meeresfischen aus dem Pazifik nachgewiesenen Aktivitäten von Cs-137 lagen mit einem Median von <0,07 Bq/kg und einem Maximalwert von 0,27 Bq/kg in derselben Größenordnung wie die von Meeresfischen der Nordsee (Vergleich Tabelle T II.54 und Tabelle T II.52).

Die Ergebnisse der Sr-90-Analysen aus dem IMIS-Routinemessprogramm sind in Tabelle T II.55 aufgeführt. Insgesamt bewegen sich die nachgewiesenen spezifischen Sr-90-Aktivitäten auf einem sehr niedrigen Niveau. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass bereits geringfügige Änderungen der Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischproben einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen spezifischen Sr-90-Aktivitäten bewirken können.

Messergebnisse der Leitstelle im Routinemessprogramm

Während einer Ausfahrt mit dem Fischereiforschungsschiff (FFS) „Walther Herwig III“ und von kommerziellen Fischereibetrieben wurden Fisch-, Muschel- und Garnelenproben aus verschiedenen Seegebieten von Ost- und Nordsee genommen. Die bereits vorliegenden Ergebnisse sind in Tabelle T II.56 und Tabelle T II.57, geordnet nach Seegebieten, Art, Probentyp (Fischmuskulatur- oder Gesamtfischproben) und Radionukliden, zusammengestellt.

Die Messwerte von Cs-137 in Fischen aus der Nordsee unterscheiden sich kaum von den Hintergrundwerten (z. B. Grönlandsee oder Barentssee (siehe auch [4])). Auch die Messwerte von Sr-90 in Fischen aus Nord- und Ostsee befinden sich auf einem sehr niedrigen Niveau, obwohl die Aktivität in der Ostsee eine Zehnerpotenz höher als in der Nordsee ist. Die Ergebnisse der Analysen auf Transurane (Plutonium-Isotope und Americium-241) zeigen, dass die Aktivität

in Muscheln etwa eine Zehnerpotenz höher ist als die von Fischen und Garnelen. Im Vergleich zu Messwerten aus dem Monitoring-Programm des Vereinigten Königreiches aus dem Jahr 2020 [5] sind alle Messwerte aus Tabelle T II.56 um eine bis vier Größenordnungen geringer und bewegen sich damit auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Untersuchungen der kommenden Jahre werden zeigen, ob diese Verhältnisse bestätigt werden können.

Die Werte für Cs-137 in Wasserpflanzen (Tabelle T II.57) entsprechen, umgerechnet auf die Frischmasse, der Größenordnung der Aktivitäten in Fischen des jeweiligen Seegebietes. Auch sind die Aktivitäten der Transurane im Vergleich zu den Ergebnissen aus UK zwischen einer und fünf Größenordnungen niedriger, wobei einschränkend zu beachten ist, dass nur eine geringe Anzahl von Einzelmessungen durchgeführt wurde [5]. Auch hier bleibt abzuwarten, ob die Ergebnisse in den kommenden Jahren bestätigt werden können.

Literatur

[1] Kanisch G, Kirchhoff K, Michel R, Rühle H, Wiechen A: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/strlsch_messungen_dokum_genau.pdf

[2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2008: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2007, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100331975

[3] HELCOM, 2018: Thematic assessment of radioactive substances in the Baltic Sea, 2011-2015. Baltic Sea Environmental Proceedings No.151, 76 Seiten

[4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bonn 2016: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2014, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091514109

[5] Environment Agency, Food Standards Agency, Food Standards Scotland, Natural Resources Wales, Northern Ireland Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency (2021): Radioactivity in Food and the Environment, 2020. RIFE 26, 338 Seiten, https://www.sepa.org.uk/media/593789/rife26.pdf

2.5.6 Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz

Im Berichtsjahr 2021 wurden für 20 kerntechnische Anlagen Werte gamma-spektrometrischer Messungen (vor allem Cs-137) an 91Fischfiletproben und 12 Proben von Wasserpflanzen gemeldet. Die Proben stammen von 23 Fischarten bzw. ihren Mischungen inkl. „Friedfischen“ und „Raubfischen“ sowie Fischen ohne Angabe der Artbezeichnung. Ergebnisse von Sr-90-Messungen wurden für 11 Fischfiletproben berichtet. Die statistische Auswertung der Daten wurde, wie im vorangegangenen Kapitel 2.5.5 beschrieben, durchgeführt. Die spezifischen Aktivitäten verschiedener Radionuklide, die in Fischen und Wasserpflanzen ermittelt wurden, sind in Tabelle T II.58 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengestellt.

Die höheren Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus dem Greifswalder Bodden, die im Rahmen der Überwachung des Kernkraftwerks Greifswald genommen wurden, werden auf die höheren spezifischen Aktivitäten im Bereich der östlichen Ostsee zurückgeführt (siehe dazu auch Kapitel 2.5.5).

Bei den in Tabelle T II.58 enthaltenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide aus genehmigten Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen dienen, wurden, wie in den vorherigen Jahren, keine Auffälligkeiten festgestellt.

2.5.7 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung

Das vor und nach dem Tschernobyl Unfall deponierte Cs-137 in Lebensmitteln führte auch im Berichtsjahr zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Im Vergleich zu den Vorjahren vermindert sich die Aktivitätskonzentration von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit war Cs-134 nicht mehr nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befindet sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentration. Daten zu Weizen aus dem Inland (Tabelle T II.59) und aus Import (Tabelle T II.60), sonstige Getreide (Tabelle T II.61), Kalbfleisch (Tabelle T II.62), Rindfleisch (Tabelle T II.63), Schweinefleisch (Tabelle T II.64) und sonstiges Fleisch (Tabelle T II.65) finden sich im Tabellenteil. Ebenfalls niedrige Aktivitätskonzentrationen finden sich in Kartoffeln (Tabelle T II.67) und Gemüse (Tabelle T II.68). Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in einigen ausgewählten Lebensmitteln seit Beginn der Messungen 1960 findet sich in Tabelle T II.72.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle T II.66), Speisepilze (Tabelle T II.69) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle T II.70) und Blütenhonig (Tabelle T II.71). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden (Tabelle T II.72, Tabelle T II.73 und Tabelle T II.74).

In den Tabellen sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte aufgeführt. Bei den Messwerten fehlen in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keine Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<“ gekennzeichnet sind, die Realität, weil in der Berechnung zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

Gesamtnahrung

Die Beprobung der Gesamtnahrung (siehe Tabelle T II.73) dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrsfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittlung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2021 mit 0,25 Bq/(d·p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Abbildung B II 2.5-7 zeigt die Aktivitätszufuhr in Bq pro Tag (d) und Person (p) seit 1960.

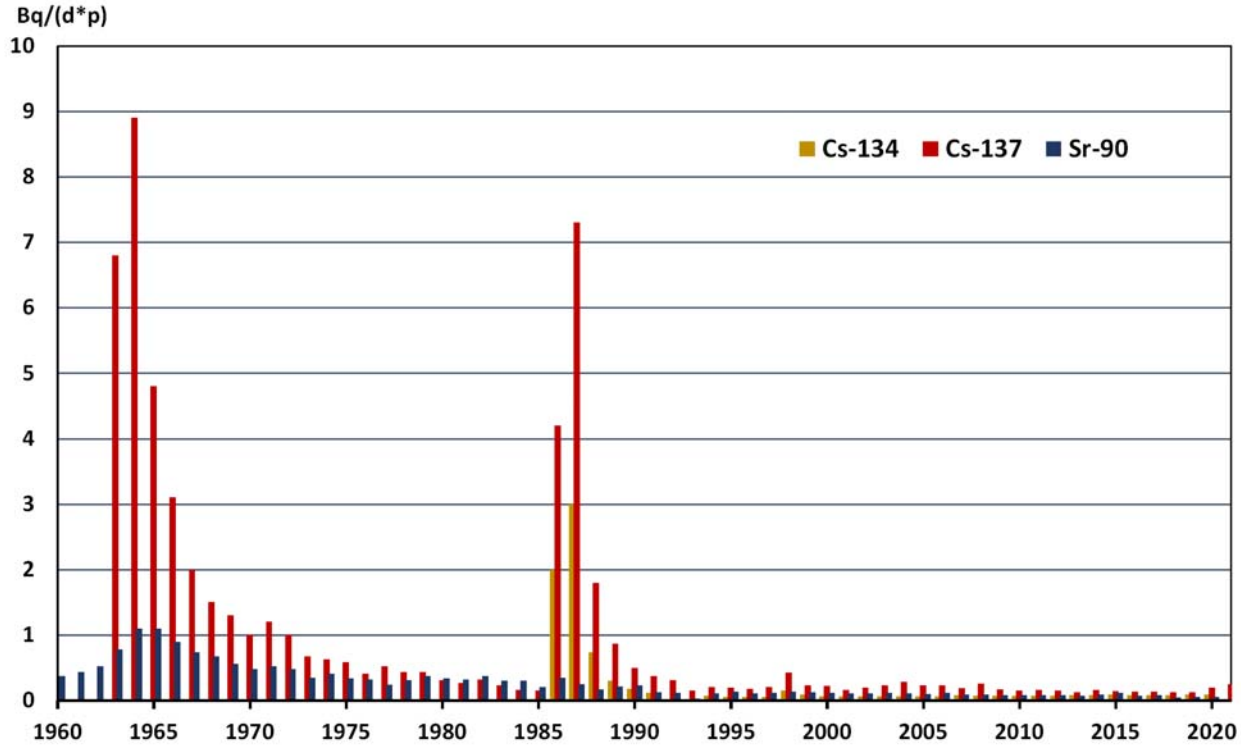


Abbildung B II 2.5-7 Jahresmittelwerte der Sr-90- , Cs-134- und Cs-137-Aktivitäten in der Gesamtnahrung (Annual mean values of Sr-90, Cs-137 and Cs-137 activities of whole diet)

Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,05 Bq/(d·p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Cs-137: 91,25 Bq/(a·p) (Vorjahr 91,25 Bq/(a·p))

Sr-90: 18,25 Bq/(a·p) (Vorjahr 21,80 Bq/(a·p))

2.5.8 Pflanzliche Lebensmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Die Aktivitätskonzentrationen in Pflanzen in der Umgebung von Anlagen nach Atomgesetz liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in Tabelle T II.75 und Tabelle T II.76, für Obst in Tabelle T II.77 und für Kartoffeln in Tabelle T II.78 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Für pflanzliche Lebensmittel liegen die nach dem Tschernobyl-Unfall deponierten Cäsium-137-Kontaminationen auf einem sehr niedrigen Niveau. Über die Jahre betrachtet verändern sich die Aktivitätskonzentration nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit ist Cäsium-134 nicht mehr in pflanzlichen Lebensmitteln nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befinden sich ebenfalls die Strontium-90-Aktivitätskonzentrationen.

2.6 Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände überwacht routinemäßig vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel und Tees dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt bei gammastrahlenden Radioisotopen, insbesondere Cäsium-137 (Cs-137), einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die spezifischen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 können je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erheblich variieren.

Im Jahr 2021 wurden zwei Proben und eine Sonderprobe untersucht. Die mit Cs-137 am höchsten kontaminierte Arzneimittelprobe war Islandmoos (Tabelle T II.79). In Tabelle T II.81 und Tabelle T II.82 sind die Messdaten von Islandmoos und Gänsefingerkraut von 2000 bis 2021 aufgelistet, in Tabelle T II.80 die Messdaten von Bitterkleeblättern. Bitterkleeblätter und Islandmoos zählten in den vergangenen Jahren zu den pflanzlichen Ausgangsstoffen mit den höchsten Cs-137-Kontaminationen.

Die spezifischen Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen 2021 mit maximal 680 Bq/kg bei Gänsefingerkraut und minimal 110 Bq/kg (TM) bei Islandmoos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten von K-40 schwanken im Wesentlichen entsprechend dem Kaliumgehalt der untersuchten Proben.

Zusätzlich werden in der Leitstelle auch stichprobenartig Sonderproben untersucht. Das Ergebnis für das Jahr 2021 ist in Tabelle T II.83 dargestellt.

2.7 Abwasser und Klärschlamm

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm wird auf den Grundlagenbericht, Kapitel II verwiesen.

Dem Bericht für das Jahr 2021 liegen die von den amtlichen Messstellen der Länder erhobenen Messergebnisse aus 92 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. als teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In Tabelle T II.84 sind die von der Leitstelle als plausibel und repräsentativ bewerteten Ergebnisse für K-40, Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90 sowie die Uranisotope U-234, U-235 und
U-238 aus der allgemeinen Überwachung der Umweltradioaktivität von Abwasser und Klärschlamm für das Jahr 2021 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als „kleiner Nachweisgrenze“ (NWG) bewertet wurden, der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ (<NWG) gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird. Zum Vergleich werden die Medianwerte des Vorjahres ebenfalls mit angegeben. Die im Rahmen der routinemäßigen Überwachung der Umweltradioaktivität im Abwasser nach Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspektrometrische Untersuchung, bezogen auf Co-60, für die Sr-90-Bestimmungen und für die Bestimmung von Alphastrahlern (Uran- und Plutoniumisotopen) jeweils 0,1 Bq/l, im Klärschlamm jeweils 5 Bq/kg TM. Zudem werden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung im Mindesten mit zu dokumentierenden Radionuklide Ru-103, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden die Messergebnisse für die jeweiligen Umweltbereiche berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.84 wird nicht vorgenommen.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm können in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten beträchtlich variieren. Die Messwerte im Jahr 2021 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1 300 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1 200 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 240 Bq/kg TM bzw. 220 Bq/kg TM (Vorjahr 190 Bq/kg TM bzw. 170 Bq/kg TM. Auf Grund der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf den Laborbetrieb konnte die Messstelle in Baden-Württemberg für das Berichtsjahr 2021 keine Bestimmung der Uranisotope und von Sr-90 an Klärschlammproben vornehmen. Des Weiteren konnte die Messstelle in Bremen kapazitätsbedingt erneut nicht vollumfänglich die Anforderungen des Messprogramms nach AVV IMIS für die Umweltbereiche Klärschlamm und Abwasser erfüllen.

Das in der oberen Atmosphäre durch Einwirkung der kosmischen Strahlung gebildete und daher an der Erdoberfläche allgegenwärtige kurzlebige Be-7 (Halbwertszeit: 53 Tage) wurde wie stets im Klärschlamm mit spezifischen Aktivitäten bis zu 1 800 Bq/kg TM (Vorjahr 1 500 Bq/kg TM) bestimmt.

In 25 % der Abwasserproben und 86 % der Klärschlammproben wurde das hauptsächlich aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammende Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 22 Bq/kg TM; Maximalwert: 330 Bq/kg TM; Vorjahr 26 Bq/kg TM bzw. 2 300 Bq/kg TM). In einzelnen Klärschlammproben konnten zudem das kurzlebige Technetium-99m (Tc-99m; Maximalwert: 786 Bq/kg TM), Indium-111 (In-111; Einzelwert: 9,4 Bq/kg TM), Lutetium-177 (Lu-177, Maximalwert: 2 470 Bq/kg TM, Samarium-153 (Sm-153, Einzelwert: 52 Bq/kg TM), Selen-75 (Se-75; Einzelwert: 1,1 Bq/kg TM) sowie das in der Produktion von Lu-177 unerwünscht entstehende langlebige Lu-177m (Maximalwert: 1,4 Bq/kg TM) bestimmt werden. Für den Umweltbereich Abwasser wurden Messergebnisse für Lu-177 in sieben Proben (Maximalwert: 15 Bq/l) und für Tc-99m in sechs Proben (Maximalwert: 0,51 Bq/l) übermittelt.

In vier Klärschlammproben der Kläranlage Hamburg-Köhlbrandhöft konnten Plutonium-239/240 (Pu-239/240; Maximalwert: 0,01 Bq/kg TM) und Plutonium-238 (Pu-238; Maximalwert: 0,006 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. Vereinzelt wurden auch Messwerte zu Pu-239/240 (Maximalwert: 0,0007-Bq/l, NWG: 0,001 Bq/l) und zu Pu-238 (Maximalwert: 0,003 Bq/ll) für Abwasserproben aus Brandenburg an der Havel, Cottbus und Hamburg übermittelt.

Von den in Folge der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1980 und der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten sind für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung. Das kurzlebigere Cs-134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre) war bis 2010 dagegen nicht mehr nachzuweisen. Infolge der Havarien mehrerer Reaktoren des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi konnten im Jahr 2011 in einigen wenigen Klärschlammproben erstmals auch wieder geringe Mengen an Cs-134 nachgewiesen werden (Maximalwert 2011: 1,4 Bq/kg TM). Mit einer Ausnahme im Berichtsjahr 2018 wurde in allen anderen Jahren seit 2012 kein Cs-134 mehr in Klärschlammproben bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Abwässern lag nahezu 100 % unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenze. Lediglich ein Messwert für die Cs-137-Aktivitätskonzentration wurde für die Kläranlage Ingolstadt mit 0,054 Bq/l angegeben. Der Median sämtlicher Werte lag bei <0,036 Bq/l (2020: <0,033 Bq/l). In 58 % der Proben konnte Sr-90 mit Werten zwischen 0,007 Bq/l und 0,06 Bq/l nachgewiesen werden. Der Median aller Ergebnisse beträgt <0,006 Bq/l (2020: 0,0078 Bq/l).

Die im Vergleich zu der Zeit vor der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl z. T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein. Deutliche Unterschiede in den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme können dabei bis heute auf den regional unterschiedlichen Eintrag radioaktiver Stoffe nach der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl in Folge der starken Niederschläge Anfang Mai 1986 zurückgeführt werden. Die höchsten Werte treten etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel auf. In Tabelle T II.84 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern.

Die im Jahresmittel höchsten Kontaminationen in Süddeutschland zeigten im Jahr 2021 - wie in allen vorherigen Berichtsjahren seit dem Tschernobyl-Ereignis - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg). Seit 2000 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten: 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71, 65, 56, 56, 47, 43, 46, 40, 31, 31, 25, 23, 31, 21, 20 und 22 Bq/kg TM.

In Abbildung B II 2.6-1 sind für alle Bundesländer die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme der letzten Jahre dargestellt.

In den vorangegangenen Jahren war eine kontinuierliche Abnahme der Kontamination der Klärschlämme zu erkennen. Ergaben Messungen des Klärschlamms im südlichen Bayern im Jahr 1988 noch einen Jahresmittelwert an Cs-137 von 970 Bq/kg TM, so schwanken die spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm seit 2007 zwischen 2 Bq/kg TM und 20 Bq/kg TM. Auf Grund dieses inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveaus der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen hauptsächlich durch die messtechnisch bedingten Unsicherheiten erklärbar.

Zur Bewertung der Klärschlammkontamination aus radioökologischer Sicht ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 22 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von etwa 4 Bq/m^2 Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zurzeit ca. 15 000 Bq/m^2 Cs-137 eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,05 %. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche berechnete Erhöhung der Cs-137-Aktivität durch den radioaktiven Zerfall von 2,3 % pro Jahr des bereits im Boden befindlichen Cs-137 in der Höhe um ein Vielfaches kompensiert wird.

2.8 Abfälle

Bezüglich allgemeiner Aspekte zur Radioaktivitätsüberwachung von Abfällen wird auf den Grundlagenbericht, Kapitel II verwiesen.

Die Leitstelle Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Abfälle und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen überprüft routinemäßig die im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) erhobenen Messdaten von Abfällen und wiederverwertbaren Reststoffen, die von radioökologischer Bedeutung sein könnten. Zu überwachen sind nach dem Messprogramm für den Normalbetrieb dabei folgende Medien:

- Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien,
- Asche, Schlacke, feste und flüssige Rückstände aus Rauchgasreinigungen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie
- in den Handel gelangender Kompost aus Kompostierungsanlagen.

Die im Jahr 2021 von den amtlichen Messstellen der Bundesländer übermittelten und von der Leitstelle als plausibel und repräsentativ bewerteten Daten für Co-60, Cs-137, I-131, K-40 und H-3 sind in Tabelle T II.85 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben, die als „kleiner Nachweisgrenze“ (NWG) bewertet wurden, der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert sowie der daraus ermittelte, arithmetische Mittelwert, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind. Zusätzlich wird der Median angegeben, bei dem das Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“ (<NWG) gleichrangig wie ein tatsächlicher Messwert (=NWG) berücksichtigt wird. Zum Vergleich werden die Medianwerte des Vorjahres ebenfalls mit angegeben. Die im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes in der routinemäßigen Überwachung geforderten Nachweisgrenzen betragen für die gammaspektrometrische Untersuchung der festen Medien 5 Bq/kg TM und für die flüssigen Medien 0,1 Bq/l, jeweilig bezogen auf Co-60. Für das Sickerwasser und oberflächennahe Grundwasser von Hausmülldeponien wird zusätzlich die Bestimmung von H-3 mit einer Nachweisgrenze von 10 Bq/l gefordert. Zudem werden die nach AVV-IMIS bei der gammaspektrometrischen Untersuchung mit im Mindesten zu dokumentierenden Radionuklide Ru-103, Cs-134 und Ce-144 überprüft. Sofern tatsächliche Messwerte für diese genannten Radionuklide erhoben wurden, werden sie für die jeweiligen Umweltbereiche berichtet. Eine ergänzende Ausweisung in Tabelle T II.85 wird nicht vorgenommen.

Für Cs-137 erfolgt in Tabelle T II.85 eine zusätzliche Differenzierung zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel, da diese etwa die Grenze zwischen den durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit auf Grund der geringen Menge an Datenpunkten im südlichen Raum jedoch nicht valide zu stützen ist, werden in der Auswertung die Daten des gesamten Bundesgebietes betrachtet.

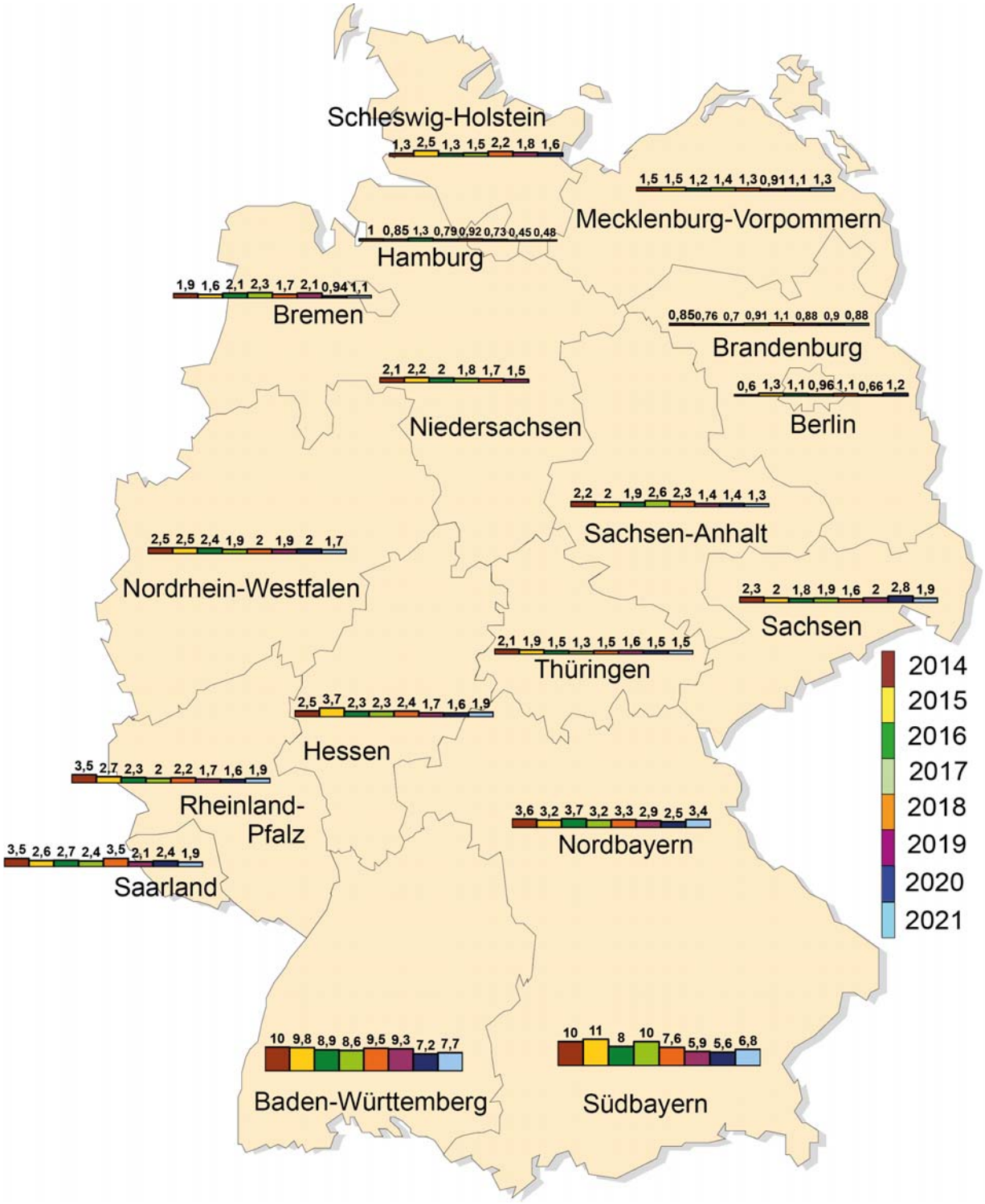


Abbildung B II 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)

(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** wurde in 34 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen. Die Werte der Cs-137-Aktivitätskonzentration liegen zwischen 0,005 Bq/l und 0,14 Bq/l (2020: 0,0042 Bq/l bis 0,22 Bq/l). Der Median aller Ergebnisse beträgt 0,04 Bq/l (2020: <0,042 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,26 Bq/l und 57 Bq/l gemessen und aus sämtlichen Ergebnissen ein Median von 9,9 Bq/l (2020: 0,20 Bq/l bis 62 Bq/l, Median: 10 Bq/l) berechnet.

H-3 wurde in 79 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 1,2 Bq/l und 190 Bq/l (2020: 1,5 Bq/l bis 180 Bq/l) nachgewiesen. Der Median liegt bei 14 Bq/l (2020: 17 Bq/l).

Bei den **Abfällen der Verbrennungsanlagen** ergibt sich folgendes Bild:

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche / Filterstaub** wurde in der Müllverbrennungsanlage Landshut mit 180 Bq/kg TM (2020: 130 Bq/kg TM ebenfalls in Landshut) gemessen. Der Median sämtlicher Ergebnisse wurde für Cs-137 mit 16 Bq/kg TM (2020: 16 Bq/kg TM) bestimmt.

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 330 Bq/kg TM bis 5 200 Bq/kg TM, der Median aller mitgeteilten Ergebnisse bei 1 100 Bq/kg TM (2020: 290 Bq/kg TM bis 3 400 Bq/kg TM, Median: 1 100 Bq/kg TM).

Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 sind ausschließlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze, der Median beträgt <0,37 Bq/kg TM (2020: <0,44 Bq/kg TM).

In 17 von insgesamt 51 Proben wurde das aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammende Radionuklid I-131 mit Werten von 0,20 Bq/kg TM bis 42 Bq/kg TM bestimmt. Der Median aller I-131-Ergebnisse beträgt <0,74 Bq/kg TM (2020: <1,0 Bq/kg TM).

In vereinzelten Proben konnten die ebenfalls in der Nuklearmedizin zum Einsatz kommenden Radionuklide Lutetium-177 (Lu-177; Maximalwert: 170 Bq/kg TM), Technetium-99m (Tc -99m; Maximalwert: 173 Bq/kg TM) und Rhenium-186 (Re-186; Einzelwert: 8,5 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt die maximale bestimmte spezifische Aktivität von Cs-137 19 Bq/kg TM (2020: 25 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse liegt bei 1,4 Bq/kg TM (2020: 1,4 Bq/kg TM).

In allen Proben konnte K-40 mit spezifischen Aktivitäten zwischen 130 Bq/kg TM und 1 200 Bq/kg TM (2020: 110 Bq/kg TM bis 1 400 Bq/kg TM) gemessen werden.

Für den Berichtszeitraum sind alle Co-60-Werte als „kleiner Nachweisgrenze“ bewertet worden. Der Median aller Ergebnisse beträgt wie im Vorjahr <0,23 Bq/kg TM.

Für I-131 wurden für 14 von 75 Proben Messergebnisse im Bereich von 5,2 Bq/kg TM bis 44 Bq/kg TM (2020: 0,2 Bq/kg TM bis 14 Bq/kg TM) ausgewiesen. In 16 Proben der Klärschlammverbrennungsanlage Berlin-Ruhleben wurde das kurzlebige Radionuklid Lu-177 (Maximalwert: 1 590 Bq/kg TM) und in vereinzelten Proben Tc-99m (Maximalwert: 49 Bq/kg TM) und Indium 111 (In-111; Maximalwert: 0,58 Bq/kg TM) nachgewiesen. Zudem konnte Lu-177 in zwei Proben der Hausmüllverbrennungsanlage Mannheim bestimmt werden (Maximalwert: 11-Bq/kg TM).

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Gips und Sorptionsprodukte) konnte in 70 % der untersuchten Proben Cs-137 nachgewiesen werden. Der größte bestimmte Messwert lag bei 52 Bq/kg TM (2020: 51 Bq/kg TM). Der Median sämtlicher Ergebnisse im Bundesgebiet beträgt 1,8 Bq/kg TM (2020: 2,3 Bq/kg TM).

Die spezifischen K 40-Aktivitäten liegen im Bereich von 1,8 Bq/kg TM bis 1 700 Bq/kg TM (2020: 2,9 Bq/kg TM bis 2 200 Bq/kg TM) mit einem Median sämtlicher Ergebnisse von 260 Bq/kg TM (2020: 320 Bq/kg TM).

Für I-131 wurden in 60 % der Proben spezifische Aktivitäten von 0,19 Bq/kg TM bis 150 Bq/kg TM (2020: 0,38 Bq/kg TM bis 310 Bq/kg TM) bestimmt. In drei Proben wurden zudem Lu-177 (Maximalwert: 19 Bq/kg TM) und in zwei Proben Selen-75 (Se-75; Maximalwert: 1,8 Bq/kg TM) nachgewiesen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 sind ausschließlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze. Für das Jahr 2021 wurde ein Median von <0,30 Bq/kg TM (2020: <0,32 Bq/kg TM) berechnet.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** wurden Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 zwischen 0,014 Bq/l und 3,1 Bq/l (2020: 0,030 Bq/l bis 3,9 Bq/l) angegeben. Der Median aller Ergebnisse liegt bei <0,091 Bq/l (2020:<0,093 Bq/l).

Für Co-60 wurden alle Werte als „kleiner Nachweisgrenze“ gemeldet. Der Median für den Berichtszeitraum 2021 liegt bei <0,071 Bq/l (2020: 0,062 Bq/l).

I-131 wurde in 23 von 31 untersuchten Proben mit Aktivitätskonzentrationen zwischen 0,17 Bq/l und 190 Bq/l (2020: 0,24 Bq/l und 280 Bq/l) bestimmt; ein Median von 1,0 Bq/l (2020: 0,98 Bq/l) wurde über sämtliche Werte ermittelt. Eine Probe aus der Klärschlammverbrennungsanlage Berlin-Ruhleben enthielt Se-75 (Einzelwert: 0,021 Bq/l) und in einer Probe aus der Verbrennungsanlage Eschbach wurde Iod-125 (I-125; Einzelwert: 0,61 Bq/l) nachgewiesen.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für Cs-137 spezifische Aktivitäten zwischen 1,5 Bq/kg TM und 23 Bq/kg TM (2020: 1,8 Bq/kg TM bis 40 Bq/kg TM). Der Median aller Ergebnisse beträgt 4,1 Bq/kg TM (220: 4,3 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 160 Bq/kg TM bis 690 Bq/kg TM, der Median aller erhobenen Daten bei 480 Bq/kg TM (2020: 220 Bq/kg TM bis 930 Bq/kg TM, Median: 510 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Inwiefern dieser zusätzlich aufgebrachte Kompost zu einer signifikanten Erhöhung der Cs-137-Aktivität im angebauten Produkt führen kann, hängt nicht nur von der Cs-137-Aktivitätskonzentration im Kompost und im Boden ab. Vielmehr beeinflussen chemische, physikalische und biologische Prozesse im Boden, phy-

siologische Prozesse in der Pflanze selbst sowie externe Faktoren wie Klima oder Bodenbearbeitungspraxen, in welcher Größenordnung Cs-137 in einer Pflanze angereichert werden kann [1, 2]. In der Literatur sind Transferfaktoren Boden-Pflanze für Böden mit hohem Anteil an organischer Substanz tendenziell höher angegeben als für ton- bzw. lehmhaltige Böden [1, 2, 3]. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (s. Seite 145) differenziert in diesem Zusammenhang nicht und gibt unabhängig von Bodentyp und Pflanze einen Transferfaktor von 0,05 an. Vorausgesetzt, eine Pflanze würde auf einem Boden, nur bestehend aus dem maximal mit Cs-137 angereicherten Kompost von 23 Bq/kg TM, angepflanzt werden, so würde das nach den Berechnungsvorgaben der AVV zu § 47 StrlSchV zu einer Aktivitätskonzentration in der Pflanze von bis zu 1,2 Bq/kg FM führen. Wäre die Pflanze als Importprodukt für den Handel in Deutschland vorgesehen, so würde dieses den für landwirtschaftliche Erzeugnisse (ausgenommen Milch und Kleinkindnahrung) in der EU-Verordnung (Nr. 733/2008 und Nr. 1048/2009 (s. Seite 147) hinterlegten Grenzwert von 600 Bq/kg für Cs-137 bezogen auf die Frischmasse weit unterschreiten. Berechnet man die Dosis anhand der maximal aufgenommenen Aktivitätskonzentration von 2,0 Bq/kg FM in der Pflanze (Annahme: Wurzelgemüse, Kartoffel, Säfte) für die Altersgruppe <1 a und den Erwachsenen (>17 a), würde man Werte von 2,2 und 2,5 µSv/a erhalten (s. Seite 145). Diese Werte liegen deutlich unterhalb der mittleren jährlichen Strahlenexposition aus natürlichen Quellen von 2 100 µSv in Deutschland. Somit würde die Nutzung des Kompostes bzw. der Verzehr des angebauten Produktes keine gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung darstellen.

Literatur

[1] Rigol A, Vidal M, Rauret G: An overview of the effect of organic matter on soil-radiocaesium interaction: implications in root uptake. Journal of Environmental Radioactivity (58): 191-216, 2002

[2] Ehlken S, Kirchner G: Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review. Journal of Environmental Radioactivity (58): 97-112, 2002

[3] IAEA Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series 472: 47-48, Vienna 2010

2.9 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Seit dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 werden an der Inkorporationsmessstelle des Bundesamtes für Strahlenschutz in München (Neuherberg) monatlich Ganzkörpermessungen an einer Referenzgruppe der Bevölkerung zur Bestimmung der Körperaktivitäten von Cs-137 durchgeführt. Mittlerweile kann beim Großteil der gemessenen Personen kein Cs-137 mehr nachgewiesen werden (im Jahr 2021 an 83 % der Frauen und 68 % der Männer). Bei den übrigen Personen konnte eine besonders große Körperaktivität bei einer Person wenige Tage nach dem Verzehr eines Pilzgerichts gemessen werden (8,3 Bq/kg bzw. 650 Bq). Bei den übrigen Personen reichten die Körperaktivitäten bis zu 0,98 Bq/kg bzw. 75 Bq bei Frauen und bis zu 2,7 Bq/kg bzw. 239 Bq bei Männern (Abbildung B II 2.9-1). Die maximal gemessenen Körperaktivitäten verursachen äußerst geringe Beiträge zur effektiven Dosis im Bereich von wenigen Mikrosievert pro Jahr.

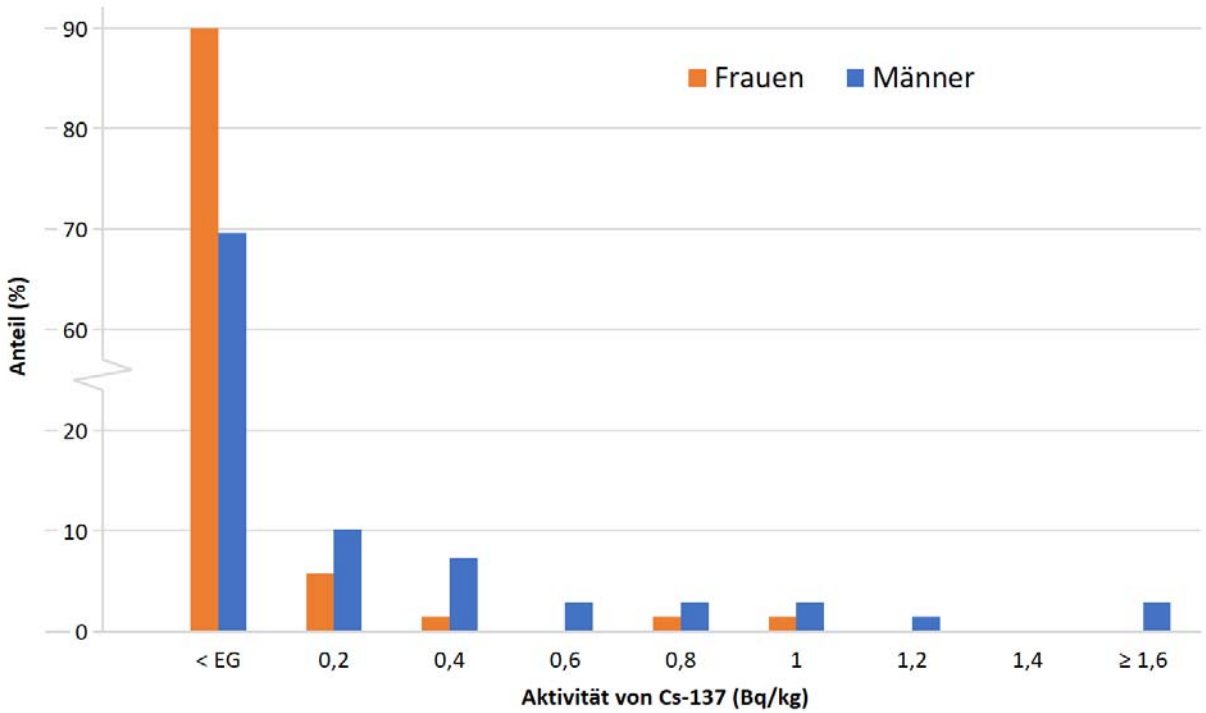


Abbildung B II 2.9-1 **Häufigkeitsverteilung der Körperaktivitäten von Cs-137 in der Bevölkerung, die im Jahr 2021 in der Inkorporationsmessstelle des BfS in München gemessen wurde.**
EG: Erkennungsgrenze des Messverfahrens bei ca. 0,15 Bq; darunter kann kein Cs-137 identifiziert werden.

(Frequency distribution of Cs-137 body activities in the population that were measured at the internal monitoring laboratory of the BfS in Munich in the year 2021
EG: decision threshold of the measurement method at ca. 0.15 Bq; Cs-137 cannot be identified below that value)

III BERUFLICHE EXPOSITIONEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Erfassung und Auswertung von Daten über berufliche Expositionen in Deutschland

Daten über berufliche Expositionen werden im Strahlenschutzregister (SSR) des BfS zentral erfasst und personenbezogen zusammengeführt. Zweck der Datenerfassung ist die Überwachung der gesetzlichen Dosisgrenzwerte und der Beachtung der Strahlenschutzgrundsätze. Des Weiteren dienen die erfassten Expositionsdaten der Prüfung des Bestehens eines Anspruchs gegen einen Träger der gesetzlichen Unfallversicherung sowie zum Zweck der wissenschaftlichen Forschung im Bereich des Strahlenschutzes.

1.1 Erfasste Daten

Berufliche Expositionen sind Expositionen, die vor allem bei der Ausübung von Tätigkeiten gemäß § 4 StrlSchG anfallen. Dies betrifft alle geplanten Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit dem Umgang mit Strahlungsquellen stehen. Hierzu zählen z. B. Expositionen, die beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder mit Bestrahlungsanlagen auftreten, aber auch die Exposition des fliegenden Personals durch kosmische Strahlung.

Berufliche Expositionen können jedoch nicht nur in geplanten, sondern auch in bestehenden Expositionssituationen auftreten. Hier sind insbesondere die Arbeitsplätze mit erhöhter Exposition durch Radon oder durch radioaktive Altlasten zu nennen.

Neben den beruflichen Expositionen werden im SSR in geringem Umfang auch Expositionen aufgenommen, die u. U. nach dem Gesetz nicht zu den beruflichen Expositionen zählen, nämlich wenn diese von Personen stammen, die sich freiwillig (vorsorglich) überwachen lassen. Da freiwillig überwachte Personen, Beschäftigte an Radon-Arbeitsplätzen sowie Einsatzkräfte, die ausschließlich in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage eine Exposition erhalten, nach dem Gesetz nicht als beruflich exponierte Personen gelten, wurden alle im SSR registrierten Personen in diesem Bericht unter dem Oberbegriff „**strahlenschutzüberwachte Personen**“ zusammengefasst.

Im Jahr 2021 wurden im SSR ca. 418 000 strahlenschutzüberwachte Personen erfasst. Diese wurden in diesem Bericht gemäß ihrer beruflichen Tätigkeiten in folgende Berufsgruppen gruppiert: Medizin, Kerntechnik, Allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, Fliegendes Personal, Altlasten, Radon.

1.2 Datenermittlung und Auswertung

Die Ermittlung der infolge beruflicher Exposition angefallenen Dosiswerte erfolgt je nach Art der Exposition, nämlich nach äußerer Exposition, innerer Exposition, Exposition durch kosmische Strahlung und Exposition durch Radon.

Die Überwachung der äußeren Exposition wird von vier behördlich bestimmten Personendosismessstellen durchgeführt. Da die Schutzgrößen "effektive Dosis" bzw. "Organ-Äquivalentdosis" nicht direkt gemessen werden können, werden bei äußerer Exposition operative Messgrößen (Tiefen-Personendosis, Oberflächen-Personendosis, etc.) genutzt. Diese können mittels amtlicher Personendosimeter (Ganzkörper- bzw. Teilkörperdosimeter) direkt gemessen werden und dienen dann als Maß für die entsprechenden Schutzgrößen. Die Dosimeter sind an repräsentativen Stellen an der Körperoberfläche zu tragen und werden in der Regel einmal pro Monat ausgewertet. Die Messwerte der amtlichen Ganzkörperdosimeter werden dem SSR mit einer Genauigkeit von 0,1 mSv, diejenigen der Teilkörperdosimeter mit einer Genauigkeit von 1 mSv mitgeteilt. Bei Messwerten unterhalb von 0,05 mSv für Ganzkörperdosimeter, bzw. 0,5 mSv bei Teilkörperdosimetern, wird dem SSR ein Dosiswert von 0,0 mSv gemeldet. Eine gesonderte Rundungsregel gilt bei der Messung der Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse mittels spezieller Augenlinsendosimeter. Die Messwerte der amtlichen Augenlinsendosimeter werden dem SSR mit einer Genauigkeit von 0,1 mSv gemeldet, wobei die untere Meldeschwelle bei 0,25 mSv liegt.

Die Überwachung der inneren Exposition des überwachten Personals wird von behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen übernommen. Im Jahr 2021 gab es in Deutschland 14 dieser Messstellen. Die Ermittlung der inneren Exposition wird regelmäßig oder bei besonderen Anlässen durchgeführt, wobei Ausscheidungs- und Ganzkörpermessungen durchgeführt oder auch Raumluftaktivitätsmessungen herangezogen werden. Auf Basis dieser Messungen werden dann mit Hilfe biokinetischer und dosimetrischer Modelle die effektive Dosis bzw. die Organ-Äquivalentdosis ermittelt. Personen, die auf Inkorporation überwacht werden, unterliegen in der Regel auch der Personendosisüberwachung und können aus allen Bereichen stammen, in denen mit künstlichen Radionukliden umgegangen wird. In Deutschland wurden im Jahr 2021 von den Inkorporationsmessstellen 1051 Personen (Vorjahr: 1116) überwacht. Die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,011 Personen-Sv. Die höchste effektive Jahresdosis infolge von Inkorporation lag bei 2,93 mSv. Von den 1051 Überwachten hatten lediglich 42 Personen Dosiswerte größer null. Dem Wert null zugeordnet werden Messergebnisse unter der Erkennungsgrenze der Aktivität sowie unter einer berechneten effektiven Dosis von 0,05 mSv.

Für die Überwachung der Exposition des fliegenden Personals durch kosmische Strahlung wird die effektive Dosis durch spezielle vom Luftfahrt-Bundesamt anerkannte Computerprogramme berechnet. Die für die Zulassung erforderliche Prüfung dieser Rechenprogramme übernimmt das BfS. Die Programme ermitteln auf der Basis von physikalischen Messungen (z. B. der Neutronenflussdichte) und anhand der Flugdaten (Start- und Zielflughafen, Flugdauer und -höhe, Datum) die effektive Dosis, die aus dem jeweiligen Flug resultiert. Das SSR erhält die Dosiswerte in Form von Monatswerten.

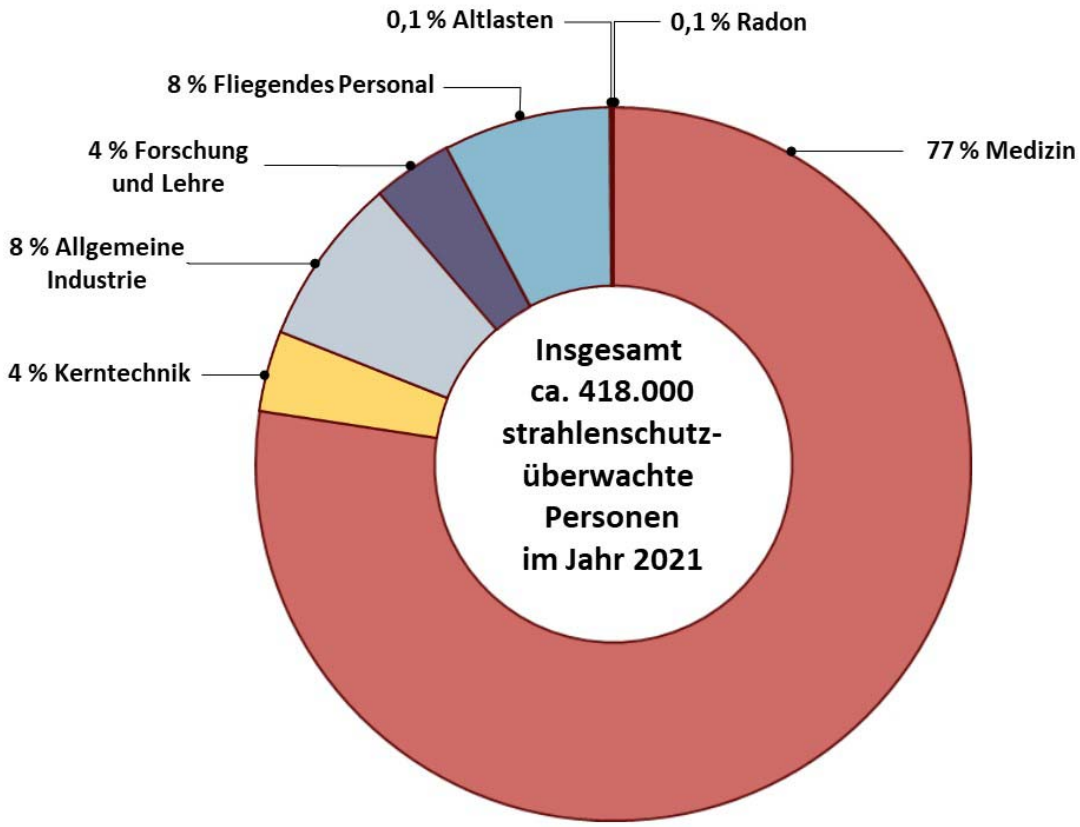


Abbildung B III.2-1 Strahlenschutzüberwachte Personen im Jahr 2021
(Monitored persons in the year 2021)

Personen, die in ihrem Arbeitsumfeld einer erhöhten Exposition durch Radon ausgesetzt sind, unterliegen unter bestimmten Bedingungen ebenfalls der beruflichen Strahlenschutzüberwachung. An welchen Arbeitsplätzen und unter welchen Bedingungen die Exposition durch Radon überwacht werden muss, ergibt sich aus einem im Strahlenschutzgesetz (§§ 126-132) festgelegten mehrstufigen Prozess. Dabei wird an sogenannten Radon-Arbeitsplätzen insbesondere die durch Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten verursachte Exposition und die daraus resultierende effektive Dosis betrachtet.

Für viele Personen liegt der während eines Überwachungsintervalls ermittelte Dosiswert unterhalb der Nachweisgrenze des einzelnen Messverfahrens. In diesem Fall wird dem SSR ein Wert von 0,0 mSv gemeldet. Liegt mindestens ein pro Überwachungsintervall ermittelter Dosiswert oberhalb der Nachweisgrenze bzw. wird für eine Person ein Dosiswert von mehr als 0,0 mSv an das SSR gemeldet, so wird die Person in diesem Bericht zu den „**messbar exponierten Personen**“ gezählt.

2. Auswertungen aus dem Strahlenschutzregister

2.1 Anzahl strahlenschutzüberwachter und messbar exponierter Personen

Im Jahr 2021 umfasste die Überwachung beruflicher Expositionen in Deutschland insgesamt ca. 418 000 Personen aus den Berufsgruppen Medizin, Kerntechnik, Allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, Fliegendes Personal, Altlasten und Radon (Abbildung B III.2-1). Mit 77 % stellte der medizinische Bereich den mit Abstand größten Anteil der strahlenschutzüberwachten Personen. An zweiter Stelle standen gleichauf mit jeweils 8 % die Beschäftigten der allgemeinen Industrie und das fliegende Personal. Die Bereiche Forschung und Lehre sowie Kerntechnik machten im Jahr 2021 jeweils 4 % aller strahlenschutzüberwachten Personen aus. Die kleinsten Gruppen bildeten 2021 die Beschäftigten aus den Bereichen Altlasten (0,1 %) und Radon (0,1 %).

Nicht alle strahlenschutzüberwachten Personen wurden auch tatsächlich, das heißt zumindest „messbar exponiert“. So wurden nur bei etwa einem Viertel der strahlenschutzüberwachten Personen innerhalb eines Kalenderjahres Dosiswerte über der Nachweisgrenze bzw. größer als 0,0 mSv ermittelt. Hierbei wurden sowohl die effektive Dosis als auch die Organ-Äquivalentdosis berücksichtigt. Demnach wurden von den insgesamt etwa 418 000 strahlenschutzüberwachten Personen im Jahr 2021 ca. 102 000 Personen im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit messbar exponiert (Ganzkörper- und Teilkörperexposition). Davon haben ca. 99 000 Personen mindestens eine messbare effektive Dosis erhalten. Die

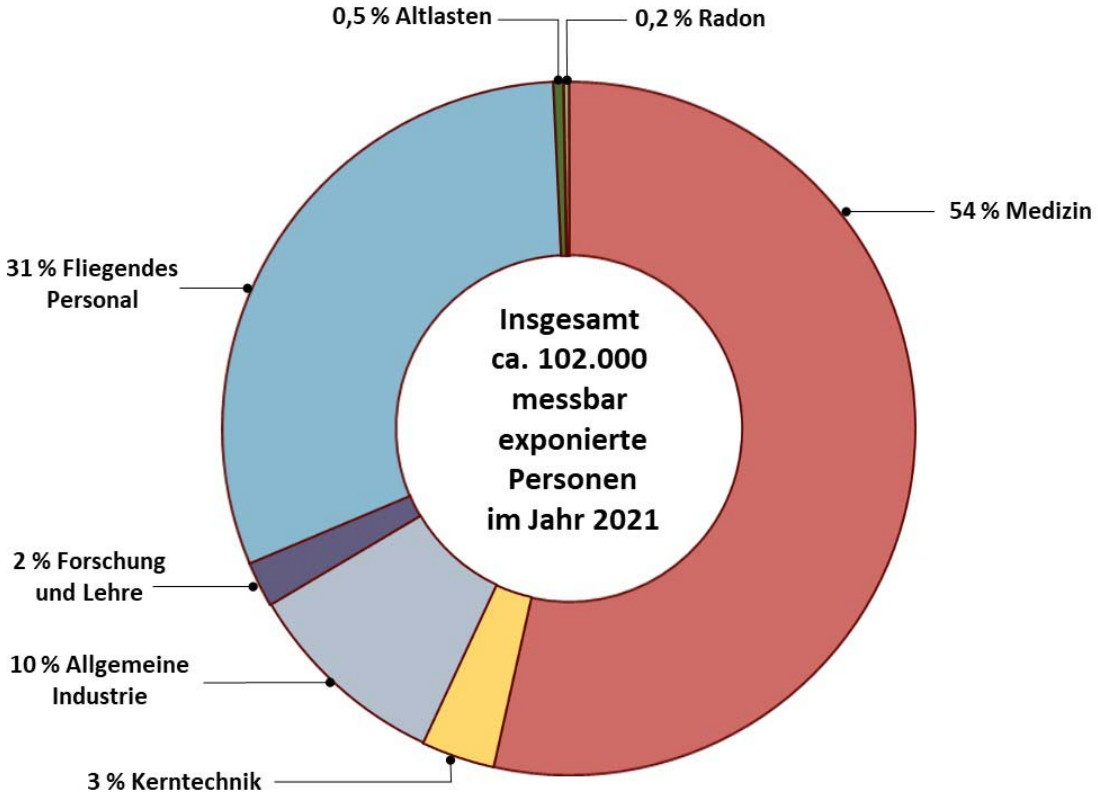


Abbildung B III .2-2 **Messbar exponierte Personen im Jahr 2021 in Bezug auf Ganzkörper- und Teilkörperexposition**
(Measurably exposed persons in the year 2021 regarding whole body and extremity exposure)

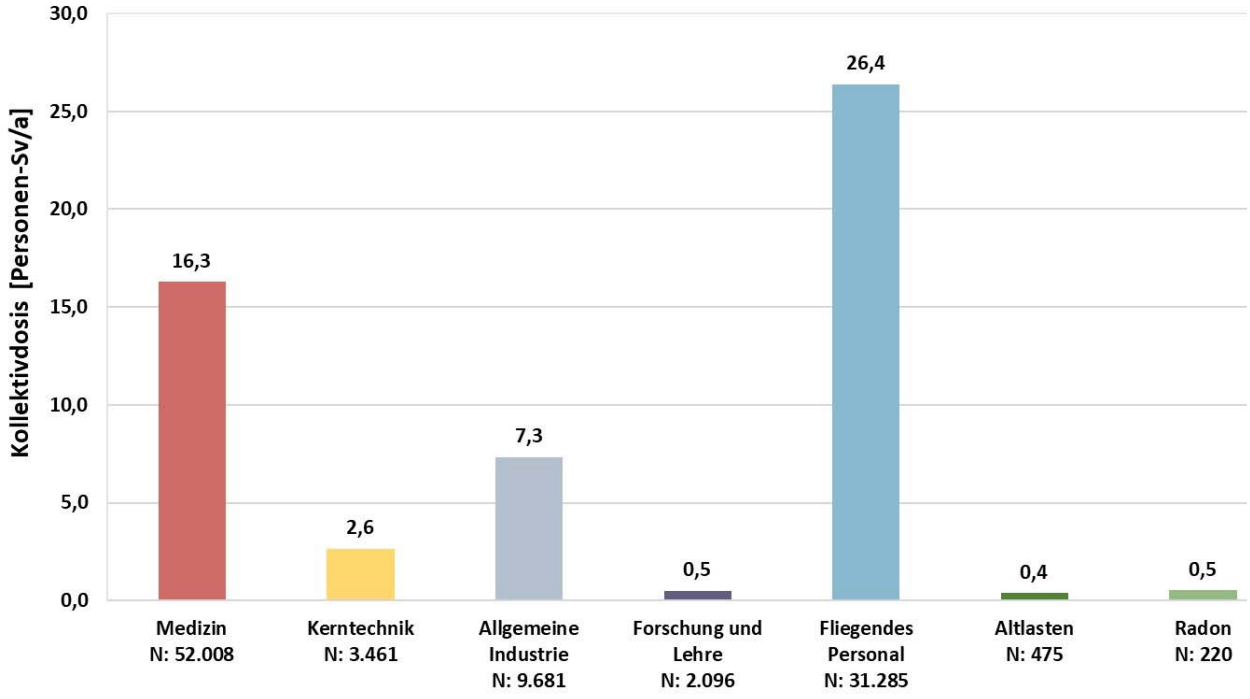


Abbildung B III.2-3 **Kollektivdosis der messbar exponierten Personen im Jahr 2021; N = Anzahl der Personen.**
(Collective dose of measurably exposed persons in the year 2021; N = number of persons.)

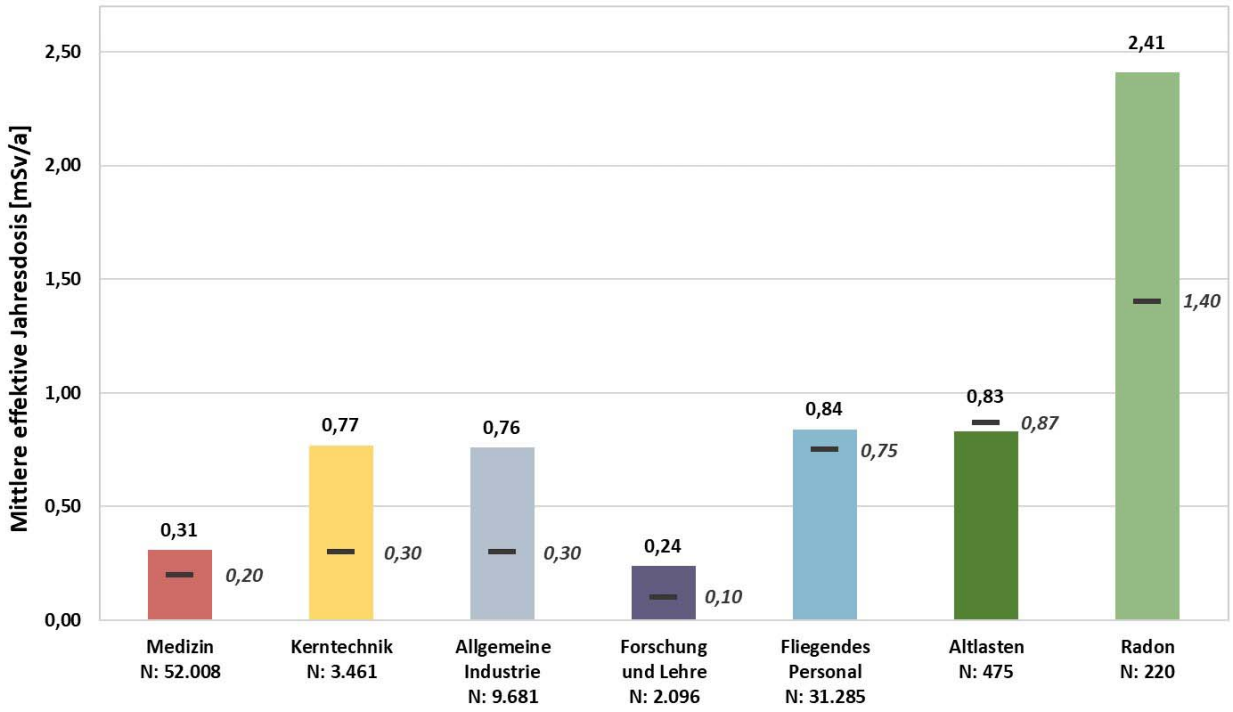


Abbildung B III.2-4 **Mittlere effektive Jahresdosis der messbar exponierten Personen im Jahr 2021; N = Anzahl der Personen; Querstrich = Median.**
(Mean effective annual dose of measurably exposed persons in the year 2021; N = number of persons; horizontal line = median.)

restlichen ca. 3 000 Personen wiesen eine messbare Organ-Äquivalentdosis, jedoch keine messbare effektive Dosis auf.

Abbildung B III .2-2 zeigt die Anteile der Gesamtgruppe der messbar exponierten Personen im Jahr 2021. Davon waren etwa 55 000 Personen (54 %) dem Bereich der Medizin und ca. 31 000 Personen (31 %) dem fliegenden Personal zuzuordnen, die damit die beiden größten Beschäftigungsgruppen darstellen, wenn allein die messbaren Expositionswerte betrachtet werden.

2.2 Die Kollektivdosis

Im folgenden Balkendiagramm (Abbildung B III.2-3) ist die Kollektivdosis für verschiedene Beschäftigungsgruppen in Personen-Sv im Jahr 2021 dargestellt. Die Kollektivdosis wurde berechnet als Summe der effektiven Dosen aller messbar exponierten Personen der jeweiligen Beschäftigungsgruppe pro Kalenderjahr. Demnach erhielt das fliegende Personal mit 26,4 Personen-Sv (für ca. 31 000 Personen) knapp die Hälfte des im Jahr 2021 erfassten Gesamtwerts von 54,1 Personen-Sv bei. Dabei ist bemerkenswert, dass dieser Anteil im Jahr 2019 noch bei zwei Drittel des Gesamtwerts lag, während sich die Kollektivdosen der übrigen Beschäftigungsgruppen kaum verändert haben. Dieser drastische Rückgang der Kollektivdosis beim Flugpersonal ab dem Jahr 2020 ist durch die COVID-19-Pandemie zu erklären, die insgesamt einen deutlichen Einbruch des Flugverkehrs ausgelöst hat.

2.3 Die mittlere effektive Jahresdosis

Abbildung B III.2-4 zeigt die mittlere effektive Jahresdosis pro Berufsgruppe für das Jahr 2021. Sie wurde berechnet aus dem Quotienten der Jahreskollektivdosis und der Anzahl der messbar exponierten Personen der jeweiligen Berufsgruppe. Für Arbeitsplätze im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen (Medizin, Kerntechnik, Allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, Fliegendes Personal) kann festgestellt werden, dass die individuellen beruflichen Expositionen im Vergleich zur mittleren natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung (2,1 mSv pro Person und Jahr) auf einem niedrigen Niveau liegen. So lag 2021 die mittlere effektive Jahresdosis für messbar exponierte Beschäftigte aus dem Bereich Medizin bei 0,31 mSv, aus dem Bereich Kerntechnik bei 0,77 mSv, aus der allgemeinen Industrie bei 0,76 mSv, aus dem Bereich Forschung und Lehre bei 0,24 mSv sowie für fliegendes Personal bei 0,84 mSv.

Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass beim fliegenden Personal in der Vergangenheit deutlich höhere mittlere Jahresdosiswerte aufgetreten sind. Das Jahr 2021 stellt jedoch wie bereits das Jahr 2020 aufgrund der COVID-19-Pandemie eine Sondersituation dar, so dass auch in diesem Jahr ein außerordentlich niedriger Wert für die mittlere effektive Jahresdosis beim fliegenden Personal zu verzeichnen war. Zum Vergleich: im Jahr 2019 lag dieser Wert noch bei 1,82 mSv.

Von den Personen, die im Rahmen einer bestehenden Expositionssituation im Jahr 2021 dosimetrisch überwacht wurden, wiesen Beschäftigte im Bereich der Altlasten-Sanierung eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,83 mSv und Personen an Radon-Arbeitsplätzen einen Wert von 2,41 mSv auf. Damit traten im Bereich Radon im Durchschnitt pro Person deutlich höhere Dosiswerte auf als bei allen anderen Berufsgruppen. Dies ist damit zu erklären, dass bei Radon die verpflichtende dosimetrische Überwachung erst ab einer möglichen effektiven Jahresdosis von 6 mSv einsetzt, bei allen anderen Berufsgruppen bereits ab 1 mSv. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass die Exposition durch Radon an Arbeitsplätzen ein relevantes Thema für den beruflichen Strahlenschutz darstellt.

Neben dem arithmetischen Mittel der effektiven Jahresdosis ist in Abbildung B III.2-4 für die einzelnen Beschäftigungsgruppen ebenfalls der Median als Querstrich innerhalb der Säulen angegeben. Das bedeutet, dass 50 % der Beschäftigten der jeweiligen Gruppe eine geringere individuelle effektive Jahresdosis als der Wert des Medians und die übrigen 50 % eine höhere individuelle effektive Jahresdosis erhalten haben. Wie sich zeigt, ist der Wert des Medians bei allen Beschäftigungsgruppen geringer als der Wert für die mittlere effektive Jahresdosis. Daraus lässt sich schließen, dass die Dosisverteilung in allen Beschäftigungsgruppen zu kleineren Dosiswerten hin verschoben ist. Dies ist insbesondere für das fliegende Personal bemerkenswert, da die Dosisverteilung beim fliegenden Personal üblicherweise, anders als bei vielen anderen Beschäftigungsgruppen, fast normal verteilt ist, was bedeutet, dass der Wert des Medians dem Wert des arithmetischen Mittels entspricht. Die 2021, ebenso wie 2020, zu beobachtende Verschiebung der Dosisverteilung hin zu kleineren Werten beim fliegenden Personal ist ebenfalls eine Folge der COVID-19-Pandemie.

2.4 Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis

Abbildung B III.2-5 zeigt die zeitliche Entwicklung der mittleren effektiven Jahresdosiswerte der messbar exponierten Personen. Insgesamt kann für Arbeitsplätze im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen festgestellt werden, dass die mittleren beruflichen Expositionen, verglichen mit der mittleren natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung (2,1 mSv pro Person und Jahr), auf einem niedrigen Niveau liegen. Über die letzten Jahre hinweg konnte zudem ein tendenzieller Rückgang der Durchschnittswerte beobachtet werden, was allgemein für eine erfolgreiche Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen im beruflichen Strahlenschutz spricht. Bemerkenswert sind die aktuellen Werte aus dem Bereich der Kerntechnik. Der über viele Jahre zu beobachtende Trend eines kontinuierlichen Rückgangs der durchschnittlichen Expositionswerte wurde 2021 offensichtlich gebrochen. So stieg der Durchschnittswert von 0,5 mSv im Jahr 2020 auf 0,8 mSv das erste Mal seit Jahren wieder leicht an. Möglicherweise ist dies auf zunehmende Aktivitäten im Bereich des Rückbaus und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen zurückzuführen, so dass die Entwicklungen hier genau beobachtet werden sollten.

Die Exposition durch Radon ist auf Grund kleiner Fallzahlen (jährlich zwischen 90 und 300 Exponierte) starken Schwankungen unterworfen.

Die Strahlenexposition des fliegenden Personals ist durch den 11-jährigen Zyklus zu- und abnehmender Sonnenaktivität bestimmt, welche die Intensität der Höhenstrahlung beeinflusst: In Jahren starker Sonnenaktivität sind die mittleren Jahresdosiswerte des fliegenden Personals geringer als in Jahren schwächerer Sonnenaktivität, da die Erde durch das Magnetfeld der Sonne und den Sonnenwind stärker vor hochenergetischen kosmischen Teilchenströmen geschützt wird. Nach einem Minimum der Sonnenaktivität im Jahr 2009 stieg diese kontinuierlich über die Jahre an und erreichte 2014 ihr Maximum. Der Zeitpunkt des darauffolgenden Minimums der Sonnenaktivität lag im Jahr 2019. Der Verlauf der mittleren Jahresdosis für fliegendes Personal verhält sich annähernd gegenläufig. Dass im Jahr 2019 das eigentlich zu erwartende Maximum des Dosisverlaufs nicht zu beobachten war, hängt sicherlich damit zusammen, dass zur Mitte des Jahres 2019 die Dosiskonversionsfaktoren für die Berechnung der Flugdosis aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse überarbeitet und entsprechend angepasst wurden. Die Anpassung der Parameter führte zu einer rechnerischen Reduktion des Wertes für die effektive Dosis um bis zu 30 % im Vergleich zur vorhergehenden Berechnungsmethode. Da die Flugdosis für einen Großteil des Personals mit den neuen Dosiskonversionsfaktoren berechnet wurde, fiel der Wert für die mittlere effektive Dosis im Jahr 2019 vergleichsweise niedrig aus. Der periodische Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals wurde durch die COVID-19-Pandemie unterbrochen, lag daher 2020 mit 0,6 mSv auf einem Rekordtief und stieg 2021 wieder leicht auf 0,8 mSv an, was mit der erneuten Zunahme des Flugverkehrs zu erklären ist.

2.5 Die Organ-Äquivalentdosis der Hand und der Augenlinse

Im Folgenden sind die Auswertungen für die Organ-Äquivalentdosis der Hand und für die Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse für messbar exponierte Personen gezeigt. Neben dem arithmetischen Mittel ist in den Graphiken jeweils auch der Median angegeben.

Abbildung B III.2-6 zeigt die Auswertungen für die Organ-Äquivalentdosis der Hände für verschiedene Beschäftigungsgruppen für insgesamt 6 789 Beschäftigte im Jahr 2021. Dies entspricht 1,6 % der vom SSR überwachten Personen und 6,7 % der messbar exponierten Personen. Die größte hinsichtlich der Hand-Dosis überwachte Gruppe stellt mit 6148 Personen das medizinische Personal dar. Deren mittlere Organ-Äquivalentdosis betrug 20,1 mSv. Die 427 Beschäftigten der allgemeinen Industrie hatten im Mittel mit 22,0 mSv die höchste mittlere Organ-Äquivalentdosis erhalten. Der Wert für Beschäftigte aus dem Bereich Forschung und Lehre betrug 7,4 mSv und der für kerntechnisches Personal 3,0 mSv.

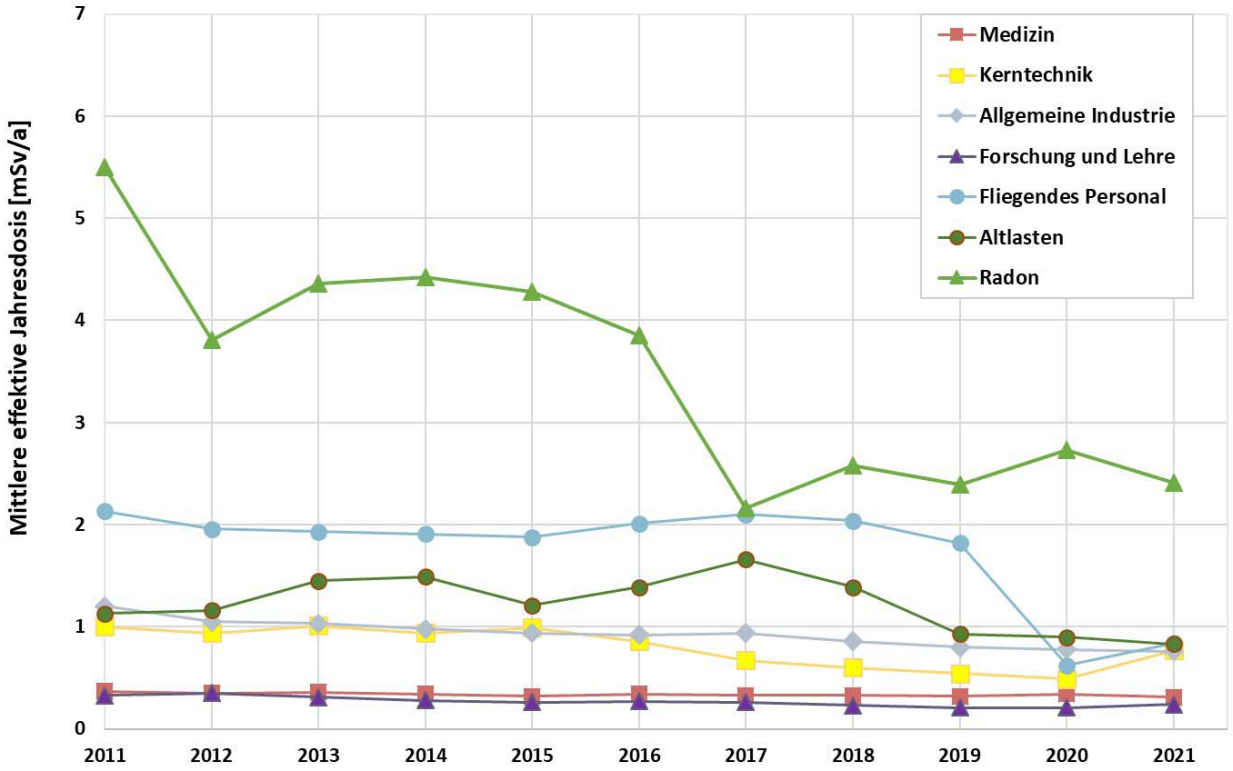


Abbildung B III.2-5 Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis der messbar exponierten Personen im Jahr 2021.
(Time trend of the mean effective annual dose of measurably exposed persons in the year 2021.)

Insgesamt liegen die Werte des Medians bei allen Beschäftigungsgruppen unterhalb der Werte des arithmetischen Mittels. Dies bedeutet, dass ein Großteil der überwachten Personen zwar nur jeweils geringe Expositionen, wenige Personen jedoch durchaus vergleichsweise hohe Dosiswerte erhalten haben. So kam es im Jahr 2021 zu fünf Überschreitungen des Jahresgrenzwertes der Organ-Äquivalentdosis der Hand von 500 mSv. Diese Fälle werden genau betrachtet und ausgewertet, um insbesondere die Ursachen für die aufgetretenen hohen Expositionen zu untersuchen und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Abbildung B III.2-7 zeigt die mittlere Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse verschiedener Beschäftigungsgruppen für das Jahr 2021. Im Vergleich zum Vorjahr, in dem lediglich 147 Personen hinsichtlich der Augenlinsendosis überwacht wurden, ergab sich für 2021 ein signifikanter Anstieg der Überwachungszahlen auf 447 Personen. Dies hängt sicherlich mit der gestiegenen Sensibilisierung und Notwendigkeit zur betrieblichen Überwachung der Augenlinsendosis zusammen, da im Rahmen der gesetzlichen Neuerungen der berufliche Grenzwert von 150 mSv auf 20 mSv pro Jahr deutlich gesenkt wurde. Nichtsdestotrotz erscheint die vorliegende Überwachungszahl angesichts der Gesamtzahlen an exponierten Personen im Bereich der Medizin, insbesondere im Bereich der interventionellen Radiologie, wo bekanntermaßen hohe Augenlinsendosen auftreten können, nach wie vor sehr niedrig. Die dem SSR vorliegenden Werte für 2021 ergeben für Überwachte aus dem Bereich Medizin eine mittlere Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse von 1,33 mSv. Die ebenfalls angegebenen Werte des Medians deuten darauf hin, dass die jeweiligen Dosisverteilungen in Richtung kleiner Werte verschoben sind, so dass der Großteil der aufgetretenen Expositionen niedrige Werte aufweist, in weniger Fällen hohe Werte zu verzeichnen sind. Eine Grenzwertüberschreitung wurde für das Jahr 2021 durch das SSR jedoch nicht beobachtet.

3. Anzahl der Grenzwertüberschreitungen

Im Jahr 2021 kam es nach Auswertungen der dem SSR zugrundeliegenden Daten zu einer Überschreitung des beruflichen Jahresgrenzwertes der effektiven Dosis für Erwachsene von 20 mSv. Der Jahresgrenzwert der Organ-Äquivalentdosis der Hand für Erwachsene von 500 mSv wurde fünfmal und der Monatsgrenzwert der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter von 2 mSv wurde 30-mal überschritten. In Bezug auf den Grenzwert der Berufslebensdosis von 400 mSv wurde im Jahr 2021 eine Überschreitung festgestellt.

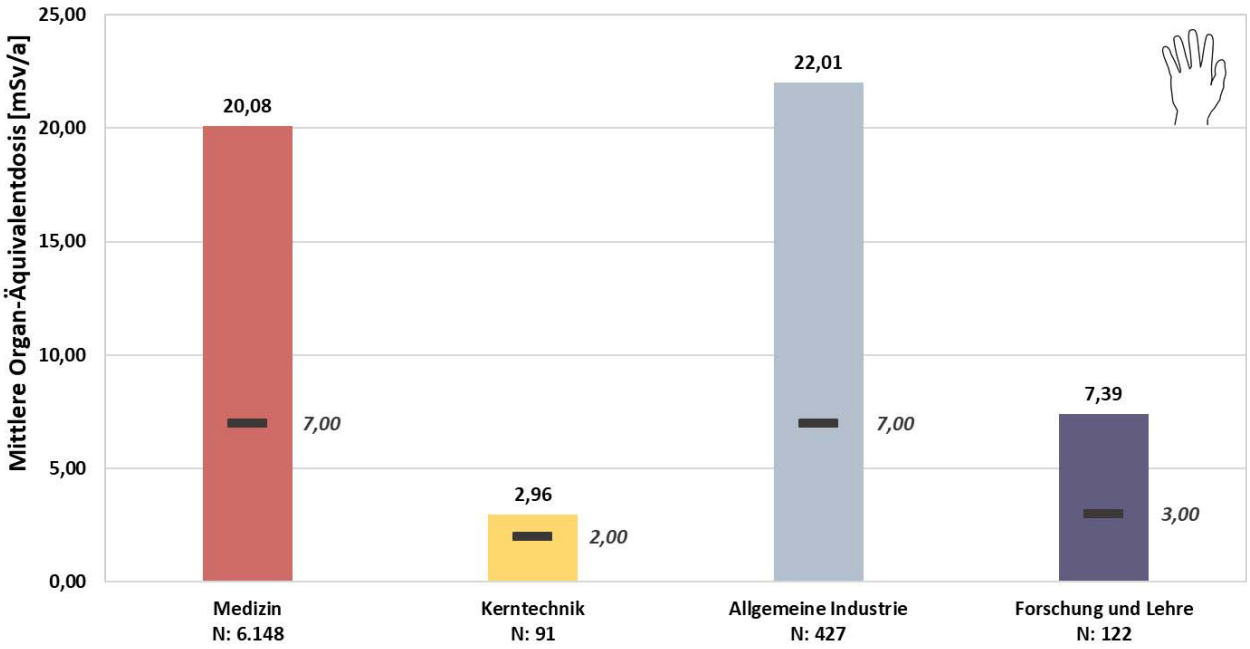


Abbildung B III.2-6 **Mittlere Organ-Äquivalentdosis der Hand der messbar exponierten Personen im Jahr 2021; N = Anzahl der Personen; Querstrich = Median.**
(Mean organ equivalent dose of the hand of measurably exposed persons in the year 2021; N = number of persons; horizontal line = median.)

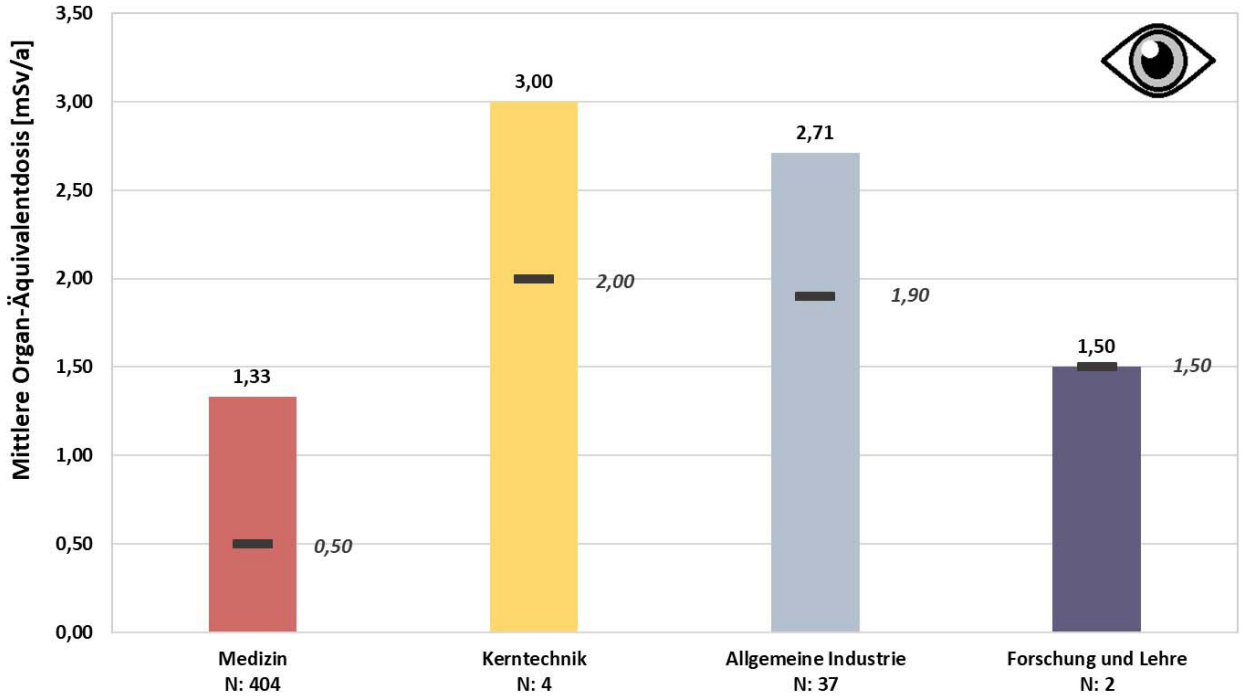


Abbildung B III.2-7 **Mittlere Organ-Äquivalentdosis der Augenlinse der messbar exponierten Personen im Jahr 2021; N = Anzahl der Personen; Querstrich = Median.**
(Mean organ equivalent dose of the eye lens of measurably exposed persons in the year 2021; N = number of persons; horizontal line = median.)

Für die Überwachung der Gebärmutterdosis muss Folgendes erwähnt werden: Für die routinemäßige Überwachung des Monatsgrenzwertes für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter wird in der Regel kein separates Dosimeter getragen. Stattdessen wird für die Ermittlung der Gebärmutterdosis in der Regel das für die Bestimmung der effektiven Dosis verwendete Ganzkörperdosimeter herangezogen. Unter der Annahme, dass die damit gemessene Ganzkörperdosis eine konservative Abschätzung der Gebärmutterdosis darstellt, wird zur Überwachung des Monatsgrenzwertes für die Gebärmutter für alle als "weiblich (gebärfähig)" gemeldeten Personen überprüft, ob pro Kalendermonat eine Ganzkörperdosis von mehr als 2,0 mSv aufgetreten ist. Entsprechende Überschreitungen werden von den Messstellen direkt an die zuständigen Behörden gemeldet.

Insgesamt ist die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen der effektiven Dosis (Jahresgrenzwert und Grenzwert für Berufslebensdosis) über die Jahre betrachtet rückläufig. Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen der Organ-Äquivalentdosis der Hand liegt seit Beginn der beruflichen Strahlenschutzüberwachung gleichbleibend auf einem niedrigen Niveau. Die Überschreitung des Grenzwertes der Gebärmutterdosis ist von einem dreistelligen Bereich vor 20 Jahren auf einen nun zweistelligen Bereich gesunken.

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MAßNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Diagnostische Strahlenanwendungen

Nach § 125 Abs. 3 StrlSchV ermittelt das Bundesamt für Strahlenschutz mindestens alle zwei Jahre die medizinische Exposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen. Gegenüber dem Vorbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2020“ hat sich in Bezug auf die Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen keine neue Datenanlage ergeben. Es wird daher auf diesen Bericht verwiesen. Um den Zusammenhang zu wahren, wird die auf den Daten für die Jahre 2007 bis 2018 beruhende Auswertung hier nochmals wiedergegeben. Der Status des Mammographie-Screening-Programms sowie die Angaben zur medizinischen Forschung und zu den bedeutsamen Vorkommnissen in der Medizin nach der neuen StrlSchV wurden aktualisiert.

1.1 Röntgendiagnostik *(X-ray diagnostics)*

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität (konventionelle Röntgenuntersuchung, Durchleuchtung, CT) notwendig sind. So wird z. B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Bezüglich der Quellen für die Erfassung der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen wird auf den Grundlagenbericht, Kapitel IV, nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841) verwiesen.

Die Daten in diesem Bericht beziehen sich auf die Jahre 2007 bis 2018. Es wird darauf hingewiesen, dass Abweichungen zu Ergebnissen vorliegen, die in älteren Berichten präsentiert wurden. Aktuell fließen in die Abschätzungen neue Datensätze ein, die dem BfS für die Jahre ab 2016 vom Verband der privaten Krankenversicherung e. V. (PKV) zur Verfügung gestellt wurden. Auf Grund einer deutlich größeren Stichprobe und validerer Methoden der Hochrechnung werden diese Daten als zuverlässiger angesehen als die Daten vor 2016. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Erhebungen für die Jahre vor 2016 deutet die neue Datenbasis jedoch auf eine zum Teil deutlich geringere Anzahl von bei Privatpatienten durchgeführten Röntgenmaßnahmen hin. Insbesondere betrifft dies den Bereich der zahnärztlichen Röntgendiagnostik, für den die Daten vor 2016 auf eine Übererfassung und die Daten ab 2016 auf eine Untererfassung hinweisen. Insbesondere wäre nach Datenlage die Anzahl von Röntgenuntersuchungen der Zähne und Kiefer pro Privatversicherten deutlich geringer als die entsprechenden Häufigkeiten für Kassenpatienten. Da dies nicht plausibel erscheint, wurde für dentale Untersuchungen für die vorliegende Analyse von der Annahme ausgegangen, dass die Häufigkeiten pro Versicherten für Privatpatienten für den gesamten Zeitraum 2007 bis 2018 denen für Kassenpatienten gleichen. Trotz dieser Maßnahme liegt die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen für Privatpatienten noch deutlich unterhalb derjenigen nach der alten Datenbasis. Bei Trendanalysen zur Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen werden die Daten der Privatpatienten daher nicht berücksichtigt, da dies auf Grund des Wechsels der Datenbasis die Effekte verfälschen würde.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis bzw. der mittleren effektiven Dosis pro Kopf werden überwiegend repräsentative Werte aus Daten der ärztlichen Stellen (ÄS) berücksichtigt, die für häufige und/oder dosisintensive Untersuchungen regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden. Für Untersuchungen, die hiermit nicht abgedeckt werden, wird auf die Ergebnisse von stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von BMU-geförderten Forschungsvorhaben und auf Literaturangaben zurückgegriffen. In Fällen, in denen keine Zeitreihen von Dosisdaten vorliegen, wird jeweils eine über die Jahre konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen.

In Tabelle T IV.1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

Auswertung der Jahre 2007 bis 2018 – Häufigkeit von Röntgenanwendungen

Für das Jahr 2018 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von rund 130 Millionen Röntgenanwendungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 80 Mio. Röntgenuntersuchungen). Etwa 80 % aller Röntgenmaßnahmen werden im ambulanten Bereich durchgeführt und hiervon ca. 90 % bei Kassenpatienten. Im kassenärztlichen ambulanten Bereich verlief die Gesamtzahl von Röntgenanwendungen während des betrachteten Zeitraums 2007 bis 2018 leicht abfallend. Die Anzahl der meisten konventionellen Röntgenuntersuchungen im betrachteten Zeitraum ging zurück (z. B. Schädel und Thorax um etwa 20 %; Wirbelsäule um etwa 25 %). Die Häufigkeit von Mammographien nahm infolge der Einführung des Mammographie-Screening-Programms zwischen 2007 und 2010 um ca. 35 % zu und verläuft - nach anschließender geringfügiger Abnahme - seit 2011 weitgehend konstant. Die Häufigkeit von zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen blieb über die Jahre weitgehend unverändert. Die Anzahl von Kieferaufnahmen, die inzwischen etwa 20 % aller zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen bei gesetzlich Versicherten ausmachen, hat zugenommen.

Eine starke Zunahme zwischen 2007 und 2018 ist insbesondere für CT-Untersuchungen zu verzeichnen: im ambulanten kassenärztlichen Bereich lag diese bei 25 % und im stationären Bereich sogar bei über 80 %. Während die über-

wiegende Mehrheit aller konventionellen Röntgenaufnahmen ambulant durchgeführt werden, finden etwa die Hälfte der CT-Untersuchungen im stationären Bereich statt. Ein noch deutlicherer Anstieg ist auch bei der Magnetresonanztomographie (MRT) zu verzeichnen, einem Schichtbildverfahren, das keine ionisierende Strahlung verwendet (siehe Kapitel 1.4.) Inzwischen ist die Anzahl von CT- und MRT-Untersuchungen nahezu gleich. Welches der beiden Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, hängt von der diagnostischen Fragestellung, der klinischen Situation (z. B. Notfall) und natürlich auch der Verfügbarkeit ab.

Abbildung B IV 1.1-1 gibt die Häufigkeit aller Röntgenmaßnahmen - also inklusive der Daten für den privaten ambulanten Sektor - für 2007 bis 2018 wieder. Demnach liegt die Häufigkeit aller Röntgenanwendungen im Mittel bei 1,6 pro Einwohner und Jahr. Bezüglich der Häufigkeit von CT-Untersuchungen siehe auch Kapitel 1.4.

Im Jahr 2018 wurden etwa 40 % aller Röntgenanwendungen im zahnmedizinischen Bereich durchgeführt. Daneben entfällt der größte Teil aller Röntgenanwendungen auf konventionelle Untersuchungen des Skeletts (Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten). Röntgenaufnahmen des Thorax (Brustkorb) und Computertomographien tragen jeweils zu ca. 10 % zur Gesamthäufigkeit bei (siehe Abbildung B IV 1.1-3).

Auswertung der Jahre 2007 bis 2018 – kollektive effektive Dosis

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2018 auf 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2018 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe Abbildung B IV 1.1-2). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro Kopf verursacht. Der Anstieg der CT-bedingten pro-Kopf-Dosis fiel wegen der über die Jahre leicht abnehmenden Dosis pro CT-Untersuchung etwas moderater aus als die zugehörige Zunahme der CT-Häufigkeit. Demgegenüber nahm die effektive Dosis pro Einwohner für die Summe der restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 2007 bis 2018 ab (siehe Abbildung B IV 1.1-2). Dieser Rückgang ist bedingt sowohl durch die zurückgehende Häufigkeit konventioneller Röntgenuntersuchungen als auch den Rückgang der effektiven Dosis einiger dieser Untersuchungen.

Erwartungsgemäß ist der relative Anteil konventioneller Röntgenuntersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis eher gering. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich vaskulärer interventioneller Maßnahmen) tragen dagegen zwar weniger als 15 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2018 jedoch etwa 85 % (siehe Abbildung B IV 1.1-3).

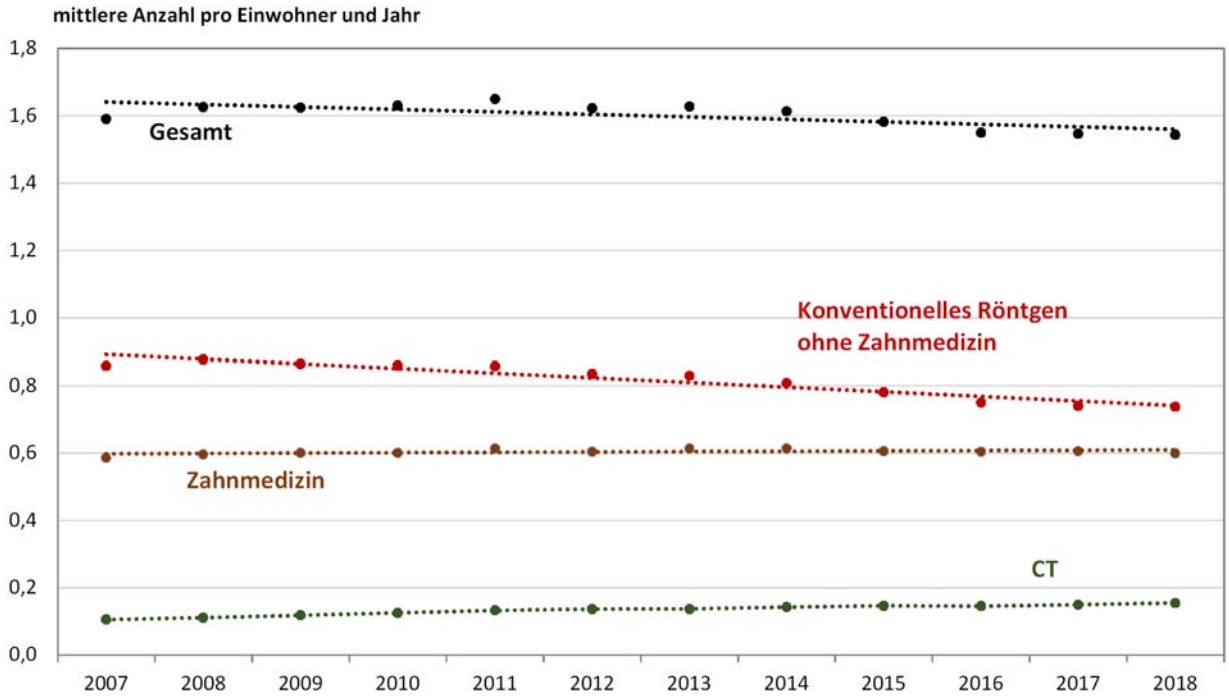


Abbildung B IV 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray examinations in Germany)

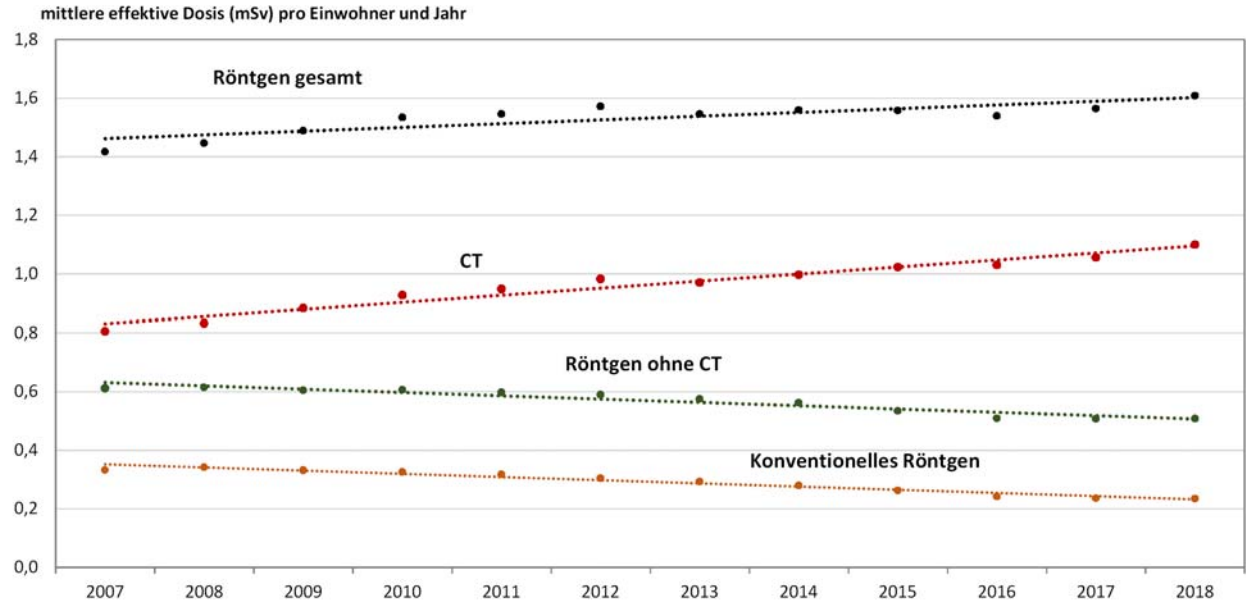
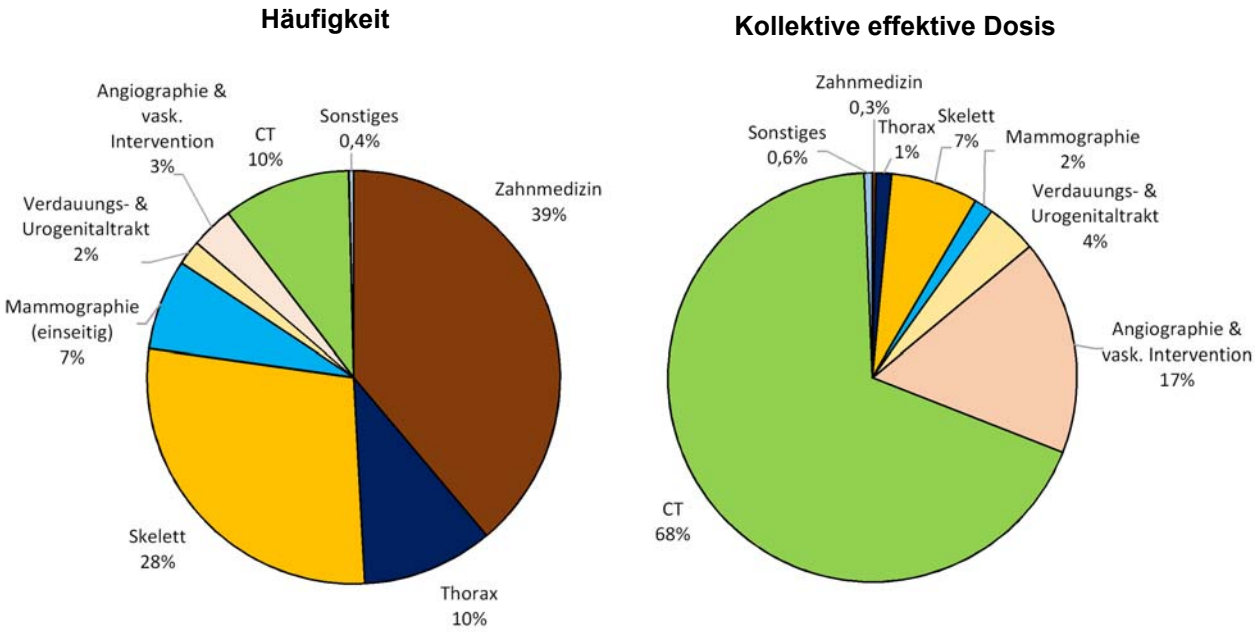


Abbildung B IV 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgenuntersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose (mSv) per capita and year due to x-ray diagnostics in Germany)



Die Prozentwerte sind auf signifikante Stellen gerundet und ergeben daher nicht in jedem Falle 100 %

Abbildung B IV 1.1-3 Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2018 in Deutschland
(Contribution to the overall freqency and to the collective effective dose from different examinations in x-ray diagnostics 2018 in Germany)

Röntgenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2018 wurde laut Robert Koch-Institut („Krebs in Deutschland für 2017/2018, S. 86 , www.krebsdaten.de, abgerufen am 12. Juli 2022) bei etwa 69 900 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt (mittleres Erkrankungsalter: 64 Jahre; Prognose für 2022: rund 66 800 Fälle). Die 5-Jahres-Prävalenz für Brustkrebs, also die Zahl der lebenden Frauen, bei denen innerhalb der vorherigen fünf Jahre diese Erkrankung neu diagnostiziert wurde, ist - verglichen mit den restlichen Krebserkrankungen - relativ hoch (ca. 304 100 Fälle Ende 2018). Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts verstarben im Jahr 2019 insgesamt 18 600 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen.

Die Röntgenuntersuchung der Brust (Mammographie) gilt als effektive Methode zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren. Daher hatte sich der Deutsche Bundestag bereits 2002 für die Einführung eines organisierten und qualitätsgesicherten Mammographie-Screening-Programms (MSP) auf der Grundlage der seinerzeitigen „Europäischen Leitlinien zur Qualitätssicherung des Mammographie-Screenings“ (https://cancer-screening-and-care.jrc.ec.europa.eu/en/ecibc/european-breast-cancer-guidelines) ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen - in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts - zu schaffen.

Zur schrittweisen Einführung des MSP wurde 2003 die Kooperationsgemeinschaft Mammographie GbR (www.mammo-programm.de) gegründet. Im Jahr 2005 wurde die erste Screening-Einheit (SE) zertifiziert und konnte ihren Betrieb aufnehmen; 2009 ist die letzte der insgesamt 95 SE in Betrieb gegangen. Zielgruppe des MSP sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind etwa 11 Mio Frauen. Die Teilnahmerate lag laut „Jahresbericht Evaluation 2019“, S. 13 bei 50 % [1].

In den in Abbildung B IV 1.1-3 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zu etwa einem Drittel Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die zur Abklärung eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Bei einem gewissen Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ könnte es sich jedoch auch um Früherkennungs-Mammographien handeln, die außerhalb des Mammographie-Screening-Programms und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („opportunistisches Screening“). Die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen hat in den ersten fünf Jahren nach Einführung des Mammographie-Screening-Programms im kassenärztlichen Bereich um ca. ein Drittel abgenommen und ist seither in etwa konstant.

Übergeordnetes Ziel des Mammographie-Screening-Programms ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebs-Mortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMUV in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung des seit Juli 2012 laufenden komplexen Vorhabens beteiligen sich das BMUV, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das Robert Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein sogenanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die administrative Abwicklung der Mortalitätsevaluation erfolgt seitens des BMUV im Rahmen von Ressort-Forschungsvorhaben. Auf Grund der komplexen Situation in Deutschland mit seiner föderalen Struktur - z. B. liegen unterschiedliche Datenschutzbestimmungen mit jeweils hohem Schutzniveau in den einzelnen Bundesländern vor - wurde zunächst in einer Machbarkeitsstudie geprüft, auf welche Weise in Deutschland eine Evaluation der Brustkrebsmortalität organisatorisch und technisch realisiert werden kann. Die Machbarkeitsstudie begann im Juli 2012 mit einer Laufzeit von zwei Jahren (siehe Programmreport 2014, S. 249, nbn-resolving.de/urn:nbn:de: 0221-2015082013351). An diese schloss sich eine erweiterte Machbarkeitsphase bis September 2016 an; siehe:

- Programmreport 2015, S. 128, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016080114068,
- Programmreport 2016, S. 45, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017102314426).

Auf der Grundlage der Ergebnisse der beiden Machbarkeitsstudien wurde im Zeitraum 2018 bis 2021 der erste Teil der Hauptstudie durchgeführt; siehe:

- Programmreport 2017, S. 192, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018071915600,
- Programmreport 2018, S. 143, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808),
- Programmreport 2019, S. 155, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424 und
- Programmreport 2020, S. 154, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257).

Zum 15. Dezember 2021 wurde der zweite (abschließende) Teil der Hauptstudie gestartet, deren Abschluss für Ende 2024 geplant ist.

Literatur

[1] Jahresbericht Evaluation 2019. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, November 2021 (https://admin.mammo-programm.de/assets/e0edb58a-1ced-4504-b636-22f578affe07)

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

Die im Grundlagenbericht, Kapitel IV (Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen) beschriebene Vorgehensweise wurde folgendermaßen geändert:

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Röntgendiagnostik werden für den ambulanten kassenärztlichen Bereich vollständige Datensätze bezüglich der Abrechnungen nuklearmedizinischer Untersuchungsleistungen von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) verwendet. Die Gesamthäufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen von privaten ambulanten Patienten werden aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Ebenso wie bei der Abschätzung zur Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen gehen in nachfolgende Schätzwerte für 2016 bis 2018 Datensätze der PKV ein, die auf Grund einer deutlich größeren Stichprobe und validerer Methoden der Hochrechnung als zuverlässiger angesehen werden als die Daten, die dem BfS für die Jahre bis 2015 von der PKV zur Verfügung gestellt wurden. Auch für nuklearmedizinische Anwendungen ist die Anzahl für 2016 bis 2018 im Vergleich zu der Erhebung für die Jahre vor 2016 geringer. Für den stationären Bereich stehen wiederum Daten des statistischen Bundesamtes zur Verfügung (Statistiken der Operationen- und Prozedurenschlüssel OPS). In die Abschätzung fließen zudem die Resultate aktueller Literatur ein [1, 2].

Für die Abschätzung der mittleren effektiven Dosis pro nuklearmedizinischer Untersuchung müssen sowohl repräsentative Werte der applizierten Aktivität pro Untersuchung als auch Dosiskoeffizienten für die Umrechnung in die effektive Dosis berücksichtigt werden. Basis für Erstere sind die von den ärztlichen Stellen erhobenen Aktivitätswerte zur Überprüfung der Einhaltung der diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen sowie der Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens [3]. Die Dosiskoeffizienten stammten aus der Publikation 128 der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2015. Hierbei ist zu beachten, dass die ICRP-Publikation 128 die Koeffizienten aus den ICRP-Publikationen 80 (von 1998) und 106 (von 2008) im Wesentlichen zusammenfasst; es wurden lediglich einige Dosiskoeffizienten neu berechnet bzw. Fehler korrigiert.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis werden für die verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungsarten - beispielsweise Schilddrüsenszintigraphien - jeweils das Produkt von Häufigkeit und effektiver Dosis pro Untersuchung ermittelt und anschließend aufsummiert.

Auswertung der Jahre 2016 - 2018

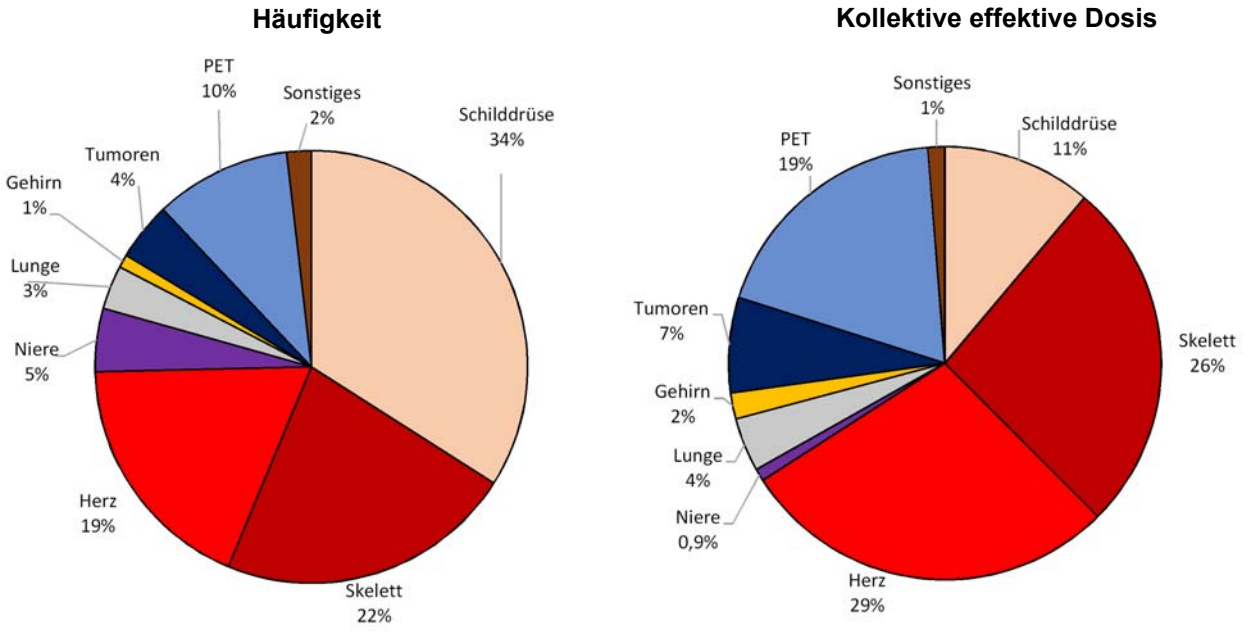
Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Dreijahres-Zeitraum 2016 bis 2018. Pro Jahr wurden in diesem Zeitintervall in Deutschland im Mittel ca. 2,1 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von etwa 25 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Abbildung B IV 1.2-1 gibt die Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für einzelne Untersuchungskategorien für das Jahr 2018 wieder. Am häufigsten wurden Szintigraphien (bzw. Einzelphotonen-Emissionscomputertomographien = SPECT- Untersuchungen) der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt, gefolgt von Myokard (Herz)-Untersuchungen. Hier ist zu beachten, dass die nuklearmedizinischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung jeweils separat gezählt wurden, auch wenn diese meistens im Rahmen einer Untersuchung hintereinander (während eines Tages oder über zwei Tage) stattfinden. Untersuchungen der Schilddrüse und des Skeletts nahmen im betrachteten Dreijahreszeitraum ab, die des Herzens hingegen zu. Die Beobachtungen zu den relativen Anteilen und den Trends sind mit den Ergebnissen eines aktuellen Forschungsvorhabens gut vereinbar [3].

Wie bei der Röntgendiagnostik finden auch in der Nuklearmedizin im ambulanten Bereich deutlich mehr Untersuchungen statt als in Krankenhäusern. Nahezu alle Szintigraphien der Schilddrüse und jeweils mehr als 80 % aller Untersuchungen des Skeletts und des Herzens werden im ambulanten Sektor durchgeführt.

Es wurde eine über den Zeitraum 2016 bis 2018 gemittelte effektive Dosis von rund 0,05 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Rund zwei Drittel der kollektiven effektiven Dosis werden durch Skelett-, Myokard (Herz)- und Schilddrüsenuntersuchungen verursacht (Abbildung B IV 1.2-1).

Die Anzahl von Positronenemissionstomographen (PET) nimmt kontinuierlich zu. Auf Grund der relativ hohen Dosis pro Untersuchung spielt die PET daher bei der durch alle nuklearmedizinischen Untersuchen verursachten kollektiven effektiven Dosis zunehmend eine Rolle. Nach aktueller Abschätzung beträgt der Dosisanteil durch die PET ca. ein Fünftel für das Jahr 2018. Die Abschätzung der PET-Häufigkeiten erfolgt auf Basis von Daten aus der Literatur [1], da die übliche Methode nach Abrechnungsdaten als unzuverlässig angesehen wird.

Letztere wäre sowohl mit [1] als auch mit [3] nicht vereinbar, sondern würde zu einer erheblichen Unterschätzung führen. PET/CT-Untersuchungen ersetzen immer mehr isolierte PET-Untersuchungen [3]. Im stationären Bereich wurden 2018 bereits ca. 85 % aller PET-Untersuchungen mittels eines PET/CT-Systems durchgeführt. Etwa 95 % aller Ganzkörperuntersuchungen und ca. 40 % aller Hirnuntersuchungen finden laut [3] mittels PET/CT statt. Der Dosisbeitrag



Die Prozentwerte sind auf signifikante Stellen gerundet und ergeben daher nicht in jedem Falle 100 %

Abbildung B IV 1.2-1 Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik 2018 in Deutschland
(Contribution to the overall frequency and to the collective effective dose from different examinations in nuclear medicine diagnostics 2018 in Germany)

durch die CT ist bei Abbildung B IV 1.2-1 nicht berücksichtigt. Bei Berücksichtigung der CT läge der Dosisbeitrag der PET und PET/CT schätzungsweise um etwa die Hälfte höher, und es ergäbe sich eine mittlere effektive Dosis pro Einwohner von 0,07 mSv.

Die mittlere effektive Dosis pro nuklearmedizinischer Untersuchung beträgt für die beiden am häufigsten durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen 0,7 mSv (Schilddrüse) bzw. 2,5 mSv (Skelett). Für Herzuntersuchungen ist die Dosis mit etwa 5 bis 6 mSv vergleichsweise hoch (jeweils zwei Szintigraphien; Protokoll über zwei Tage bzw. einen Tag). Die insgesamt selten, bei Kindern jedoch relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,4 mSv pro Untersuchung).

Literatur

[1] Kotzerke J, Oehme L, Grosse J, Hellwig D: Arbeitsausschuss PET der DGN: Positronenemissionstomographie 2013 in Deutschland - Ergebnisse der Erhebung und Standortbestimmung. Nuklearmedizin 54: 53-59, 2015

[2] Lindner O, Burchert W, Schäfer W, Hacker M: Myocardial perfusion SPECT 2015 in Germany. Results of the 7th survey. Nuklearmedizin 56: 31-38, 2017

[3] Borowski M, Pirl L.: Erhebung von Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren - Vorhaben 3617S42443. Hrsg. Bundesamt für Strahlenschutz 2020. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz; 164/20, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020091722831

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2018 etwa 1,7 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen. Ins Gewicht fällt dabei insbesondere die Röntgendiagnostik mit ca. 1,6 mSv pro Person im Jahr 2018. Verglichen damit ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering.

Für niedrige Dosen, wie sie für strahlendiagnostische Maßnahmen typisch sind, lassen sich keine sicheren Angaben zur Höhe des dadurch möglicherweise erhöhten Krebsrisikos machen. Daher ist man darauf angewiesen, das Strahlenrisiko, das in großen strahlenepidemiologischen Studien erst im höheren Dosisbereich beobachtet wurde, auf den niedrigen Dosisbereich zu übertragen. Dabei wird von einem linearen (proportionalen) Zusammenhang zwischen Dosis und Risiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT) ausgegangen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar. Unter dieser Annahme birgt jede strahlenmedizinische Untersuchung ein - wenn auch entsprechend geringes - zusätzliches Risiko für eine strahlenbedingte Krebser-

krankung. Eine eingehende Nutzen-Risiko-Abwägung vor jeder Anwendung einer strahlendiagnostischen Maßnahme ist daher von zentraler Bedeutung (sogenannte „rechtfertigende Indikation“). Wird die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt sowie eine Optimierung der Dosis vorausgesetzt, dann überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung das damit einhergehende Strahlenrisiko.

Bei den oben angegebenen Schätzungen der Häufigkeit von strahlendiagnostischen Maßnahmen und der assoziierten Dosis pro Einwohner handelt es sich um Durchschnittswerte bezogen auf die Gesamtbevölkerung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gewisse Teile der Bevölkerung davon wenig oder überhaupt nicht und andere in stärkerem Maße betroffen sind. Entsprechend differenziert sollte bei der Bewertung der medizinischen Strahlenexposition vorgegangen werden. Bei der Mehrheit der Patientinnen und Patienten handelt es sich um ältere Menschen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. Dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, werden vor allem im höheren Alter durchgeführt. Beispielsweise werden mehr als 80 % aller CT-Untersuchungen des Abdomens oder des Beckens bei Patientinnen oder Patienten vorgenommen, die 50 Jahre oder älter sind. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems [1].

Auch schwer erkrankte Patientinnen und Patienten werden häufig auf Grund ihrer Erkrankung - und dann in kurzer Zeit oftmals mehrfach - radiologisch untersucht. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung dieser Patientinnen und Patienten oft deutlich verkürzt. In die Bewertung einer medizinischen Strahlenexposition muss somit neben dem Alter insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Studien zu dieser Fragestellung sind allerdings rar. Die vorliegenden Arbeiten für Deutschland bestätigen jedoch, dass z. B. Krebspatienten oder Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen eine weit überdurchschnittliche Anzahl von zumeist auch dosisintensiveren Röntgenuntersuchungen erhalten [2], [3].

Im Rahmen des europäischen Dose Datamed 2 (DDM2)-Projektes [1] wurden für die europäische Bevölkerung (27 EU-Länder sowie Norwegen, Island und die Schweiz) eine mittlere Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen von 1,1 und eine daraus resultierende mittlere effektive Dosis von 1,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Im europäschen Vergleich liegt Deutschland vor allem bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenanwendungen pro Einwohner im oberen Bereich. Insgesamt unterscheiden sich im europäischen Raum die Schätzwerte zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen pro Einwohner zum Teil erheblich. Nach DDM2 reichen die Werte von ca. 0,3 (Rumänien) bis 2,1 (Island). Teilweise können die Differenzen auf die verschiedenen Gesundheitssysteme zurückgeführt werden. Charakteristisch für Deutschland ist beispielsweise, dass der Großteil aller Röntgenuntersuchungen im ambulanten Bereich - und hier oftmals von Teilgebietsradiologen - durchgeführt wird. In Ländern, in denen radiologische Maßnahmen vorwiegend in Kliniken stattfinden, wie beispielsweise im Vereinigten Königreich, ist in der Regel auch die Untersuchungsfrequenz niedriger. Für Deutschland ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei einem großen Teil der im ambulanten Bereich durchgeführten Untersuchungen um konventionelle Röntgenaufnahmen - insbesondere auch Zahnuntersuchungen - mit entsprechend niedrigerer Dosis handelt (siehe 1.1).

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den Stand der hiesigen Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den Nutzen für die Patientinnen und Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Hier existiert sicherlich noch ein gewisses Einsparpotenzial ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung. Hierzu können die diagnostischen Referenzwerte zur Optimierung der medizinischen Exposition (bessere Qualität der Untersuchung, niedrigere Dosis) ebenso einen wesentlichen Beitrag leisten wie strengere Kriterien bei der Indikationsstellung zur Durchführung röntgendiagnostischer Maßnahmen, die Vermeidung von Doppeluntersuchungen (höhere Transparenz zwischen Arztpraxen; Röntgenpass) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (Sonographie, MRT, siehe auch 1.4). Nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen kann das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin bzw. den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund treten.

Literatur

[1] European Commission, Radiation Protection No.180, Part 1: Medical Radiation Exposure of the European Population; Part 2: Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. Directorate-General for Energy (Directorate D, Unit D 3) 2014, ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180.pdf; ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf

[2] Brix G, Berton M, Nekolla E, Lechel U, Schegerer A, Süselbeck T, Fink C: Cumulative radiation exposure and cancer risk of patients with ischemic heart diseases from diagnostic and therapeutic imaging procedures. Eur J Radiol 82:1926-1932, 2013

[3] Brix G, Nissen-Meyer S, Lechel U, Nissen-Meyer J, Griebel J, Nekolla EA, Becker C, Reiser M: Radiation exposures of cancer patients from medical X-rays: how relevant are they for individual patients and population exposure? Eur J Radiol 72:342-347, 2009

1.4 Magnetresonanztomographie als alternatives Untersuchungsverfahren

Wie in 1.1 bereits erwähnt, ist nicht nur für CT- sondern auch für MRT-Untersuchungen eine starke Zunahme zwischen 2007 und 2018 zu verzeichnen. Im ambulanten kassenärztlichen Bereich lag diese bei 80 % und somit weit höher als der Anstieg für CT-Untersuchungen. Auch im stationären Bereich ist der Anstieg mit ca. 70 % erheblich.

Bemerkenswert ist die gleichzeitige Zunahme von MRT- und CT-Untersuchungen, wobei inzwischen beinahe ebenso viele MRT- wie CT-Untersuchungen durchgeführt werden. Wird der stationäre Bereich getrennt betrachtet, so ist hier die Anzahl von CT-Untersuchungen allerdings deutlich höher als die von MRT-Untersuchungen (Faktor 3).

Ganz anders ist dagegen die Situation im ambulanten Bereich: Hier ist eine deutlich höhere Anzahl von MRT-Untersuchungen festzustellen. Gleichzeitig nimmt die Häufigkeit von MRT-Untersuchungen in stärkerem Maße zu als die von CT-Untersuchungen. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist dies eine begrüßenswerte Entwicklung. Die vermehrte Nutzung der MRT - sofern als Alternative zum Röntgen und nicht als zusätzliche Maßnahme eingesetzt - kann wesentlich zur Verringerung der Strahlenexposition beitragen.

Der entgegengesetzte Trend im stationären Bereich ist wahrscheinlich dem Umstand geschuldet, dass hier akute Fälle vorherrschen, bei denen die schneller durchzuführende CT bei vielen Fragestellungen die Methode der Wahl ist. Diese Annahme wird von den deutlich unterschiedlichen Indikationsspektren der durchgeführten CT- und MRT-Untersuchungen im ambulanten bzw. stationären Bereich gestützt: Im ambulanten Bereich überwiegen MRTs der Wirbelsäule und Extremitäten, im stationären Sektor dagegen CTs des Schädels und Abdomens/Beckens.

Insgesamt wurden 2018 etwa 20 % aller MRT-Untersuchungen im Bereich des Schädels und jeweils etwa 30 % im Bereich der Wirbelsäule und der Extremitäten durchgeführt.

Ebenso wie bei der Abschätzung zur Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen gehen in die nachfolgende Schätzung für MRT-Untersuchungen für 2016 bis 2018 Datensätze der PKV ein, die auf Grund einer deutlich größeren Stichprobe und validerer Methoden der Hochrechnung als zuverlässiger angesehen werden. Diese Daten deuten darauf hin, dass die Daten für die MRT-Häufigkeit bei den Privatversicherten in den Jahren vor 2016 zu hohe Werte hatten.

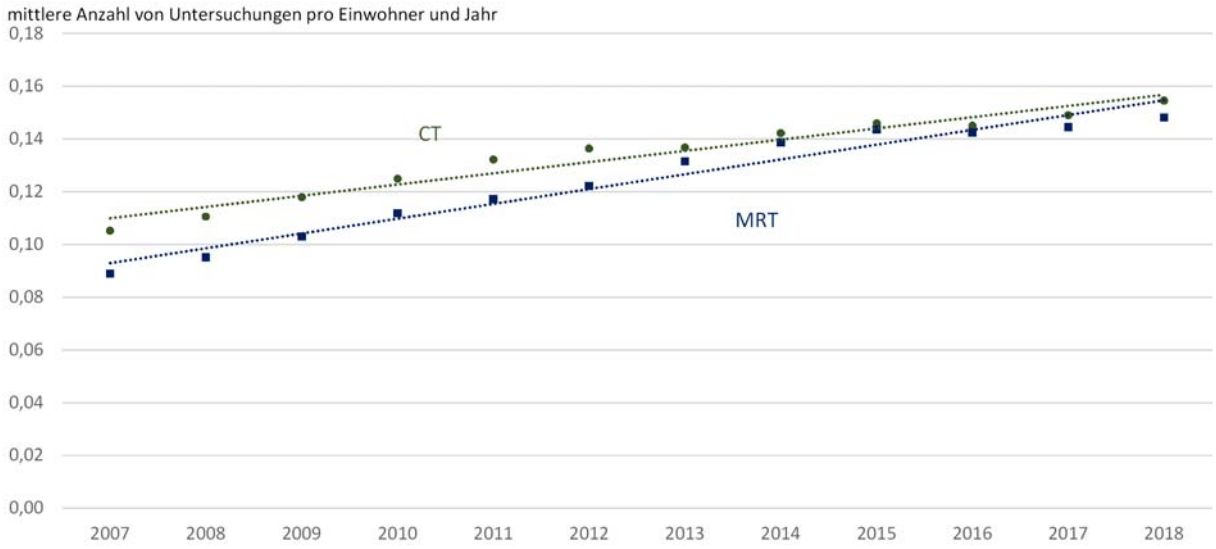


Abbildung B IV 1.4-1 Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Comparison of frequencies of CT/MRT examinations in Germany)

Abbildung B IV 1.4-1 gibt die Häufigkeit aller MRT-Untersuchungen - also inklusive der Daten für den privaten ambulanten Sektor - für 2007 bis 2018 wieder. Demnach liegt im Jahr 2018 die Häufigkeit von MRT-Untersuchungen bei ca. 15 pro 100 Personen der deutschen Bevölkerung. Nach den PKV-Daten der Jahre 2016 bis 2018 werden ca.11,5 % aller MRT-Untersuchungen im ambulanten Bereich bei Privatversicherten durchgeführt. Unter der Annahme, dass in den Jahren 2007 bis 2015 eine Übererfassung der MRT-Untersuchungen bei Privatversicherten erfolgt ist und der Anteil in diesen Jahren dem Anteil von 2016 bis 2018 gleicht, erhält man die in Abbildung B IV 1.4-1 gezeigte nahezu lineare Kurve. Demnach wären die Häufigkeiten für MRT-Untersuchungen für 2007 bis 2015 im Mittel um ca. 5 % überschätzt worden. Für die Abbildung wurde nach der gleichen Methode auch für CT-Untersuchungen vorgegangen, wobei in diesem Fall für Privatversicherte - gemäß PKV-Daten für 2016 bis 2018 - 12,5 % als Anteil an allen ambulant durchgeführten CT-Untersuchungen angenommen wurde. Demzufolge hätte für die Jahre vor 2016 eine Überschätzung der CT-Gesamthäufigkeit von ca. 4 % stattgefunden.

2. Therapeutische Strahlenanwendungen

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2018 auf ca. 265 200 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 232 700 bei Frauen geschätzt. Für das Jahr 2022 wird eine Zunahme der neu diagnostizierten Krebserkrankungen auf rund 510 000 Erkrankungsfälle prognostiziert [1]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer bei etwa 70 und für Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie einer Krebserkrankung erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Wenn eine Heilung möglich ist, spricht man von einer kurativen Strahlentherapie. Andernfalls wird die Strahlentherapie als palliativ bezeichnet. In diesem Fall ist die Therapie darauf ausgerichtet, dass Schmerzen und andere Symptome eines fortgeschrittenen Krebsgeschehens, bei dem keine Heilung zu erwarten ist, gelindert werden.

Bei der Strahlentherapie wird zwischen perkutaner Therapie (oder Teletherapie) und Brachytherapie unterschieden. Bei der perkutanen Therapie wirkt die Strahlung (zumeist Photonenstrahlung, erzeugt in einem Linearbeschleuniger) von außen auf den Körper ein. Bei der Brachytherapie wird hingegen ein umschlossenes Radionuklid als Strahlenquelle in die unmittelbare Nähe des Zielvolumens gebracht. Auch gutartige Erkrankungen können mittels Strahlentherapie behandelt werden, nicht nur gutartige Tumoren, sondern beispielsweise auch degenerativ-entzündliche Erkrankungen wie „Tennisellbogen“ oder Fersensporn. Die Strahlendosen sind in diesen Fällen allerdings deutlich niedriger als bei der Therapie bösartiger Erkrankungen.

2.1 Therapie mit ionisierender Strahlung

Im Zuge eines Ressortforschungsvorhabens [2] hat die deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e.V. (DEGRO) auf Basis von Abrechnungsstatistiken des Einheitlichen Bewertungsmaßstabes (EBM), der Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ) und dem Operationen- und Prozedurenschlüssel (OPS) sowie ergänzenden Erhebungen die Anzahl von in Deutschland durchgeführten Strahlentherapien bestimmt. Unter einer Strahlentherapie wird hierbei ein in sich abgeschlossener Bestrahlungszyklus unabhängig von der Wahl des Verfahrens sowie der Anzahl der betroffenen Körperregionen und der bestrahlten Zielvolumina (einschließlich der zu dieser Therapie zählenden Beratung, Aufklärung, Planung, Simulation, Verifikation, Dokumentation usw.) verstanden. Entscheidend für die zeitliche Zuordnung der Therapie war das Jahr des Therapiebeginns. Für das Jahr 2016 wurde hiermit eine Zahl von rund 470 000 ± 12 % durchgeführten Strahlentherapien ermittelt. Tabelle T IV.2 schlüsselt diese Zahl auf den ambulanten und stationären sowie gesetzlich- und privatversicherten Bereich auf. Demnach wird die weit überwiegende Mehrzahl der Strahlentherapien im ambulanten Bereich durchgeführt.

Des Weiteren wurden die Daten nach den folgenden Parametern differenziert (siehe Tabelle T IV.3):

- Indikationsstellung/Diagnose
- Behandlungsanlass
- Therapieverfahren
- Bestrahlungsmodalität
- Techniken

Bei den Indikationsstellungen überwiegen leicht die entzündlichen Erkrankungen bzw. benignen Tumoren (55 %) gegenüber den malignen Erkrankungen (45 %). Bei den benignen Erkrankungen handelt es sich hierbei zu ca. 80 % um Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes. Für die malignen Erkrankungen wurden die Strahlentherapien nach verschiedenen Diagnosegruppen (ICD-10-Code) differenziert. Die bösartigen Neubildungen der Brustdrüse (C50) stellen mit ca. 25 % den größten Anteil dar, gefolgt von den bösartigen Neubildungen ungenau bezeichneter, sekundärer Lokalisationen (C76-C80) mit ca. 23 % sowie den bösartigen Neubildungen der Atmungsorgane und sonstiger intrathorakaler Organe (C30-C39) mit ca.13 %.

Kurativ und palliativ intendierte Behandlungen konnten nicht anhand der Abrechnungsstatistiken differenziert werden. Hierzu wurden die Ergebnisse der ergänzenden Erhebung herangezogen, die die Lücken der Statistiken füllen sollten. An dieser Erhebung haben ca. 30 % der insgesamt 455 im Jahr 2016 bei der DEGRO registrierten strahlentherapeutischen Einrichtungen teilgenommen.

Die Differenzierung der Therapieverfahren sowie der verschiedenen Bestrahlungsmodalitäten wurde allein auf Basis der Abrechnungsstatistiken unter Zuhilfenahme einiger Hilfsrechnungen und Annahmen vorgenommen. Bei der Differenzierung der verschiedenen Techniken wurde hingegen teilweise auch auf die Ergebnisse der begleitenden Erhebung zurückgegriffen.

Tabelle T IV.4 untergliedert die durchgeführten Strahlentherapien in Geschlecht und Altersgruppen. Die Alterskategorien sind zwischen dem 40. und 80. Lebensjahr weitgehend gleich verteilt, wobei vermutlich im jüngeren Alter die benignen und im höheren Alter die malignen Erkrankungen dominieren dürften.

Eine Aktualisierung der o. a. Zahlen für die Folgejahre ist möglich, jedoch nur in einem gröberen Rahmen. Hinter einigen Zahlen stecken hochkomplexe Berechnungen sowie diverse Annahmen, für die entsprechende strahlentherapeutische Expertise notwendig ist. Im Ressortforschungsvorhaben [2] wurden auch Daten der Jahre 2015 bis 2017 verarbeitet. Die Anzahl der durchgeführten Strahlentherapien bewegt sich über diese drei Jahre auf einem gleichbleibenden Niveau.

Ausblickend sei erwähnt, dass zum 1. April 2020 ein neuer einheitlicher Bewertungsmaßstab (EBM) eingeführt wurde (für den Bereich der Strahlentherapie erst zum 1. Juli 2021). Hierbei wurde dem technischen Fortschritt Rechnung getragen. So werden die verschiedenen Verfahren und Bestrahlungsmodalitäten im neuen EBM präziser abgebildet. Bei einer Fortschreibung der Zahlen müssten dann die alten EBM-Ziffern in die neue Struktur transkodiert werden. Analoges gilt für die Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ), die derzeit noch neu verhandelt wird.

Literatur

[1] Krebs in Deutschland für 2017/2018. 13. Ausgabe. Robert Koch-Institut (Hrsg) und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (Hrsg) Berlin, 2021; https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/kid_2021/krebs_in_deutschland_2021.html

[2] Popp W, Sickinger C, Schaller-Steiner J, Willich N: Erfassung der Häufigkeit von Strahlentherapien in Deutschland. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz des Bundesamtes für Strahlenschutz, 173/20. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021010424620

3. Medizinische Forschung

Im Jahr 2021 wurden vom BfS 98 Genehmigungsverfahren nach § 31 StrlSchG (inkl. 48 Änderungsverfahren) und 471 Anzeigeverfahren nach § 32 StrlSchG (inkl. 283 Änderungsverfahren) zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen zum Zweck der medizinischen Forschung positiv abgeschlossen (Vorjahr: 68 Genehmigungen nach § 31 StrlSchG und 373 Anzeigen nach § 32 StrSchG) und 89 anderweitig abgeschlossen. Die Zahl der jährlichen Einreichungen nimmt seit 2001 kontinuierlich zu, seit dem Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes 2018 sogar um 75 Prozent (auf insgesamt 691 Einreichungen im Jahr 2021, siehe Abbildung B IV 3-1).

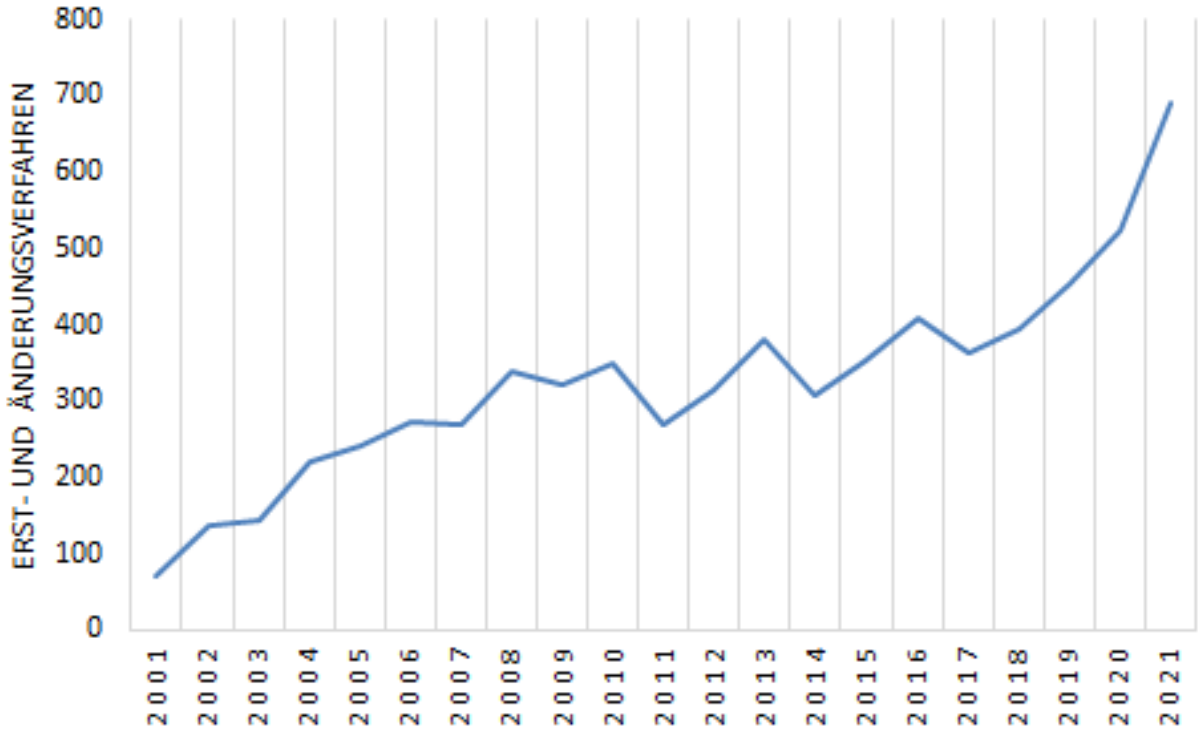


Abbildung B IV 3-1 **Jährliche Anzahl der eingegangenen Anträge gemäß § 31 StrlSchG und Anzeigen gemäß § 32 StrlSchG**
(Annual number of applications received under Section 31 StrlSchG and notifications under Section 32 StrlSchG)

4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV

Gemäß § 108 Abs.1 StrlSchV hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass der Eintritt eines bedeutsamen Vorkommnisses der zuständigen Behörde gemeldet wird. Ein Vorkommnis bei Strahlenanwendungen am Menschen ist insbesondere dann bedeutsam, wenn eines der in Anlage 14 StrlSchV genannten Kriterien erfüllt ist. In diesem Fall übermittelt die zuständige Behörde - gemäß § 110 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV - die Informationen über das bedeutsame Vorkommnis in pseudonymisierter Form an die zentrale Stelle im BfS nach § 111 StrlSchV.

Nach § 111 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV wertet das BfS die gemeldeten Vorkommnisse insbesondere im Hinblick auf die Übertragbarkeit und Bedeutsamkeit der Erkenntnisse auf andere Anwendungen und andere Anwender aus. Gemäß § 111 Abs. 1 Nr. 6 StrlSchV führt das BfS eine regelmäßige systematische wissenschaftliche Aufarbeitung der durchgeführten

Auswertungen durch und veröffentlicht die Ergebnisse einschließlich der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz. Diese Veröffentlichung erfolgt in Form eines Jahresberichts. Darüber hinaus sollen die aus der Aufarbeitung von Vorkommnissen gewonnenen Erkenntnisse, die auch für andere Anwendungen und andere Anwender relevant sind, kurzfristig in Form von kurzfristigen Informationen auf der Homepage des BfS in anonymisierter Form veröffentlicht werden.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben wurde gemäß § 111 Abs. 2 StrSchV ein webbasiertes IT-System BeVoMed („Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen am Menschen“) implementiert. Es ermöglicht die bundesweite Erfassung, Verarbeitung und Auswertung der von den zuständigen Behörden übermittelten Informationen über bedeutsame Vorkommnisse.

Für das Jahr 2021 lagen der zentralen Stelle Mitte Juli 2022 Informationen zu 116 Erstmeldungen vor. Zu 107 Erstmeldungen lagen Abschlussmeldungen vor, die ausgewertet wurden. Bei sieben Abschlussmeldungen wurde durch die zuständige Behörde und / oder das BfS festgestellt, dass es sich um kein Vorkommnis bei der Anwendung am Menschen handelte, oder dass das berichtete Vorkommnis nicht bedeutsam war. Die Meldungen zu Vorkommnissen bezogen sich ausschließlich auf medizinische Expositionen. Zu Expositionen von untersuchten Personen bei nichtmedizinischen Anwendungen erfolgte eine Meldung, diese wurde jedoch als nicht bedeutsam bewertet. Tabelle T IV.5 zeigt die Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse mit Abschlussmeldung.

Mit ca. 50 % kommen die meisten Meldungen aus dem Bereich der Strahlentherapie. Unverändert zum Vorjahreszeitraum betrafen diese zu ca. 40 % Personenverwechslungen. Obwohl von strahlentherapeutisch behandelten Patienten vor Therapiebeginn in der Regel Portraitfotos erstellt werden, kamen derartige Verwechslungen vor. Zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Patientenarmbänder oder Handscanner, können hier die Fehlerquote reduzieren und werden zunehmend eingesetzt. Leicht rückläufig mit ca. 20 % der Vorkommnisse (Vorjahr 30 %) wurden Bestrahlungsplanverwechslungen gemeldet. Hier kann evtl. bereits eine kritische Analyse der Prozessabläufe entlang der gesamten Behandlungskette zu einer Senkung der Fehlerrate führen (siehe dazu auch die Empfehlungen von BfS, DEGRO, DGMP und DGN zur Risikoanalyse bei therapeutischen Strahlenanwendungen [1]).

Die Meldungen in der Röntgendiagnostik zeigen relativ einen leichten Anstieg auf ca. 40 %. Im Jahr 2021 erfolgten nahezu alle Meldungen aus dem Bereich der Computertomographie. In Anbetracht der ca. 13 Millionen CT-Untersuchungen, die pro Jahr in Deutschland durchgeführt werden, erscheint diese Anzahl weiterhin sehr gering. Aus der Nuklearmedizin wurden unverändert sieben Meldungen ausgewertet, aus dem interventionellen Bereich 2021 nur drei Meldungen, wobei drei weitere Meldungen noch abgeschlossen werden müssen.

Literatur

[1] Bundesamt für Strahlenschutz, www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/empfehlungen-risikoanalyse.html (abgerufen am 22.04.2020)

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe

1.1 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe

Mit dem Begriff „hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ)“ werden Quellen bezeichnet, deren Aktivität den durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten, nuklidspezifischen Grenzwert (StrlSchV Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4) überschreitet.

Die Gesamteinfuhr Radionuklide in Tabelle T V.1 setzt sich aus „Radionuklide ohne HRQ“ (siehe Tabelle T V.3) und „umschlossene hochradioaktive Quellen (HRQ)“ (siehe Tabelle T V.4) zusammen.

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich 2021 gegenüber dem Vorjahr um ca. 25 % verringert.

Die Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen (siehe Tabelle T V.5) hat sich 2021 gegenüber dem Vorjahr um gut 30 % verringert und hat damit den niedrigsten Wert innerhalb der letzten zehn Jahre erreicht.

Die in Tabelle T V.2 dargestellte Gesamtausfuhr an Radionukliden setzt sich analog aus „Radionuklide ohne HRQ“ (siehe Tabelle T V.6) und „umschlossene hochradioaktive Quellen (HRQ)“ (siehe Tabelle T V.7) zusammen.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq hat 2021 ca. das 3,5-fache des Vorjahreswertes erreicht und ist damit deutlich gestiegen. Dieser Anstieg ist maßgeblich durch Exporte in das Vereinigte Königreich begründet, die auf Grund des Brexit im Jahr 2021 erstmals in dieser Statistik erscheinen. Mit ca. 6,2 PBq entfallen 77 % der Gesamtausfuhr an Radionukliden in 2021 auf das Vereinigte Königreich. Die Ausfuhr in die restlichen Länder liegt mit ca. 1,8 PBq unter dem Vorjahresniveau für diese Vergleichsgruppe.

Die Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe (siehe Tabelle T V.8) ist 2021 mit nur noch ca. 12 % des Vorjahreswertes gegenüber dem Niveau der Jahren 2020 und 2019 stark zurückgegangen und liegt nun in der Größenordnung der Jahre 2016 bis 2018.

In den Tabellen T V.3 bis T V.8 werden auf Grund der einheitlichen Darstellung aller Tabellen in der Einheit GBq bzw. kg Einzelwerte, die unterhalb von 50 MBq bzw. 50 g liegen, gerundet als 0,0 dargestellt. Zu unterscheiden davon sind leere Zellen, für die keine Werte vorhanden sind bzw. diese tatsächlich Null betragen.

1.2 Einfuhrstatistik

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ)

Tabelle T V.3 gibt die Aktivitäten der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder. Ausgenommen sind hier umschlossene hochradioaktive Strahlenquellen HRQ gemäß StrlSchV Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4.

Radionuklide, deren Aktivität in Summe unter 100 GBq liegt, sind in der Spalte „sonstige Radionuklide“ zusammengefasst. Analog sind Länder, aus denen die Gesamteinfuhr unter 100 GBq lag, in der Zeile „sonstige Länder“ zusammengefasst.

In Summe ist die Aktivität der eingeführten Radionuklide ohne HRQ gegenüber 2020 leicht gestiegen. Bei den einzelnen Radionukliden gibt es aber teilweise erhebliche Änderungen gegenüber dem Vorjahr. Besonders starke prozentuale Rückgänge gab es bei Ge-68+ (-86 %) und Cs-137+ (-79 %). Das entspricht absolut einem Minus von knapp 8,5 TBq bei Ge-68+ und gut 1,2 TBq bei Cs-137+. Mit einem Minus von 39 TBq gab es den prozentual und absolut deutlichsten Rückgang jedoch bei Sr-90+, dessen Einfuhr 2021 nur noch bei 0,4 GBq lag. Auf die Gesamtsumme wirken sich ferner die Rückgänge bei der Einfuhr von I-125 (-14 %) und Ho-166 (-27 %) mit einem Minus von 3,1 TBq bzw. 1,1 TBq gegenüber 2020 ebenfalls merkbar aus.

Deutliche Zuwächse gab es mit einem Plus von 28 TBq bei Kr-85 und 26 TBq bei I-131. Bei Kr-85 entspricht dieser Zuwachs in der Größenordnung einer Verdreifachung der Einfuhrmenge gegenüber 2020 und bei I-131 einer Verdoppelung. Zuwächse gab es ferner bei H-3 (+51 %), Se-75 (+60 %) und Mo-99+ (+34 %), die sich mit absoluten Zuwächsen von 6,7 TBq für H-3, 3,2 TBq für Se-75 und 4 TBq für Mo-99+ auch deutlich auf die Gesamtsumme auswirken. Ferner gab es bei Pm-147, W-188+, und Ir-192 gegenüber 2020 prozentual deutliche Zuwächse von bis zu 80 %, die zusammen aber nur ein absolutes Plus von unter 1 TBq bewirken.

Tritium in Form von Tritiumgaslichtquellen (LQ) wurde im Berichtszeitraum mit einer Aktivität von 5123 GBq eingeführt, im Wesentlichen aus der Schweiz (71 %), gefolgt von Kanada (15 %) und Norwegen (12 %). Das als Tritiumgaslichtquelle eingeführte Tritium ist in Tabelle T V.3 in den Werten für die Gesamteinfuhr von Tritium enthalten. Leuchtstoffe (LU) wurden nicht eingeführt.

Die Aktivitätswerte der Einfuhr von Bestrahlungsproben und aktivierten Anlagenteilen (19,45 MBq), kontaminierten Werkzeugen (10,1 GBq) sowie von sonstigen radioaktiven Gemischen (678,2 GBq) sind in Tabelle T V.3 berücksichtigt. Bestrahlungsproben und aktivierte Anlagenteile sowie kontaminierte Werkzeuge sind dort auf Grund ihrer geringen Aktivität mit anderen Radionuklide in der Spalte „sonstige Radionuklide“ zusammengefasst. Die Einfuhr von sonstigen radioaktiven Gemischen hat sich gegenüber 2020 in etwa verdoppelt.

Einfuhr umschlossener hochradioaktiver Strahlenquellen HRQ

Tabelle T V.4 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen hochradioaktiven Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137+ und Ir-192.

95 % der Gesamtaktivität der als HRQ eingeführten Radionuklide entfällt auf Co-60. Die Einfuhr von Co-60 erfolgte hauptsächlich aus Kanada (78 %), gefolgt von der Russischen Föderation (20 %).

Einfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle T V.5 zeigt die Gesamteinfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Schwerpunkte liegen bei Natururan als größtem Posten, gefolgt von angereichertem Uran mit einem Anreicherungsgrad bis zu 10 %. Weitere Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe wie hochangereichertes Uran, Plutonium oder Thorium wurden 2021 nicht eingeführt.

Die Einfuhr von abgereichertem Uran teilt sich in das in Abschirm-, Transport- und Lagerbehältern (z. B. für umschlossene Strahlenquellen) enthaltene Uran und sonstiges abgereichertes Uran auf. In Tabelle T V.5 sind unter „sonstige Länder“ alle Länder zusammengefasst, aus denen außer dem in Transport- und Abschirmbehältern enthaltenen Uran keine weiteren Kernbrennstoffe eingeführt wurden. Die Einfuhr an abgereichertem Uran, das nicht Bestandteil von Transport- und Abschirmbehältern ist, spielt mit ca. 8 kg nur eine untergeordnete Rolle.

1.3 Ausfuhrstatistik

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ)

Tabelle T V.6 gibt die Aktivitäten der ausgeführten radioaktiven Stoffe wieder. Ausgenommen sind hier umschlossene hochradioaktive Strahlenquellen HRQ gemäß StrlSchV Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4.

Radionuklide, deren Aktivität in Summe unter 100 GBq liegt, sind in der Spalte „sonstige Radionuklide“ zusammengefasst. Analog sind Länder, in die die Gesamtausfuhr unter 100 GBq lag, in der Zeile „sonstige Länder“ zusammengefasst.

Die Aktivität der ausgeführten Radionuklide ohne HRQ ist 2021 stark angestiegen und liegt mit knapp 2,9 PBq auf mehr als dem 7-fachen des Vorjahreswertes. Das Ausmaß des Zuwachses erklärt sich durch die 2021 erstmals in dieser Statistik erfassten Ausfuhren - insbesondere von I-131 - in das Vereinigte Königreich, die mit knapp 2,6 PBq etwa 90 % der Ausfuhr von Radionuklide ohne HRQ ausmachen. Ohne Berücksichtigung der Ausfuhr in das Vereinigte Königreich liegt die Summe der Aktivität der ausgeführten Radionuklide ohne HRQ nur bei 270 TBq und damit unter dem Vergleichswert von 2020.

2021 ist mit einem Anteil von gut 91% bezogen auf die Aktivität aller ausgeführten Radionukliden ohne HRQ I-131 das dominante Radionuklid. Die Aktivität des ausgeführten I-131 betrug 2021 mehr als das Zwölffache des Vorjahreswertes. Absolut entspricht dies einem Zuwachs von 2405 TBq. 99 % der I-131 Ausfuhr entfallen 2021 auf das Vereinigte Königreich.

Abgesehen davon sind 2021 deutliche Zuwächse bei der Ausfuhr von Lu-177 (+22 TBq), Se-75 (+21 TBq) Y-90 (+16 TBq) und Kr-85 (+15 TBq) zu verzeichnen. Deutliche Rückgänge gab es bei H-3 (-5 TBq) Cs-137+ (-1,9 TBq) und Pm-147 (-1,2 TBq). Bei Se-75 und Cs-137+ ist jedoch zu beachten, dass der Großteil dieser Radionuklide als HRQ ein- und ausgeführt wird, die hier genannten Änderungen bei der Gesamtausfuhr dieser Radionuklide also nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Tritium in Form von Tritiumgaslichtquellen (LQ) wurde im Berichtszeitraum mit einer Aktivität von 692 GBq ausgeführt, im Wesentlichen in die Schweiz (93 %), gefolgt von Kanada (7 %). Das als Tritiumgaslichtquelle ausgeführte Tritium ist in Tabelle T V.6 in den Werten für die Gesamtausfuhr von Tritium enthalten. Leuchtstoffe (LU) wurden nicht ausgeführt.

Die Aktivitätswerte der Ausfuhr von Bestrahlungsproben und aktivierten Anlagenteilen (44,9 MBq), kontaminierten Werkzeugen (294 MBq) sowie von sonstigen radioaktiven Gemischen (52,7 MBq) sind in Tabelle T V.6 berücksichtigt, dort aber auf Grund ihrer geringen Aktivität mit anderen Radionuklide in der Spalte „sonstige Radionuklide“ zusammengefasst.

Ausfuhr umschlossener hochradioaktiver Strahlenquellen HRQ

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ) (Tabelle T V.7) ist gegenüber 2020 ebenfalls deutlich gestiegen. Auch hier ist der Zuwachs in der Ausfuhr in das Vereinigte Königreich zu begründen, der bei HRQ etwa 70 % des Gesamtwertes ausmacht. Ohne Berücksichtigung der Ausfuhr in das Vereinigte Königreich liegt die Summe der Aktivität der ausgeführten HRQ nur bei ca. 1,55 PBq und damit auf etwa 80 % des Vergleichswerts von 2020. Bei 99 % der in das Vereinigte Königreich ausgeführten HRQ handelt es sich um Co-60.

Neben Co-60 wurden wie im Vorjahr die Radionuklide Se-75, Cs-137+, Ir-192 und Am-241 als HRQ ausgeführt. Auf Grund der hohen Co-60 Ausfuhr in das Vereinigte Königreich wird 2021 die Gesamtaktivität der ausgeführten HRQ mit einem Anteil von 70 % deutlich durch Co-60 dominiert. 2020 lag der Anteil von Co-60 nur bei 14 %.

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle T V.8 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm.

Die Ausfuhrmenge liegt 2021 mit 0,8 Mio kg auf nur noch 12 % der Menge von 2020 und damit wieder auf dem Niveau der Jahre 2016 bis 2018.

Der Rückgang ist mit dem Ausbleiben einer Ausfuhr von abgereichertem Uran in die Russische Föderation zu erklären, die 2020 etwa 90 % der Gesamtausfuhr an Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ausgemacht hatte. Die Mengen an ausgeführtem Natururan und angereichertem Uran mit einem Anreicherungsgrad bis 10 % lagen 2021 in der Größenordnung von 2020. Uran mit höheren Anreicherungsgraden als 10 % und Plutonium wurden nur im Milligrammbereich ausgeführt.

Analog zur Einfuhr (Tabelle T V.5) teilt sich die Ausfuhr von abgereichertem Uran in das in Abschirm-, Transport- und Lagerbehältern enthaltene Uran und sonstiges abgereichertes Uran auf. Wie bei der Einfuhr entfällt auch bei der Ausfuhr der Großteil der Position des abgereicherten Urans auf Transport- und Abschirmbehälter. In Tabelle 8 sind unter „sonstige Länder" alle Länder zusammengefasst, in die außer dem in Transport- und Abschirmbehältern enthaltenen Uran keine weiteren Kernbrennstoffe ausgeführt wurden.

1.4 Genehmigungen und Anmeldungen

Tabelle T V.9 zeigt die Gesamtzahlen der Anmeldungen und Genehmigungen im Jahr 2021.

Im Berichtszeitraum gingen 3703 Einfuhranmeldungen (2020: 2804) sowie 15487 Ausfuhranmeldungen (2018: 7041) nach § 13 StrlSchV ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ist damit im Vergleich zum Vorjahr deutlich gestiegen und hat sich bei den Ausfuhranzeigen mehr als verdoppelt. Ein Teil dieses Zuwachses ist auf Ein- und Ausfuhren aus dem bzw. in das Vereinigte Königreich zu begründen. Mit 220 Einfuhranmeldungen und 2 955 Ausfuhranmeldungen ist das Vereinigte Königreich in Summe aber lediglich für ca. ein Drittel des Zuwachse verantwortlich.

Im Berichtszeitraum wurden vom BAFA 18 Einfuhr- und 51 Ausfuhrgenehmigungen für unbestrahlte Kernbrennstoffe nach § 3 AtG sowie 41 Einfuhr- und 76 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe nach § 12 StrlSchV erteilt.

Bei den Genehmigungen gemäß § 12 StrlSchV handelt es sich durchweg um Genehmigungen zur Ein- und Ausfuhr von hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ), deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund der Überschreitung des 10-fachen HRQ-Grenzwertes (StrlSchV Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 4) nicht mehr im Anmeldeverfahren zulässig ist. Genehmigungen zur Ausfuhr für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe, deren Aktivität das 10^8-fache der Freigrenzen gemäß StrlSchV Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 2 pro Versandstück überschreitet, wurden nicht erteilt.

Ferner wurden im Jahr 2021 insgesamt 7 Genehmigungen für die Ein- und Ausfuhr von Konsumgütern gemäß § 42 StrlSchG erteilt, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben. Da nach § 42 StrlSchG genehmigte grenzüberschreitende Verbringungen derartiger Konsumgüter jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, liegen keine Angaben dazu vor, in welchem Umfang diese Genehmigungen tatsächlich ausgenutzt wurden.

Die vorliegende Statistik enthält keine Daten bezüglich innergemeinschaftlicher Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe, da hierfür die Verordnung (Euratom) Nr. 1493/93 Anwendung findet. Ferner enthält die vorliegende Statistik auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle und bestrahlte Kernbrennstoffe. Informationen hierüber sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Europäische Kommission zu entnehmen.

2. Beförderung radioaktiver Stoffe

Auf dem Gebiet des Transports radioaktiver Stoffe ist das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) die zuständige Behörde zur Erteilung von atomrechtlichen Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz für Kernbrennstoffe und §§ 27 und 29 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) für Großquellen.

Gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz und den darauf beruhenden Verordnungen ist das BASE außerdem u.a. zuständig für die Erteilung von verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen sowie für die Zulassung und Anerkennung von Transportbehältern.

Für die Entsorgung von Standard- und Nicht-Standard-Brennelementen aus Druckwasserreaktoren wurde im Juni 2021 eine weitere Revision der Zulassung für die Bauart Transport- und Lagerbehälter CASTOR® V/19 erteilt, die durch Ansatz eines Mindestabbrandes die Auflösung kritikalitätsbedingter Teilbeladungen umfasst und somit vollständige Beladungen des Behälters ermöglicht.

Im April 2021 wurde für die Bauart Transport- und Lagerbehälter CASTOR® KRB-MOX, deren Behälter für die Beförderung und Zwischenlagerung defekter WWER-Brennelemente genutzt werden, eine Revision der Zulassung erteilt, die die Zeitdauer der Lagergenehmigung des Zwischenlagers Nord bis zum 31.10.2039 abdeckt. Dazu hat der Antragsteller neben der Erfüllung von Randbedingungen (u. a. keine weitere Fertigung und Beladung von Behältern, alle gefertigten Behälter stehen beladen in einem Zwischenlager) umfangreiche Bewertungsberichte zu den Betriebserfahrungen, zum Alterungsmanagement und zur Gültigkeit der im Sicherheitsbericht zu Grunde gelegten Vorschriften und Nachweisverfahren sowie der für den Betrieb und die Wartung vorgesehenen Dokumente eingereicht, die von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und dem BASE positiv geprüft wurden. Mit der im Zulassungs-

schein festgeschriebenen periodischen Überprüfung dieser Berichte alle fünf Jahre sowie der Bewertung der Auswirkung von Vorschriftenänderungen auf die Zulassung, wird auch zukünftig sichergestellt, dass alle Zulassungsvoraussetzungen erfüllt bleiben bzw. bei Bedarf Maßnahmen ergriffen werden können.

Auf internationalem Gebiet wurde die Mitarbeit des BASE bei der Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards zum Transport radioaktiver Stoffe bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) fortgesetzt.

2.1 Übersicht über Zulassungen, Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2021 vom BASE insgesamt 7 Zulassungen für Transportbehälter und 4 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen erteilt.

Im Jahr 2021 wurden vom BASE insgesamt 49 Beförderungsgenehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Weitere Informationen über die vom BASE erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 4 AtG für Kernbrennstoffe sowie nach §§ 27 und 29 StrlSchG für Großquellen und über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte können den Internetseiten des BASE (www.base.bund.de) entnommen werden.

2021 wurden insgesamt 399 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle T V.10) durchgeführt, davon entfallen 15 auf Transporte innerhalb Deutschlands, 180 auf den Export, 55 auf den Import und 152 Transporte entfallen auf den Transitverkehr. Mit Großquellen wurden 9 Transporte durchgeführt.

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) fungiert als Aufsichtsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (§ 24, Abs. 1 AtG) und als Genehmigungsbehörde für die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen (§ 27 StrlSchG) im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen. Im Jahr 2021 wurden insgesamt 60 Wagenladungen mit sonstigen radioaktiven Stoffen, verteilt auf 25 Züge, befördert. Alle Beförderungen wurden auf Grundlage der vom Eisenbahn-Bundesamt erteilten Beförderungsgenehmigungen nach § 27 StrlSchG durchgeführt. Kernbrennstoffe mit der UN-Nummer 3328 (HAW) und 3331 (unbestrahltes, angereichertes Uran als U_3O_8 mit < 1 % U-235) wurden im Jahr 2021 nicht befördert.

Ein Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle T V.11 aufgeführt. Gegenüber dem Vorjahr wurden 101 Wagenladungen weniger befördert. Insbesondere die Beförderung von Uranhexafluorid auf der Schiene ist rückläufig. Die Anzahl der Transporte von Natururan in Form von Uranoxid hat sich gesteigert. Im Jahr 2021 fand ein Transport von zwei Wagen mit oberflächenkontaminierten Gegenständen (SCO- Surface Contaminated Objects) statt. Die Gesamtaktivität der beförderten Stoffe und Gegenstände ist gegenüber dem Vorjahr deutlich geringer. Im Jahr 2020 fand der Rückführungstransport verglaster hochaktiver Abfälle aus Sellafield mit einer Aktivität von 1961 TBq statt und es wurden fünf Wagen mit Corebauteilen / Coreschrotten befördert, deren Aktivität 1350 TBq betrug. Derartige Transporte waren 2021 nicht zu verzeichnen, so dass die Gesamtaktivität der beförderten radioaktiven Stoffe von 24 TBq bei knapp einem Prozent des Vorjahres liegt.

Abbildung B V 2.2-1 zeigt die Entwicklung der transportierten Wagenladungen seit 2009. Sowohl die Anzahl der Beförderungen, als auch die der beförderten Wagenladungen ist im Jahr 2021 erneut deutlich zurückgegangen.

Von den 60 beförderten Wagen mit Transportgut der Klasse 7 wurden 28 Wagen im Jahr 2021 überwacht. In einem Fall war bei der Prüfung an einem Container die Kennzeichnung stark beschädigt, was einen Verstoß gegen Unterabschnitt 5.1.2.7 RID darstellte. Die notwendigen Maßnahmen zur Herstellung des regelkonformen Zustandes wurden vor Weiterfahrt des Transportes getroffen. In einem Fall wurde im Rahmen eines Ordnungswidrigkeiten-Verfahrens eine Verwarnung ausgesprochen.

Tabelle T V.12 gibt einen Überblick hinsichtlich der Anzahl der Transporte mit der Eisenbahn in Abhängigkeit der jeweiligen rechtlichen Grundlage der erteilten Beförderungsgenehmigung.

Tabelle T V.13 listet die Anzahl der Wagenladungen auf, spezifiziert nach der atomrechtlichen Bezeichnung der beförderten radioaktiven Stoffe und nach den gefahrgutrechtlichen UN-Nummern.

Tabelle T V.14 zeigt die Gesamtaktivität für den Wagenladungsverkehr. Die Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr ist auf Grund der ausschließlichen Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen in TBq angegeben.

Tabelle T V.15 listet den Anteil der überwachten Transporte sowie die bei den Überprüfungen festgestellte Mängelquote auf. Von den 60 beförderten Wagen mit Transportgut der Klasse 7 wurden 28 Wagen im Jahr 2021 überwacht.

Im Jahr 2021 wurde fast die Hälfte der beförderten Wagen kontrolliert. Die Überwachungsquote ist somit bei Gefahrgut der Klasse 7 weiterhin um ein Vielfaches höher als bei Gefahrgut der anderen Klassen (die Überwachungsquote bei den anderen Gefahrgutklassen liegt für das Jahr 2021 bei knapp über 0,5 %). Die Beanstandungsquote liegt ungefähr in dem Bereich der Beanstandungsquote von Ausfuhr- und Inlandstransporten bei Gefahrgut der anderen Klassen. Zum Vergleich die vorläufigen Beanstandungsquoten von Gefahrgut ohne Klasse 7: insgesamt lag dort die Beanstandungs-

quote bei 5,1 %. Aufgeschlüsselt nach Ausfuhr- und Inlandsverkehren liegt die Beanstandungsquote bei 3,5 %, für Einfuhr- und Transitverkehre liegt dieser Wert im Berichtsjahr bei 10,4 %.

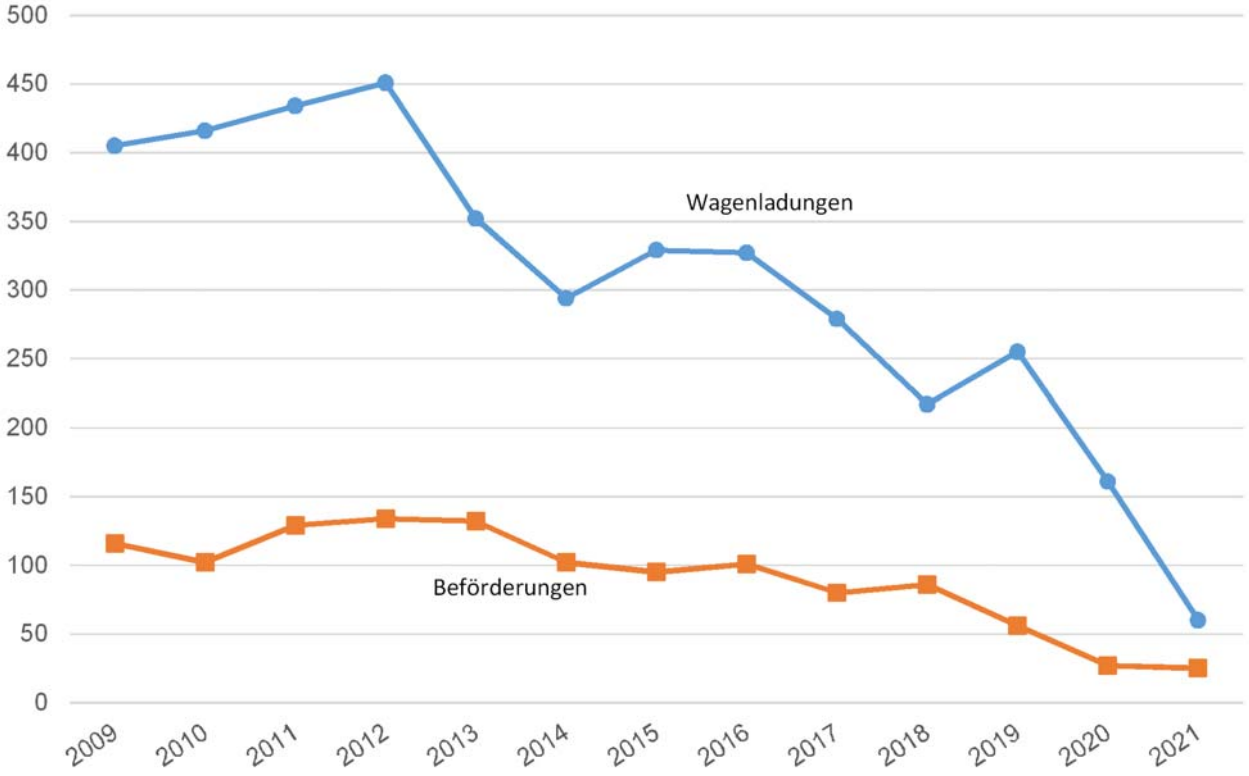


Abbildung B V 2.2-1 Entwicklung der transportierten Wagenladungen seit 2009
Development of transported wagonloads since 2009

3. Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler

Nach § 5 Abs. 39 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) versteht man unter Umgang mit radioaktiven Stoffen deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung. Der Begriff „Umgang“ wird gleichlautend auch in § 2 AtG, Absatz 3a, Satz 3 definiert.

3.1 Behördliche Kontrolle der Nutzung ionisierender Strahlung

Im Jahr 2021 waren in Deutschland 9 312 Genehmigungen zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen gemäß § 12 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchG gültig. Die Zahlen dieser Genehmigungen sind in Tabelle T V.16 und Tabelle T V.17 angegeben, davon waren

- 24 % im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 20 % im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 48 % im Bereich Industrie, gewerblicher Wirtschaft und
- 7 % in sonstigen Bereichen (z. B. Behörden) registriert.

In Tabelle T V.18 ist die Zahl der Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung mit Genehmigungen nach § 12 Abs. 1 Nr. 1 StrlSchG im Jahr 2021 in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben. Von diesen im Rahmen einer Betriebsgenehmigung laufenden Anlagen haben 5 % einer Genehmigung zur Errichtung bedurft. Insgesamt sind die o. g. Anlagen zu 77 % auf Anwendung am Menschen, zu 11 % auf Anlagen in Forschung und Lehre, zu 11 % auf Anlagen in Industrie bzw. gewerblicher Wirtschaft und zu 1 % auf Anlagen in sonstigen Bereichen verteilt.

Tabelle T V.19 ist eine Übersicht der gültigen Genehmigungen im Jahr 2021 für die Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen nach § 25 StrlSchG, für die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe nach § 27 StrlSchG, für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern nach § 40 StrlSchG und für den Umgang mit Kernbrennstoffen nach § 9 AtG.

In Tabelle T V.20 ist in einer Übersicht die Zahl der im Jahr 2021 erstatteten Anzeigen und Anmeldungen aufgeführt. Dies betrifft u. a. Anzeigen über Anlagen nach § 17 StrlSchG und Anzeigen über den Umgang mit bauartzugelassenen Vorrichtungen nach § 208 Abs. 3 StrlSchG.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfungen umschlossener radioaktiver Stoffe nach § 89 StrlSchV im Jahr 2021 können der Übersicht in Tabelle T V.21 entnommen werden. Bei den insgesamt 12 888 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 8 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. eine Krypton-85-Quelle, zwei Cäsium-137-Quellen, eine Radium-226-Quelle und zwei Cobalt-60-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls der Tabelle T V.21 zu entnehmen.

In Tabelle T V.22 ist in einer Übersicht die Zahl der im Jahr 2021 erstatteten Anmeldungen nach § 145 Absatz 2 StrlSchG und nach § 159 Absatz 2 StrlSchG aufgeführt.

In den Tabellen T V.23, T V.24 und T V.25 ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen für Röntgeneinrichtungen im Jahr 2021, unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin“, „Zahnmedizin und Tiermedizin" sowie „Technik / Nichtmedizin", für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1 597 und ist für die Bundesländer in Tabelle T V.25 gesondert aufgeführt. 17 % der nach § 12 Abs. 1 Nr. 4 StrlSchG genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2021 wurden im technischen Bereich 11 962 Röntgeneinrichtungen gemäß § 19 Abs. 1 Nr. 1 und 2 StrlSchG angezeigt.

3.2 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrieerzeugnissen, wie z. B. in wissenschaftlichen Instrumenten, technischen Bestrahlungsanlagen sowie verschiedenen Arten von Messeinrichtungen enthalten sein. Der Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Kontrollsystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z. B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten gesetzlich festgelegter Aktivitätswerte. Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 0,01 mSv pro Jahr ist (mit Tabelle ausführlich erläutert in 1.).

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. für Füllstands-, Dicke- oder Dichtemessungen) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen, bei denen höhere Aktivitäten eingesetzt werden, bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

Das StrlSchG in Verbindung mit der StrlSchV regelt den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen sowie den Einsatz von Röntgengeräten, um sowohl die Arbeitnehmer als auch die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ)

Bis zum Ende des Jahres 2021 wurden insgesamt 735 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 81 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2021 262 000 Meldungen zu 60 300 registrierten Strahlenquellen über deren Erhalt und Abgabe aufgenommen. Von diesen 60 300 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 30 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinne des Strahlenschutzgesetzes, da sich ein Großteil dieser Strahlenquellen zum Berichtszeitpunkt nicht mehr im Geltungsbereich des deutschen Strahlenschutzgesetzes befand (also z. B. ins Ausland verbracht worden ist) oder auf Grund des radioaktiven Zerfalls (insbesondere Nuklide mit einer geringen Halbwertszeit wie Ir-192 oder Se-75) wieder eine Aktivität unterhalb des HRQ-Grenzwertes aufwies.

Tabelle T V.26 zeigt die Entwicklung des Datenbestandes im HRQ-Register seit 2006.

3.4 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Vorrichtungen, z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter, bei deren Betrieb ungewollt Röntgenstrahlung entsteht, die selbst nicht genutzt wird. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern sie nicht nach § 8 StrlSchV genehmigungsfrei betrieben werden dürfen. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung von bauartzugelassenen Störstrahlern sind in § 17 der StrSchV auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

3.5 Konsumgüter und sonstige Anwendungen

Radioaktive Stoffe können auch in Konsumprodukten wie Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchgasmeldern, Gasglühstrümpfen, Schweißelektroden oder keramischen Gegenständen enthalten sein, jedoch nur in einer geringen Menge. Zum Schutz des Verbrauchers verbietet das StrlSchG allerdings den Zusatz von radioaktiven Stoffen zu bzw. die Aktivierung von bestimmten Produkten wie z. B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen.

Das StrlSchG regelt zudem den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von diesen Produkten nach Beendigung ihres Gebrauchs.

3.6 Bestand radioaktiver Abfälle

Nachfolgend ist der Bestand an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zum 31. Dezember 2021 aufgeführt. Die angegebenen Werte sind gerundet, so dass sich dadurch marginale Abweichungen ergeben können.

Abfälle werden nach dem Stand ihrer Bearbeitung untergliedert in Rohabfälle (RA), d. h. Abfälle in ihrer Entstehungsform, und in „vorbehandelte Abfälle“ (VA), die z. B. eine Vorkonditionierung zur besseren Handhabung erhalten haben. Für die Zwischenlagerung werden die Abfälle in der Regel konditioniert. Aus dem Konditionierungsprozess entstehen die Abfallprodukte, die meist in Fässern, die einen Innenbehälter darstellen (P1), oder auch schon in Konradbehältern (G1) lagern. Soll das Abfallprodukt bis zur Endlagerung nicht weiter behandelt werden, kann in der Produktkontrolle durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) festgestellt werden, dass dieses Abfallprodukt, bei Erfüllung der Endlagerungsbedingungen, für das Endlager Konrad geeignet ist. Aus dem Abfallprodukt der Kategorie P1 entsteht so ein „produktkontrolliertes Abfallprodukt“ (P2). Die Abfallprodukte der Kategorie P2 werden dann für die Endlagerung noch in Konradbehälter eingestellt (G1). Wird das Abfallgebinde (G1) von der BGE als endlagerfähig bestätigt, liegt ein „produktkontrolliertes Abfallgebinde“ (G2) vor, welches vom Endlager zur Einlagerung abgerufen werden kann. Eine Übersicht über die Mengen vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Stoffe für das Jahr 2021 liefert Tabelle T V.27.

Insgesamt existierte bei allen Abfallverursachern am 31. Dezember 2021 ein Bestand an Rohabfällen und vorbehandelten Abfällen - mit dem Endlagerziel Konrad oder einem anderen - von 21 253 t. Der Bestand an Abfallprodukten in Innenbehältern belief sich auf 18 122 m^3, von denen 4 768 m^3 schon produktkontrolliert sind. Dies beinhaltet zum derzeitigen Zeitpunkt mindestens den radiologischen Teil der Produktkontrolle. Der größte Bestand entfällt auf die Abfallprodukte in Konradbehältern mit 112 394 m^3, von denen 2 936 m^3 vollumfänglich produktkontrolliert sind und vom zukünftigen Endlager Konrad abgerufen werden könnten. Lediglich 145 m^3 und 26 t an radioaktiven Abfällen sind derzeit nicht für das Endlager Konrad vorgesehen.

Detaillierte Angaben zum Bestand der vernachlässigbar Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle ohne Differenzierung des Endlagerziels zum 31. Dezember 2021 für die einzelnen Abfallverursachergruppen sind in Tabelle T V.28 aufgeführt.

Zu den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, ohne bestrahlte Brennelemente, zählen Abfälle aus der Forschung und vor allem der Wiederaufarbeitung wie die HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in Frankreich (544 m^3), die im Zwischenlager in Gorleben, und ca. 25 m^3 aus der Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK), die im Zwischenlager Nord gelagert werden. Eine Übersicht nach Verursachergruppen gibt Tabelle T V.29.

Bis zum 31. Dezember 2021 sind in Deutschland insgesamt ca.16 106 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen. Davon wurden 6 673 t SM zur Wiederaufarbeitung im Ausland oder in andere Anlagen abgegeben. Neuere Zahlen liegen nicht vor.

Zusätzlich sind in Deutschland insgesamt 190 t SM in Form von bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Demonstrationsreaktoren angefallen, von denen der Großteil wiederaufgearbeitet wurde.

4. Bedeutsame Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige bedeutsame Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz gemeldet und jährlich in diesem Bericht zusammengefasst (Tabelle T V.30).

Ein Großteil der für das Jahr 2021 nach § 170 StrlSchV gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radioaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer hohen radiologischen Gefährdung.

Vorkommnisse, die im medizinischen Anwendungsbereich aufgetreten sind, werden seit dem Jahr 2019 im Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen in der Medizin (https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/bevomed_node.html) erfasst. Die Meldung eines bedeutsamen Vorkommnisses in der Medizin erfolgt elektronisch durch die zuständige Behörde an die zentrale Stelle im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), die diese Vorkommnisse regelmäßig systematisch wissenschaftlich auswertet. Eine Darstellung dieser Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz findet sich in Kapitel IV Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen.

Literatur

1. Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977“, Bundestagsdrucksache 8/3119, Bonn 1979

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen

1.1 Elektromagnetische Felder allgemein

Mit der zunehmenden Technisierung der Umwelt steigt auch die Zahl künstlicher Quellen, die zu einer Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern beitragen. Mit dem Begriff „elektromagnetische Felder“ werden statische und langsam veränderliche (niederfrequente) elektrische und magnetische Felder sowie hochfrequente elektromagnetische Felder zusammengefasst. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz). Details sind im Grundlagenbericht, Kapitel VI (Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung, ,nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2023032136841) beschrieben.

Der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder ist über gesetzliche Immissionsgrenzwerte geregelt, die von bestimmten ortsfesten Anlagen einzuhalten sind. Für elektrisch betriebene Geräte ist das Produktsicherheitsrecht anzuwenden, dessen abstrakte Anforderungen in harmonisierten Normen konkretisiert sind.

Technische Weiterentwicklungen sind vor allem bei der drahtlosen Kommunikations- und Energieübertragungstechnik, aber auch der Sicherheitstechnik und der Elektrizitätsversorgung zu beobachten. Die Elektromobilität wird politisch und von der Industrie vorangetrieben, aber auch die Anzahl der Anwendungen elektromagnetischer Felder zu medizinischen oder kosmetischen Zwecken nehmen zu. Daher ist davon auszugehen, dass damit im Zusammenhang stehende neue Expositionsszenarien relevant werden.

1.2 Statische elektrische und magnetische Felder

Statische Magnetfelder üben Kräfte auf elektrisch geladene Teilchen im menschlichen Körper aus, wenn sich die Teilchen quer zum Magnetfeld bewegen. Das betrifft insbesondere den Blutstrom oder Bewegungen des Körpers im Magnetfeld. In älteren wissenschaftlichen Untersuchungen wurden für magnetische Flussdichten unterhalb von etwa 4 Tesla keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper beobachtet.

Hinsichtlich Magnetresonanztomographen (MRT) mit höheren magnetischen Flussdichten zeigten Forschungsvorhaben des BfS, dass es bis zu magnetischen Flussdichten von 7 Tesla zu keiner Beeinträchtigung des bedienenden Personals kommt. Des Weiteren konnte bei Nagetieren gezeigt werden, dass Trächtigkeit oder die Entwicklung von Jungtieren nicht beeinflusst wird.

Beim Stromnetzausbau werden auch Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) errichtet. In der Umgebung der Leitungen treten statische Magnetfelder auf. Der Grenzwert von 500 µT für magnetische Flussdichten der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) muss jedoch eingehalten werden, um eine Beeinflussung elektronischer Implantate zu vermeiden. Die zusätzlichen statischen Magnetfelder in der Nähe von HGÜ-Trassen werden voraussichtlich in der Größenordnung der Feldstärken des natürlichen Erdmagnetfeldes liegen. Angesichts der erwähnten Forschungsergebnisse in wesentlich stärkeren Feldern der Magnetresonanztomographie ist nicht mit einer Beeinträchtigung der Bevölkerung zu rechnen.

Es ist im Umfeld von Freileitungen von erhöhten Konzentrationen von Ionen in der Luft auszugehen, die sich an Luftpartikel anlagern können. Eine vom BfS geförderte Literaturstudie bestätigt vorangegangene Einschätzungen, dass negative gesundheitliche Auswirkungen durch diese Prozesse unwahrscheinlich sind. Die Klärung verbliebener offener Fragen wird vom BfS vorangetrieben.

1.3 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder können im menschlichen Körper elektrische Ströme hervorrufen. Das Schutzkonzept zielt darauf ab, negative gesundheitliche Wirkungen durch diese Einflüsse auf den Körper zu vermeiden. Die Basisgröße für den Strahlenschutz ist die direkt mit biologischen Wirkungen im Zusammenhang stehende im Körper induzierte elektrische Feldstärke. Die in Deutschland für die Allgemeinbevölkerung gültigen Grenzwerte, die in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) festgelegt sind, wurden von dieser Basisgröße abgeleitet. Diese Grenzwerte beziehen sich auf die außerhalb des menschlichen Körpers auftretenden elektrischen und magnetischen Felder. Auch in technischen Gerätesicherheitsnormen wird auf diese Werte Bezug genommen.

1.4 Strahlenschutz beim Stromnetzausbau

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden die bestehenden Stromnetze ausgebaut und verstärkt. Hierfür werden nicht nur bestehende Wechselstromleitungen ertüchtigt, sondern auch neue Wechselstromleitungen sowie erstmals Hochspannungsgleichstromleitungen (HGÜ-Leitungen) errichtet, letztere vorzugsweise als Erdkabel. Die vom Ausbau betroffene Bevölkerung steht den notwendigen Maßnahmen zum Teil kritisch bis ablehnend gegenüber. Dabei werden u. a. Befürchtungen zu gesundheitlichen Risiken als Argumente angeführt.

Beim Ausbau des Stromnetzes müssen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes von Anfang an berücksichtigt werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) leistet mit dem Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ einen wichtigen Beitrag zur Klärung der offenen Fragen in diesen Themenbereichen.

Exposition der Allgemeinbevölkerung

Die Grenzwerte der 26. BImSchV schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Es gibt jedoch wissenschaftliche Hinweise auf mögliche gesundheitliche Wirkungen bei Expositionen unterhalb der bestehenden Grenzwerte und weitere offene Fragen, die im Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ geklärt werden müssen.

So kann der in mehreren epidemiologischen Studien beobachtete statistische Zusammenhang von Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und Leukämien im Kindesalter derzeit nicht zufriedenstellend erklärt werden. Auch Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber starken niederfrequenten Magnetfeldern im beruflichen Bereich und dem Auftreten von degenerativen Erkrankungen des Nervensystems (z. B. Amyotrophe Lateralsklerose/ALS, Alzheimer-Demenz) können derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Experimentelle Studien konnten die epidemiologischen Beobachtungen bisher nicht bestätigen, eine zugrundeliegender Wirkmechanismus ist nicht bekannt. Bei den HGÜ-Freileitungen und der geplanten Hybridleitung sind es vor allem Fragen zu einer erhöhten Wahrnehmbarkeit elektrischer Felder, die mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht zufriedenstellend beantwortet werden können.

Begleitendes Forschungsprogramm des BfS

Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen beantworten zu können, führt das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. Das Forschungsprogramm umfasst 39 Projekte aus 10 Themenfeldern. Die Beschreibung des Forschungsprogramms sowie den aktuellen Stand der Forschungsvorhaben können auf der Seite des BfS eingesehen werden: https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/laufend/stromnetzausbau/forschungsprogramm.html.

Einige dieser Forschungsvorhaben wurden bereits im Rahmen des Ressortforschungsplans begonnen bzw. sind beendet:

- Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung (wird als Eigenforschung weiter durchgeführt)
- Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition, Universität Mainz. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020011721003
- Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell)
  (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020090922621
- Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019121120809
- Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020060822215
- Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022042732621
- Erprobung, Weiterentwicklung und Validierung von neuartiger Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Entwicklung und Verfeinerung dosimetrischer Modelle für die Expositionsanalyse und -bewertung; siehe https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/emf/laufend/stromnetzausbau/_functions/documents/fp-7-1.html

1.5 Zwischenfrequente Felder - Elektromobilität

In den kommenden Jahren ist mit einer steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen zu rechnen. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Magnetfeldexposition der Insassen weniger von der elektrischen Leistung der Elektromotoren abhängt als vom Betriebszustand und vom technischen Design (Kabelführung, Position der Batterie, etc.). Insbesondere beim induktiven Laden können vergleichsweise starke zwischenfrequente Felder auftreten. Gesundheitliche Wirkungen zwischenfrequenter Felder sind insgesamt weniger gut untersucht als Wirkungen in anderen Frequenzbereichen.

Vor diesem Hintergrund wurden folgende Forschungsvorhaben initiiert:

- Magnetfeldexposition in aktuellen Elektrofahrzeugmodellen

- Einfluss der zwischenfrequenten Magnetfelder der induktiven Leistungsübertragung beim Aufladen von Elektrofahrzeugen auf das Verhalten von Labornagern

1.6 Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der wesentliche Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer dauerhaften Erhöhung der Körpertemperatur um 1°C gesundheitlich relevante Beeinträchtigungen beobachtet wurden.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nichtthermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder konnten bisher - trotz intensiver jahrzehntelanger Forschung - wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für intensive Handynutzung von mehr als 15 Jahren durch Kinder und Erwachsene. Diese Unsicherheiten in der Risikobewertung führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hochfrequente elektromagnetische Felder in die Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft hat. Im Hinblick auf die bei 5G zukünftig zur Verwendung kommenden hohen Frequenzen im Millimeterwellenbereich liegen vergleichsweise wenige Studien zu möglichen negativen Gesundheitseffekten vor. Da die Absorption dieser Felder sehr nahe an der Körperoberfläche stattfindet (die Eindringtiefe der Felder beträgt ab 20 GHz 1 mm und weniger) sind direkte Wirkungen auf innere Organe nicht zu erwarten. Mögliche Auswirkungen würden - wenn überhaupt - hauptsächlich Haut und Augen betreffen. Hierzu hat das BfS weitere Forschung initiiert.

1.6.1 Forschung zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

Folgende Forschungsvorhaben wurden begonnen bzw. sind beendet:

- Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit (Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022040532025)
- Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022063033222)
- Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerkes zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Expositionen mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen) (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Smart cities: Abschätzung der Gesamtexposition des Menschen durch zusätzliche 5G Mobilfunktechnologien anhand modellierter Zukunftsszenarien (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- Beteiligung an einer Folgestudie zur Verifikation oder Falsifikation der Ergebnisse der NTP-Langzeitstudie an Mäusen und Ratten zu Ganzkörperexposition mit Mobilfunkfeldern (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)

1.6.2 Frequenzbereiche übergreifende Forschungsvorhaben (Hoch- und Niederfrequenz)

Folgende Forschungsvorhaben wurden begonnen bzw. sind beendet:

- Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien (siehe Programmreport 2019 S.237 ff, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424)
- Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt. Abschlussbericht unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020050821802

1.6.3 Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber

Ein wichtiges Element, das die Vorsorgemaßnahmen der Bundesregierung im Mobilfunkbereich unterstützt, ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber, die diese im Nachgang zur Versteigerung der UMTS-Lizenzen im Jahr 2001 gegenüber der Bundesregierung abgegeben hatten. Damit sollten die Konflikte beim Netzausbau verringert und die Vorsorge im Bereich Mobilfunk auf freiwilliger Basis verstärkt werden. Teil der freiwilligen Selbstverpflich-

tung war 2001 die Zusage, das vom BMUV initiierte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) anteilig mit 8,5 Millionen Euro zu unterstützen. Es wurden insgesamt 54 Forschungsvorhaben zu den Teilbereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und zur Risikokommunikation durchgeführt. Diese Forschungsvorhaben sind alle abgeschlossen (siehe http://www.emf-forschungsprogramm.de).

Im Jahr 2008 wurde die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber erneuert und im Februar 2012 ergänzt. Die Ergänzung der Selbstverpflichtung 2012 beinhaltet erneut die Förderung von wissenschaftlicher Forschung mit dem Schwerpunkt im Bereich Wissensmanagement und Risikokommunikation.

Ein letztes Forschungsvorhaben wurde 2018 begonnen:

- Nutzung von Mobiltelefon und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 (http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022063033222)

Berichte über Forschungsvorhaben, die über die freiwillige Selbstverpflichtung mitfinanziert wurden, sind auf http://doris.bfs.de abrufbar.

Im April 2020 erfolgte eine Fortschreibung der freiwilligen Selbstverpflichtung mit dem Schwerpunkt Kleinzellen. Es wurde erwartet, dass sich mit der steten Steigerung des zu übertragenden Datenvolumens auch der Bedarf an Kleinzellen erhöht. Durch die Fortschreibung verpflichten sich die Mobilfunkbetreiber, auch bei Kleinzellen dasselbe Schutzniveau einzuhalten, das für Basisstationen größerer Leistung durch die 26. BImSchV gesichert ist, auch wenn die 26. BImSchV für kleinere Basisstationen mit einer Sendeleistung von weniger als 10 Watt EIRP nicht gilt.

1.6.4 Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung mittels Gutachten

Durch unabhängige Gutachten wird seit 2002 in regelmäßigen Abständen überprüft, ob die Zusagen der Mobilfunknetzbetreiber, die in der Selbstverpflichtung gemacht wurden, eingehalten werden. Die Gutachten prüfen verschiedene Möglichkeiten, die Kommunen und die Öffentlichkeit besser mit Informationen zum Netzausbau und zu Mobiltelefonen zu versorgen. Die Ergebnisse des Gutachtens 2021 sind noch nicht veröffentlicht.

1.7 Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

Das Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) wurde im Februar 2020 als Teil des BfS gegründet. Standort des Kompetenzzentrums ist Cottbus. Das KEMF bündelt die im BfS vorhandene Expertise zu statischen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen sowie zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und wird die Forschung und Kommunikation auf diesem Gebiet intensivieren. Zu den Aufgaben des KEMF zählen zielgruppenspezifische Information, Kommunikation und Vernetzung ebenso wie die Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes sowie Initiierung von Forschung bei wissenschaftlichen Unsicherheiten. Die offizielle Eröffnung des KEMF fand am 28. Oktober 2021 statt.

1.7.1 Kommunikation

Mit der Gründung des KEMF soll insbesondere die Kommunikation vor Ort gestärkt werden. Hierfür sind mehrere Formate in Planung, darunter der Einsatz von Infomobilen sowie ein Schulungsangebot für Multiplikatoren, wie bspw. Mediziner und Medizinerinnen, Lehrer und Lehrerinnen sowie lokale Behördenmitarbeiter und Behördenmitarbeiterinnen. Informationsbedarf besteht in der Bevölkerung vor allem in Hinblick auf die Einführung von 5G. Hier besteht teils eine große Verunsicherung und in vielen Gemeinden wird der Bau von Mobilfunkmasten von einem Teil der Bewohnerinnen und Bewohner abgelehnt. Weiterer Informationsbedarf in der Bevölkerung besteht in vom Stromnetzausbau betroffenen Gebieten. Der Ausbau wird von der Bevölkerung vor Ort teilweise deutlich kritisiert, teils aus Gründen der Optik aber auch bezüglich noch offener Fragen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen.

1.7.2 Forschung

Das KEMF führt die Forschung im Bereich statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder fort und intensiviert diese (siehe hierzu Abschnitte 1.4, 1.6.1 und 1.6.2). Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben, die Verfolgung und Bewertung externer nationaler und internationaler Studien sowie die Berücksichtigung von Übersichtsarbeiten ausgewiesener Expertengremien und Organisationen bilden die Grundlage für die Risikobewertung des BMUV und des KEMF. Die Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF und NF werden zielgruppengerecht und bevölkerungsnah vermittelt.

1.7.3 EMF-Monitoring

Im Rahmen der Gründung des KEMF wurde ein verstärktes EMF-Monitoring beschlossen. Dieses Monitoring soll die bisherigen Aktivitäten des BfS im Bereich Erfassung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, bspw. Verfolgung wissenschaftlicher Publikationen und Vergabe von Forschungsvorhaben, erweitern. Am 25./26. November 2021 fand hierzu in München ein Fachgespräch statt, das dem

Erfahrungsaustausch in Bezug auf nationale und internationale Monitoringkonzepte und -aktivitäten diente. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist die tatsächliche Exposition von Personen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern relevant. Ein systematisches, flächendeckendes und repräsentatives Expositionsmonitoring, das den gesamten EMF-Frequenzbereich abdeckt, ist jedoch aufgrund des hohen zeitlichen und personellen Aufwands sowie technischer Einschränkungen nicht zu erreichen. Umfassende Immissionsmonitorings lassen qualitativ den Schluss zu, dass der Expositionsbeitrag durch ortsfeste Anlagen klein ist. Es gibt aber kein allgemein anerkanntes Konzept, insbesondere im Hochfrequenzbereich, um quantitativ von Immissionsdaten auf die tatsächliche Exposition zu schließen. Immissionsmessungen können für die (Risiko-)Kommunikation dennoch hilfreich sein, und punktuelle Messungen sind wichtig bei der Bewertung neuer Technologien. Mittels Personenexposimetern kann die Exposition von Personen erfasst werden, wobei es nicht möglich ist, die Beiträge von körpernah betriebenen Endgeräten angemessen zu erfassen. Trotz dieser Einschränkung sind Messungen mit Personenexposimetern in Referenzszenarien und auf Messrouten wertvoll für den Erkenntnisgewinn und die Kommunikation, und die Wiederholung dieser Messungen kann Zeittrends erkennen lassen.

1.8 Runder Tisch Elektromagnetische Felder

Im Jahr 2004 wurde unter Leitung des Bundesamtes für Strahlenschutz ein Runder Tisch eingerichtet. Aus dem ursprünglichen, das DMF-Forschungsprogramm begleitenden Runden Tisch (RTDMF) wurde inzwischen ein auch den Strahlenschutz beim Ausbau der Stromnetze begleitender Runder Tisch (RTEMF). Er ist ein unabhängiges Beratungs- und Diskussionsgremium, das der Transparenz bei der Vermittlung und Kommunikation von Erkenntnissen im Bereich EMF-Strahlenschutz dient. Fragen, wie wissenschaftliche Forschungsergebnisse verständlich kommuniziert werden können, wie eine kritische Öffentlichkeit informiert und betroffene Bürgerinnen und Bürger rechtzeitig und angemessen in Entscheidungsprozesse eingebunden werden können, sind sowohl für den Mobilfunk als auch für den Stromnetzausbau relevant. Der RTEMF hat sich als Forum etabliert, auf dem unterschiedliche Akteure ihre Sichtweisen und Erkenntnisse zu Fragen des Strahlenschutzes bei EMF diskutieren und austauschen können. Die Protokolle der Sitzungen und die aktuelle Mitgliederliste sind unter
www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/runder-tisch/runder-tisch_node.htm einzusehen. Seit 2020 wird die Geschäftsstelle des RTEMF vom KEMF geleitet.

1.9 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat bereits im Jahr 2001 die Einführung von Qualitätskriterien empfohlen, die bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen zur Minimierung von Expositionen zu beachten sind. Für Verbraucher stellt die Nutzung strahlungsarmer Produkte eine Möglichkeit zur Minimierung der persönlichen Belastung mit elektromagnetischen Feldern dar und dient damit der Vorsorge gegenüber möglichen biologische Wirkungen dieser Felder.

In den Folgejahren sind unter Mitwirkung des BfS für unterschiedliche Verbraucherprodukte Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen „Blauer Engel" erarbeitet worden. In Form von Qualitätskriterien wurden Anforderungen an die Strahlungseigenschaften definiert, die Hersteller für die Geräteentwicklung nutzen können.

Für strahlungsarme Mobiltelefone gilt der Kriterienkatalog DE-UZ 106: Bis 2017 konnten Geräte, die unter Laborbedingungen einen gemessenen SAR-Wert von höchstens 0,6 W/kg (also deutlich unter dem empfohlenen Expositionsgrenzwert von 2 W/kg) aufweisen und zudem besonders umweltfreundlich konstruiert worden sind, ausgezeichnet werden. Anders als Grenzwerte zum Schutz vor nachgewiesenen Wirkungen orientiert sich der niedrigere Wert am technisch Machbaren. Im Jahr 2017 erschien eine überarbeitete Vergabegrundlage für das Umweltzeichen für Mobiltelefone. Neben der Absenkung des Strahlenschutzkriteriums für den SAR-Wert am Kopf auf max. 0,5 W/kg gibt es nun auch für den Anwendungsfall "Betrieb des Gerätes am Körper" einen Richtwert von max. 1,0 W/kg, ermittelt ohne Abstand zum Körper.

Das BfS stellt die von Herstellern oder deren Beauftragten unter standardisierten Laborbedingungen ermittelten SAR-Werte der auf dem deutschen Markt verfügbaren Mobiltelefone in einer Liste zusammen und veröffentlicht die Daten unter http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html. Die Liste umfasst insgesamt 3 850 klassische Mobiltelefone, Smartphones und Tablets, wobei für 3 511 Geräte ein SAR-Wert für den Anwendungsfall „Betrieb am Kopf“ und für 1 935 Geräte für den Anwendungsfall „Betrieb am Körper" vorliegt. In Tabelle T VI.1 erfolgt eine statistische Auswertung der Daten dieser Geräte aus der SAR-Liste.

Zurzeit weisen knapp 36 % der aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone und Smartphones einen am Kopf ermittelten SAR-Wert von „≤ 0,5 W/kg“ auf und erfüllen damit die Anforderung des Blauen Engels für den Anwendungsfall „Betrieb am Kopf“. Für eine Auszeichnung mit dem Umweltzeichen (aus strahlenhygienischer Sicht) müsste aber auch das zweite Strahlenschutzkriterium „SAR-Wert ≤ 1,0 W/kg in 0 mm Abstand“ gemessen für den Anwendungsfall „Betrieb des Handys am Körper“ erfüllt sein (Abbildung B VI 1.4-1).

In der Prüfvorschrift für diese Expositionssituation ist die Messposition nicht exakt festgelegt und die Messergebnisse für verschiedene Geräte daher nur eingeschränkt vergleichbar: Durfte früher bei einem Abstand von bis zu 25 Millimetern gemessen werden, sind seit 2017 nur noch Messungen in einem Abstand von maximal 5 Millimetern zulässig. Das BfS gibt die bei den Herstellern abgefragten Werte zusammen mit den Messpositionen auf seiner Inter-

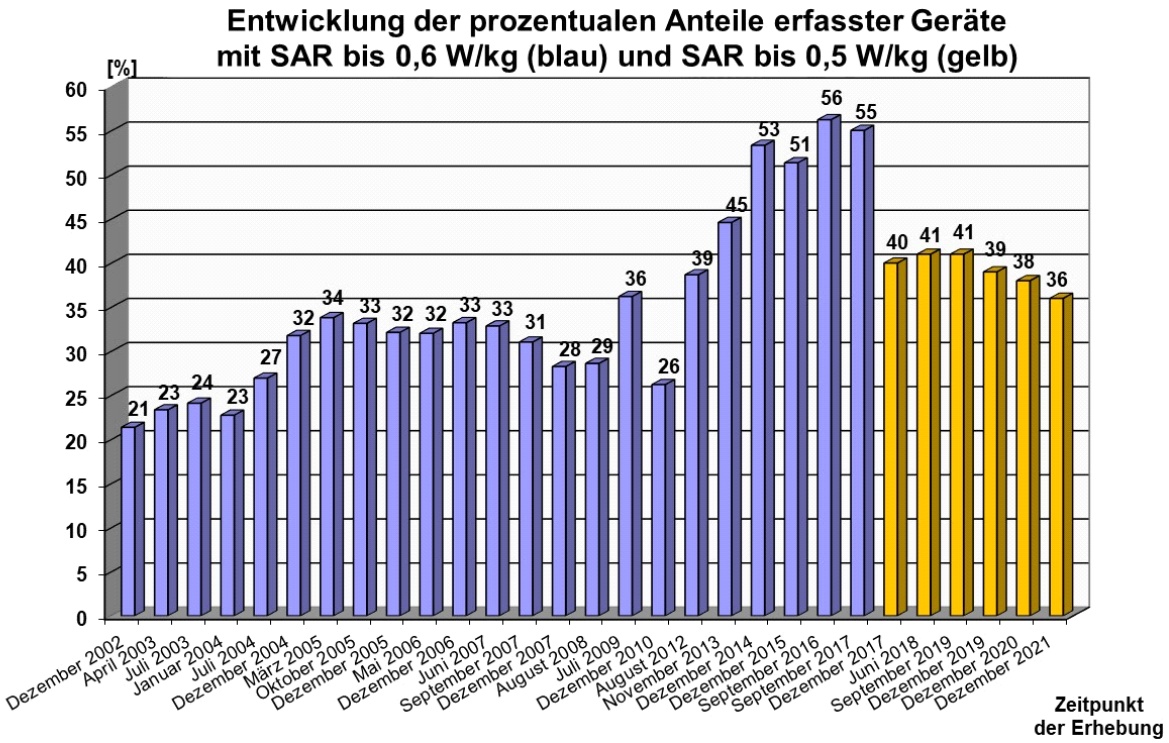


Abbildung B VI 1.4-1 Entwicklung des Anteils „strahlungsarmer“ Mobiltelefone (gemäß Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“)
(Development of the number of low-radiation mobile phones according to the radiation protection criterion of the ecolabel "Blue Angel")

netseite an und weist darauf hin, dass die Exposition bei geringeren Gebrauchsabständen höher als angegeben sein kann.

Von insgesamt 3850 Geräten der SAR-Werteliste des BfS weisen acht einen SAR-Wert <= 1 W/kg bei einem Messabstand von 0 mm auf. Bei vielen anderen Geräten ist der SAR-Wert bei einem Messabstand von 0 mm nicht bekannt. Um trotz dieser schlechten Datenlage abschätzen zu können, wie viele Geräte aus der SAR-Werteliste einen SAR-Wert von 1 W/kg direkt am Körper einhalten könnten, wird in Tabelle T VI.1 auch der Prozentsatz der Geräte angegeben, die bei einem Messabstand von 0,5 cm zum Körper einen SAR-Wert „≤ 0,5 W/kg“ einhalten. Zumindest bei einigen dieser Geräte kann man erwarten, dass sie dann auch in einem Abstand von 0 mm zum Körper einen SAR-Wert ≤ 1 W/kg einhalten würden.

Außer für Mobiltelefone gibt es bereits seit längerem einen Kriterienkatalog für digitale Schnurlostelefone: Geräte, die im Standby das Basisstations-Sendesignal abschalten und weitere Bedingungen erfüllen, können ausgezeichnet werden.

Weitere Produkte, die ausgezeichnet werden können, wenn bestimmte Anforderungen an die Strahlungseigenschaften nachgewiesen werden, sind:
- Babyüberwachungsgeräte
- Haushaltslampen
- Router.

Hersteller strahlungsarmer Produkte nutzen den „Blauen Engel“ leider nur vereinzelt.

2. Ultraschall - Forschung und allgemeine Themen

Unter Ultraschall wird Schall, also die Ausbreitung von Druck,- bzw. Dichtewellen in elastischen Medien verstanden, bei dem die Frequenz über der des hörbaren Schalls (bis ca. 16 kHz) liegt. Da die Grenze des menschlichen Hörens altersabhängig jedoch 20 kHz teilweise übersteigt, wird in der Regel ab 20 kHz von Ultraschall gesprochen. Durch die Angabe von Terzmittenfrequenzen von 20 kHz in Normen und Richtlinien ergibt sich für Ultraschall bei Berücksichtigung der Terzbandbreite eine untere Grenzfrequenz von 17,82 bis 17,96 kHz[1]. Es existieren jedoch für Ultraschall

[1] Die untere Grenzfrequenz hängt von der Definition der Oktave (Terz = Drittel - Oktave) ab, die in verschieden Dokumenten unterschiedlich angegeben ist. Physikalisch umfasst die Oktave ein Frequenzband, bei dem die untere und obere Grenzfrequenz sich um einen Faktor 2 unterscheiden. Es existieren jedoch auch Angaben der Oktave, bei dem der Faktor 3 dB ($=10^{0,3}$ = ca. 1.995) beträgt.

auch Definitionen ab 16 kHz. Im Vakuum kann Ultraschall sich nicht ausbreiten, da Ultraschall - anders als elektromagnetische Wellen - ein kompressibles oder elastisches Materiemedium benötigt. Ultraschall kann sich als Longitudinal- (Teilchenbewegung in Schallpropagationsrichtung) oder Transversalwelle (Teilchenbewegung quer zur Schallpropagationsrichtung) ausbreiten, die Ausbreitungsform hängt jedoch vom Medium ab. Für Gase und Flüssigkeiten, die in der Regel keinen großen Schubmodul aufweisen, sind lediglich Longitudinalwellen von Relevanz. Einige technische Geräte können Ultraschall als (unerwünschtes) Nebenprodukt erzeugen während andere den Ultraschall gezielt nutzen. In beiden Fällen ist eine Exposition des Menschen möglich (und teilweise auch gewollt), die unter bestimmten Umständen risikobehaftet ist. Es ist zwischen luftgetragenem und in den Körper eingekoppelten Ultraschall zu unterscheiden.

2.1 Ultraschall im Körper

Um nennenswerte Ultraschallintensitäten in den Körper einkoppeln zu können, muss der große Schallkennimpedanzsprung an den Grenzflächen Ultraschallquelle-Luft-Körper entfallen. Da die Schallkennimpedanz der Luft um ca. 3 Größenordnungen kleiner als die von Metallen oder biologischem Gewebe ist, kann eine gute Einkopplung nur durch die Verwendung von Ultraschallkopplungsgelen, Wasser oder direktem Körperkontakt erreicht werden. Neben der unbeabsichtigten Einkopplung von Ultraschall in den Körper (Industrie), werden Ultraschall-Longitudinal- aber in seltenen Fällen auch Transversalwellen (z.B. bei der Elastographie) gezielt zu diagnostischen, therapeutischen oder kosmetischen Zwecken eingesetzt.

In den letzten Jahren ist ein Trend zur vermehrten Nutzung des Ultraschalls in der Kosmetik oder zu anderen nichtmedizinischen Zwecken beobachtbar, der bis vor kurzem in Deutschland keiner Regulierung unterlag. Ende 2020 trat die NISV in Kraft, die die gewerbliche Anwendung von Ultraschallgeräten am Menschen zu kosmetischen oder sonstigen nichtmedizinischen Zwecken sinnvoll einschränkt. Von dieser Regelung sind jedoch die Geräte an sich nicht betroffen und können weiterhin ohne Einschränkung erworben werden. Es besteht daher die Möglichkeit, dass aufgrund der Regelungen der NISV auf die "Eigenbehandlung" ausgewichen wird. Im Internet werden leistungsfähigere Geräte, die mit der Fähigkeit der Lipolyse von Fettgewebe beworben werden, teils zur Miete und teils zum Erwerb, angeboten. Die zugrundeliegenden Parameter der Geräte und die sich daraus ergebenden Expositionen und Wirkungen sind häufig nicht klar, auch weil die derzeit genutzten Kennwerte teilweise unzureichend sind.

Im BfS-Forschungsvorhaben FKZ 3620S72412 (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257) werden die Freifeld-Schallfelder repräsentativer, frei erhältlicher Gerätetypen vermessen, um das Risiko besser bewerten zu können.

3. Optische Strahlung

3.1 Solares UV-Monitoring

Ausführliche Informationen finden sich im Grundlagenbericht, Kapitel VI (UV-Strahlung)

Im Rahmen des deutschlandweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA sowie des Deutschen Wetterdienstes und weiteren assoziierten Institutionen (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) wurden im Jahr 2021 insgesamt 32 Messstationen betrieben - zwölf Messstationen mit Spektralratiometer, die die UV-Strahlung Wellenlänge für Wellenlänge erfassen, und 20 Stationen mit Breitbandradiometern. Die UV-Strahlung der Sonne wurde an diesen Stationen kontinuierlich von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang gemessen.

Im Dezember 2021 wurde die 13. spektral vermessende Station am Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes aufgebaut. Die Messungen begannen Ende 2021. Zur Erweiterung des UV-Messnetzes mit Breitbandradiometern wurden 2021 Vorbereitungen getroffen.

Die Messdaten aller Stationen werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesammelt, dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig als UV-Index (UVI, https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/einfuehrung/einfuehrung.html) auf den Internetseiten des BfS (https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/aktuelle-tagesverlaeufe/aktuell_node.html) und über das BfS Geoportal (www.imis.bfs.de/geoportal) veröffentlicht.

In den Sommermonaten werden zusätzlich 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte vom BfS im Internet unter www.bfs.de/uv-prognose veröffentlicht und per Newsletter (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-newsletter/uv-newsletter_node.html) an Abonnenten verschickt. Zusätzlich werden über Instagram (https://www.instagram.com/strahlenschutz_bfs/) Warnmeldungen bei ungewöhnlich hohen UVI-Werten herausgegeben. In den Wintermonaten, von Oktober bis März, in denen die den Erdboden erreichende UV-Bestrahlungsstärke niedrig ist, werden 3-Monats-Prognosen veröffentlicht.

Die Messungen ergaben, dass im Juni und Juli 2021 die höchsten Tagesspitzenwerte des UV-Index erreicht wurden. In Nord- und Mitteldeutschland lagen diese bei 6 bis 8, in Süddeutschland bei 7 bis 9. Im Hochgebirge wurden 2021 im Mai, Juni und Juli die höchsten Tagesspitzenwerte gemessen. Sie lagen zwischen 8 und 11. Der UVI-Wert 11 wurde an 15 Tagen im Juni und Juli erreicht. In diesen beiden Monaten war die Gesamt-Ozonsäule (Stratosphäre und Troposphäre) über der nördlichen Hemisphäre niedrig, wie die Daten von TEMIS (v2.0 UV index and UV dose overpass

file; http://www.temis.nl/uvradiation/UVarchive.html; https://www.temis.nl/uvradiation/UVarchive/stations_uv.php) zeigen. Ähnlich niedrige Gesamt-Ozonwerte traten auch im Juni und Juli 2020 auf.

Da der Mensch über keinen unmittelbaren Sensor zur Registrierung von UV-Strahlung verfügt, ist die Gefahr groß, dass sich Menschen unbewusst UV-Strahlung zu lange aussetzen und Sonnenbrände erleiden, wodurch sich das Hautkrebsrisiko signifikant erhöht (https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/). Zeitnahe und flächendeckende Messungen der bodennahen solaren UV-Strahlung und die Veröffentlichung des davon abgeleiteten UVI sind darum wichtig und notwendig. Das UV-Monitoring dient somit über den wissenschaftlichen Anspruch hinaus der Aufklärung und zeitnahen Warnung und stellt damit ein effektives Tool der Hautkrebsprävention dar.

3.2 Forschung

Mikroskalige Modellierung von UV-Belastung

Um verhältnispräventive Maßnahmen wie Schaffung von Schattenoasen sinnvoll zu planen, sind Werkzeuge zu schaffen, mit denen sich übermäßige UV-Belastungen an einem bestimmten kleinräumigen (mikroskaligen) Ort wie Außenbereiche von Kindergärten, Schulhöfe oder Stadtparks abschätzen lassen. Die vom Bundesamt für Strahlenschutz hierzu initiierte Machbarkeitsstudie wurde mit positivem Ergebnis 2021 abgeschlossen. Darauf aufbauend wurde 2021 das Forschungsvorhaben "Mikroskalige Modellierung von UV-Belastungen und gefühlter Temperatur in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention" mit Beginn im Jahr 2022 ausgeschrieben.

- Machbarkeitsstudie zur mikroskaligen Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention - 3619S72490
  (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)
- - Mikroskalige Modellierung von UV-Belastungen und gefühlter Temperatur in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention - 3621S72430

Umfrage: Verhältnispräventive Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen

Die Rate der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen steigt weiterhin. Die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse haben nach derzeitigen Prognosen das Potenzial, auch dieses Problem noch zu verschärfen. Ärzteschaft und Institutionen des Strahlenschutzes drängen darum auf eine wirkungsvolle Prävention UV-bedingter Erkrankungen (s. Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses, www.bfs.de/uv-grundsatzpapier) durch deutschlandweite Etablierung weiterer verhältnispräventiver Maßnahmen. Im Rahmen der „Nationalen Versorgungskonferenz Hautkrebs“ (NVKH, https://nvkh.de) wurde unter anderem das Versorgungsziel „Schattenspendende Maßnahmen zum Schutz vor hohen UV-Belastungen im Freien sind deutschlandweit in den Lebenswelten der Menschen vorhanden“ formuliert. Um dieses Versorgungsziel zu erreichen, ist zunächst der Ist-Zustand zu erfassen. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat darum 2019 ein Forschungsvorhaben initiiert, mit dessen Hilfe bereits vorhandene UV-reduzierende Maßnahmen wie schattenspendende Strukturen bundesweit erfasst und katalogisiert werden sollen. Das Forschungsvorhaben wurde Ende 2021 abgeschlossen. Ergebnisse werden für 2022 erwartet.

- Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen - 3619S72401
  (siehe Programmreport 2020 http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257)

Missbrauch starker optischer Strahlungsquellen - Blendattacken und Augenschäden

Die missbräuchliche Verwendung starker optischer Strahlungsquellen wie Laserpointer oder Lasertaschenlampen stellt ein Risiko für die Allgemeinbevölkerung dar. Bei Blendattacken auf Flugzeug- oder Fahrzeugführerinnen und -führer sind Augenschäden nicht ausgeschlossen, im Vordergrund steht jedoch die Beeinträchtigung der Handlungsfähigkeit. Hier sind nicht nur die direkt angegriffenen Personen betroffen, sondern durch die erhöhte Unfallgefahr auch andere Verkehrsteilnehmer, Passagiere von Flugzeugen, Bussen oder Zügen sowie Anwohnerinnen und Anwohner und Passantinnen und Passanten. Das 2020 gestartete Projekt „Blendattacken und Augenschäden durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen“ (3620S72410) wurde Ende 2021 abgeschlossen. Es wurden erstmals Daten über die Zahl von in Deutschland erfassten Laserattacken aus den Bereichen Luft-, Straßen- Schienen- und Schiffsverkehr sowie Fußverkehr über einen Zeitraum von 5 Jahren (2015 - 2019, in Teilen noch 2020) erhoben, wobei jedoch von einer großen Dunkelziffer auszugehen ist. Im Bereich der Laserattacken liefert das Projekt erste Informationen über die unterschiedlichen "Tätergruppen" (Attacken im Luftverkehr eher Erwachsene, im Straßen- und Bahnverkehr eher Minderjährige), die für eine mögliche zielgruppenspezifische Ansprache herangezogen werden können. Die Problematik der Nachahmungstäter muss dabei bedacht werden.

Aus 24 Augenkliniken konnten Fälle von Augenschäden durch Laserstrahlung zusammengetragen werden. Dabei zeigte sich, dass häufig Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene bis 25 Jahren betroffen sind. Die Ergebnisse des Projekts unterstreichen die Notwendigkeit, zielgruppengerechte Informationen zu verstärken und insbesondere das Ri-

sikobewusstsein zum Thema Laserpointer zu erhöhen. Der Abschlussbericht des Projekts ist unter http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2021121530236 abrufbar.

Das Thema wird weiter verfolgt. 2021 wurde das Projekt "Augenschäden und Blendattacken durch Laserpointer - Zielgruppenspezifische Risikokommunikation" für den Ressortforschungsplan 2022 vorgeschlagen. Es wird in den Ressortforschungsplan 2023 aufgenommen

Fern-UV-C

Seit einiger Zeit werden UV-C-Desinfektionsgeräte als "sicher" oder zumindest als risikoärmer beworben, die mit kurzwelligem UV-C ("Far UV-C", Maximum meist bei Wellenlängen um 222 nm) arbeiten. Far-UV-C-Geräte sollen wegen der geringen Eindringtiefe der Strahlung ohne Sicherheitsbedenken in öffentlichen Räumen eingesetzt werden können, während sich dort Personen auch für längere Zeit und wiederholt aufhalten. Das betrifft alle Bereiche, beispielsweise Gaststätten, Hotels, Geschäfte, Büros, Krankenhäuser, Schulen und Kindertagesstätten und damit die gesamte Bevölkerung inklusive vulnerabler Gruppen. Um hier die Datenlage zu verbessern, wurde 2021 das Projekt "Wirkung von Fern-UV-C-Strahlung auf sensitive menschliche Haut: Induktion von DNA-Schäden" in den Ressortforschungsplan 2022 eingebracht.

Temporal Light Artefacts

Unter dem Begriff "Temporal Light Artefacts“ (TLA) werden unterschiedliche visuelle Effekte zusammengefasst, die durch Schwankungen der Lichtintensität oder der spektralen Verteilung einer Lichtquelle entstehen. Ein Beispiel ist das sogenannte „Flimmern“ von Lichtquellen. Zu diesem Thema wurde unter dem Titel "Temporal Light Artefacts (TLA) - Flimmern und Stroboskopeffekte" am 09.-10.03.2021 ein online-Workshop durchgeführt. Diskutiert wurden unter anderem biologische Wirkungen von TLA, Mess- und Bewertungsmethoden, Expositionsermittlung, Möglichkeiten zur Reduktion von TLA, regulatorische Maßnahmen und Normen sowie Empfehlungen und Verbraucherinformationen. Das Protokoll des Workshops ist unter
https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/bfs/protokoll-fachgespraech-tla.pdf?__blob=publicationFile&v=4
verfügbar. Das Thema wird weiterverfolgt.

3.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

2011 initiierte das BfS das UV-Schutz-Bündnis, um die Prävention UV-bedingter Erkrankungen, insbesondere des Hautkrebses, zu stärken. Mittlerweile ist das UV-Schutz-Bündnis eine Kooperation von 28 Arbeitsgemeinschaften, Behörden, Fachgesellschaften, gemeinnützigen Organisationen, Instituten, Stiftungen, Verbänden und Vereinen aus den Bereichen Wissenschaft, Strahlenschutz, Arbeitsschutz, Medizin, Prävention, Gesundheitsförderung und Gesundheitsversorgung, die sich seit Jahren für gelebten UV-Schutz einsetzen (www.bfs.de/uv-schutz-buendnis.de). Die Koordinierungsstelle des Bündnisses liegt beim Bundesamt für Strahlenschutz.

2017 veröffentlichte das UV-Schutz-Bündnis das Grundsatzpapier „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ (siehe www.bfs.de/uv-grundsatzpapier), das inzwischen auch in Bezug auf die Aktivitäten Deutschlands zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beachtet und zitiert wird.

2021 wurde weiter daran gearbeitet, im Grundsatzpapier konkret genannte Maßnahmen umzusetzen. So wurde vom BfS die Erweiterung des UV-Messnetzes (s. Absatz 3.1 Solares UV-Monitoring) vorangetrieben und ein niederschwelliges, digitales Angebot für die 5. und 6. Klassen aller Schultypen erstellt sowie unter
http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2021121530236 veröffentlicht. Es besteht aus einem Erklärvideo und einem Arbeitsblatt inklusive Hilfestellung zur Bearbeitung des Arbeitsblattes sowie einer Lehrerhandreichung mit weiterführenden Informationen und Web-Links.

3.4 Klimawandel und UV-Strahlung

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse haben nach derzeitigen Prognosen das Potenzial, auch das Problem des Anstiegs der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen noch zu verschärfen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist Partner im Behördennetzwerk „Klimawandel und Anpassung“, das als Netzwerk von Bundesbehörden und -institutionen die Arbeiten zur Umsetzung der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) unterstützt. Des Weiteren ist das Bundesamt für Strahlenschutz im Bund-Länder-Dialog "Gesundheit im Klimawandel" vertreten, der vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) organisiert ist.

Die Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insbesondere Hautkrebs)“ wurde in das Handlungsfeld "Menschliche Gesundheit" der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (KWRA 2021), die 2021 veröffentlicht wurde, neu aufgenommen. Das Bundesamt für Strahlenschutz arbeitete hierzu Texte zur Beschreibung dieser Klimawirkung auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes aus. Die Klimawirkungs- und Risikoanalyse attestiert der Klimawirkung "UV-bedingte Gesundheitsschäden" ein hohes Klimarisiko und ein entsprechend hohes Handlungserfordernis - unter anderem aufgrund der steigenden Hautkrebsneuerkrankungen, der in 20 Jahren um 81 % gestiege-

nen Zahl an stationären Behandlungen von Hautkrebs-Patienten, der innerhalb von 20 Jahren um 53 % gestiegenen Sterbefälle aufgrund von Hautkrebs und dass für die Etablierung effektiver Anpassungsmaßnahmen ein Zeitraum von bis zu 50 Jahren geschätzt wurde.

Das Thema „Klimawandel und UV-Strahlung“ wurde 2020 auch für die zu aktualisierende onkologische S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ in einem eigenen Kapitel aufbereitet. Es werden darin nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand die Auswirkungen des Klimawandels auf die globale und regionale Lufttemperatur und auf die UV-Strahlungsbelastung, die Entwicklung der Morbidität und Mortalität der Gesellschaft bei steigender Lufttemperatur und UV-Strahlungsbelastung und der Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung von "Low-Ozone-Events" in der nördlichen Hemisphäre beschrieben. Da das Wetter und die gefühlte Temperatur sehr starken Einfluss darauf haben, ob und wie lange sich Menschen im Freien aufhalten, wurden darüber hinaus die bisherigen Erkenntnisse bezüglich temperaturabhängiger Verhaltensmuster in den unterschiedlichen Lebenswelten und der Einfluss klimawandelbedingt veränderter Verhaltensmuster auf die Hautkrebsinzidenz zusammengefasst. Im dritten Part dieses Kapitels werden städtebauliche sowie technische und organisatorische Maßnahmen allgemein zur Vermeidung gesundheitlicher Folgen des Klimawandels aufgrund von Hitzeentwicklung und UV-Belastung betrachtet und mögliche Wege zu einer UV-Schutz-optimierten Kommune skizziert. Die Ausführungen in der onkologischen S3-Leitlinie verdeutlichen die dringend notwendige Etablierung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Reduzierung von Morbidität und Mortalität UV-bedingter Erkrankungen. Die aktualisierte S3-Leitlinie wurde 2021 veröffentlicht.
(https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention)

3.5 Rechtliche Regelungen

Solarien

Das Benutzungsverbot von Solarien durch Minderjährige (geregelt seit August 2009 im „Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG)) gilt nunmehr seit elf Jahren, die gemäß NiSG erlassene „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher Ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) seit acht Jahren. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben obliegt den Bundesländern.

Das BMUV und das BfS haben sich auch 2021 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt.

Laut der Berichte der Bundesländer zeigen auch die 2021 durchgeführten Kontrollen Mängel in der Umsetzung der rechtlichen Vorgaben. Vor allem Betreiber von Solarien in Hotels, Fitness-Betrieben und Bäder scheinen Probleme bei der Einhaltung des Verbots für Minderjährige zu haben. Weiter zeigte sich, dass das Personal von Solarienbetrieben nicht adäquat, also nicht durch Kurse bei akkreditierten Schulungsträgern, qualifiziert ist, vorgeschriebene Aushänge fehlen und Geräte- und Betriebsbücher nicht ordnungsgemäß geführt werden. Ebenso existieren immer noch Selbstbedienungs-Sonnenstudios, obwohl dies gemäß UV-Schutz-Verordnung seit 2012 nicht mehr möglich ist.

Verordnung „Nichtionisierende Strahlung“ (NiSV)

Mit der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) werden insbesondere Anforderungen an den Betrieb und an die Fachkunde professioneller Anwender*innen nichtionisierender Strahlung zu kosmetischen und sonstigen nichtmedizinischen Zwecken rechtlich verbindlich geregelt. Im Bereich der optischen Strahlung stehen Anwendungen wie die Tattooentfernung mit Lasergeräten und die dauerhafte Haarentfernung (Epilation) mit Lasern oder IPL-Geräten im Vordergrund. Die NiSV trat am 31. Dezember 2020 in weiten Teilen in Kraft. Die Anforderung zum Nachweis der Fachkunde für Anwendungen, die nicht unter Arztvorbehalt stehen, sollte ursprünglich am 31. Dezember 2021 in Kraft treten. Unter anderem bedingt durch die COVID-19-Pandemie waren die Etablierung geeigneter Schulungsangebote und der Erwerb der Fachkundenachweise bis Ende 2021 jedoch nicht realisierbar. Daher wurde die Frist 2021 mit der Verordnung zur Änderung der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts (BGBl. I S. 4646) auf den 31. Dezember 2022 verschoben. Mitarbeiterinnen des BfS nahmen 2021 an Sitzungen der Länderarbeitsgruppe AG-NiSG teil. Wie schon 2020 standen Fragen zum Vollzug und zum Erwerb der Fachkunde im Vordergrund.

TABELLEN

(Überarbeitungsstand 2021)

(TABLES)

I. Tabellen zur natürlichen Umweltradioaktivität
(Tables on natural environmental radioactivity)

Tabelle T I.1 **Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)**
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2021 - Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Fortluftmengen in 10^9 m^3/a	gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Rn-222 in TBq/a *		langlebige α-Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)
2007	5,0	65,2	(269,0)	5,4	(78,4)
2008	3,6	92,9	(267,6)	4,9	(77,8)
2009	3,1	98,8	(267,6)	3,1	(77,8)
2010	2,6	101,2	(267,6)	4,55	(77,8)
2011	2,1	98,6	(267,6)	2,85	(77,8)
2012	2,0	97,3	(287,6)	2,67	(74,5)
2013	1,5	89,1	(121,6)	1,44	(4,0)
2014	1,5	91,1	(121,6)	1,7	(3,6)
2015	1,5	98,1	(121,6)	1,8	(3,6)
2016	1,5	104,1	(121,6)	1,25	(3,6)
2017	1,5	102,1	(121,6)	0,93	(3,6)
2018	1,3	111,1	(121,6)	2,4	(5,1)
2019	1,3	109,0	(120,0)	2,7	(3,5)
2020	1,3	112,0	(120,0)	1,0	(3,5)
2021	1,3	117,0	(120,0)	1,7	(3,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.2 **Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)**
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10^9 m^3/a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		langlebige α-Strahler in MBq/a *	
	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020
Schlema/Alberoda	1	1	1,32	1,32	117 (120)	112 (120)	1,7(3,5)	1,0 (3,5)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.3 **Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)**

(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2021 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Abwassermenge in 10^6 m^3/a	gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Ra-226 in GBq/a*	
1998	14,7	3,8	(12,8)	4,8	(14,8)
1999	14,7	3,8	(9,4)	2,7	(13,6)
2000	16,1	4,1	(11,3)	3,6	(15,4)
2001	14,3	2,8	(13,1)	0,7	(16,7)
2002	18,4	4,5	(8,4)	0,8	(7,0)
2003	14,6	3,1	(8,2)	0,3	(6,8)
2004	13,9	2,8	(8,2)	0,2	(6,7)
2005	14,8	2,2	(8,0)	0,3	(6,7)
2006	16,3	2,4	(9,0)	0,3	(7,9)
2007	19,2	3,1	(9,0)	0,4	(8,2)
2008	20,2	3,0	(9,1)	0,3	(8,4)
2009	20,9	3,2	(9,5)	0,4	(8,5)
2010	25,0	4,4	(9,7)	0,6	(8,5)
2011	19,5	3,1	(10,5)	0,5	(8,8)
2012	16,1	2,6	(10,7)	0,7	(9,0)
2013	21,1	3,2	(11,1)	0,6	(9,0)
2014	18,1	1,9	(11,4)	0,4	(9,2)
2015	18,0	2,1	(9,9)	0,2	(7,3)
2016	18,0	1,8	(11,1)	0,4	(9,2)
2017	15.3	1,8	(11,1)	0,4	(9,2)
2018	12,0	1,6	(10,8)	0,3	(9,2)
2019	13,8	1,7	(11,0)	0,3	(9,2)
2020	11,9	1,3	(11,0)	0,2	(9,2)
2021	16,1	1,6	(10,9)	0,4	(9,2)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle T I.4 **Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)**
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge in 10^6 m^3/a *		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2021	2020	2021	2020	2021	2020
ZWICKAUER MULDE (SACHSEN)	**7,159 (-)**	**4,937 (-)**	**0,993 (6,836)**	**0,821 (6,836)**	**0,169 (4,321)**	**0,114 (4,321)**
Schlema/Alberoda	6,711 (-)	4,601 (-)	0,964 (6,810)	0,777 (6,810)	0,160 (4,282)	0,107 (4,282)
Crossen	0,347 (-)	0,232 (-)	0,029 (-)	0,044 (-)	0,0011 (-)	0,0004 (-)
Pöhla	0,101 (-)	0,104 (-)	0,0002 (0,026)	0,0002 (0,026)	0,0074 (0,039)	0,0061 (0,039)
ELBE (SACHSEN)	**1,876 (5,869)**	**1,806 (5,885)**	**0,265 (1,708)**	**0,229 (1,713)**	**0,004 (2,284)**	**0,011 (2,284)**
Königstein	1,876 (5,869)	1,806 (5,885)	0,265 (1,708)	0,229 (1,713)	0,011 (2,278)	0,011 (2,284)
WEISSE ELSTER (THÜRINGEN)	**7,016 (12,965)**	**5,133 (13,000)**	**0,377 (2,444)**	**0,227 (2,450)**	**0,195 (2,600)**	**0,066 (2,600)**
Ronneburg (WBA)	4,780 (9,636)	3,588 (9,662)	0,128 (1,445)	0,083 (1,449)	0,089 (1,927)	0,064 (1,932)
Seelingstädt	2,236 (3,329)	1,545 (3,338)	0,249 (0,999)	0,144 (1,001)	0,106 (0,666)	0,002 (0,668)

* Genehmigungswerte in Klammern (-) keine Wassermenge festgelegt

Tabelle T I.5 **Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen**
(Calculation of authorised limits for liquid discharges)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	genehmigte Wassermenge in m^3/h		genehmigte max. Konzentration	genehmigter Jahresmittelwert der Konzentration
Pöhla	15	multipliziert mit	0,2 mg/l Uran, 0,3 Bq/l Radium-226	
Königstein	650			0,3 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226
WBA Ronneburg	1 100		0,15 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	
Seelingstädt	380			0,3 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226
WBA Schlema	1 200		0,5 mg/l Uran, 0,4 Bq/l Radium-226	
Crossen	-		0,5 mg/l Uran, 0,2 Bq/l Radium-226	

Tabelle T I.6 **Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2020/2021 und Sommer 2021; Messwerte der Wismut GmbH)**
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2020/2021 and summer 2021 - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Rn-222-Konzentrationen			Maximum Bq/m³
		≤ 30 Bq/m³	31 - 80 Bq/m³	> 80 Bq/m³	
Winter 2020/2021					
Schlema/Alberoda	71	20	38	6	129
Pöhla	4	4	0	0	28
Seelingstädt	20	20	2	0	43
Crossen	24	24	0	0	28
Königstein	8	8	0	0	13
Gittersee	6	4	0	0	30
Ronneburg	27	27	0	0	27
Sommer 2021					
Schlema/Alberoda	70	24	29	17	444
Pöhla	5	4	0	1	83
Seelingstädt	23	20	3	0	56
Crossen	25	24	1	0	52
Königstein	8	7	1	0	36
Gittersee	6	4	2	0	54
Ronneburg	26	25	2	0	41

Tabelle T I.7 **Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2021 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)**
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2021 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Winter (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m³)			Sommer (Rn-222-Konzentrationen in Bq/m³)		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2021	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2021
Schlema/Alberoda	16	40	25	22	39	31
Pöhla *	14	35	21	18	29	24
Seelingstädt	11	39	20	15	37	24
Crossen	13	35	21	17	37	25
Königstein	11	31	17	13	36	20
Gittersee	15	34	24	21	47	31
Ronneburg	10	40	20	15	37	25

* Im Gebiet Pöhla wurden mit Abschluss der wesentlichen Sanierungsarbeiten die Messungen an bergbaulich unbeeinflussten Messstellen im Winterhalbjahr 2005/06 eingestellt.

Tabelle T I.8 **Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)**
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenentnahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Ra-226 in mBq/l	
			2021	2020	2021	2020
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,013	0,018	<10	<10
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,026	-	<10	-
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	<10	<10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,018	0,016	12	14
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,019	0,017	16	19
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,0015	0,0018	13	12
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,0041	0,0036	13	11
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	0,001	0,001	<10	<10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165A	0,012	0,014	16	22
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,0034	0,0049	12	<10
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,0051	0,0061	12	<10
	Oberrothenbacher Bach	M-204	0,29	0,50	11	13
	Zinnborn	M-232	0,071	0,090	50	72
Thüringische Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weiße Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,001	0,001	<16	<22
	Weiße Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,003	0,003	<10	<10
	Lerchenbach (Culmitzsch)	E-369	0,075	0,065	34	<10
	Fuchsbach vor Mündung	E-383	0,040	0,041	<10	<10
	Weiße Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,003	0,003	<10	<10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,017	0,012	12	<10
	Vereinigte Sprotte	s-609	0,004	0,004	<10	<10
	Wipse	e-437	0,015	0,015	16	11
	Weiße Elster	e-419	0,003	0,003	<10	<10

Tabelle T I.9 **Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen**
(Results of radionuclide assessments by building material categories)

Produkte	spezifische Aktivität (Bq/kg)						
	Probenzahl	K-40		Th-228		Ra-226	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Gipsprodukte	5	<20	120	1,6	5,8	3,8	13
Kalksandsteine	3	35	180	2,8	7,2	4,1	10
Mineralwolle	7	49	350	4,7	64	16	80
Ziegel	27	470	1200	37	98	38	63
Zement/Mörtel	11	135	380	11	21	11	35
Fliesen/Keramik	5	295	620	39	97	67	110
Porenbeton	10	97	350	4,8	19	8	26
Mörtel	7	120	310	6	31	11	53
Putze	19	12	220	0,9	31	2	22
Estrich	5	210	295	11	34	11	26
Leichtbeton	7	710	850	28	83	27	98
Beton	3	230	560	10	47	13	25

II. Tabellen zur künstlichen Umweltradioaktivität
(Tables on artificial radioactivity in the environment)

Tabelle T II.1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ [a]	elektr. Brutto-leistung (MW)**	Bruttostrom-erzeugung 2021* (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Karlsruhe	MZFR	D_2O-DWR	57	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KRB-A	SWR	250	0	1966/1977	Donau
Jülich	AVR	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	KWL	SWR	252	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	KWO	DWR	357	0	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	KNK II	NaR	21	0	1977/1991	Rhein
Würgassen	KWW	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Stade	KKS	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Greifswald 1 - 5	KGR 1-5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Biblis A	KWB A	DWR	1 225	0	1974/2011	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1 300	0	1976/2011	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN I	DWR	840	0	1976/2011	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	0	1976/2011	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	0	1977/2011	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1 410	0	1978/2011	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	0	1979/2011	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1 345	0	1981/2015	Main
Krümmel	KKK	SWR	1 402	0	1983/2011	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	308	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KRB-B	SWR	1 344	0	1984/2017	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1 430	1 266	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-C	SWR	1 344	1 305	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1 468	0	1984/2019	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1 302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1 480	1 374	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1 485	1 378	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1 406	1 296	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN II	DWR	1 400	1 273	1988	Neckar

a SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D_2O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

** Quelle: Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Betrieb" und Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Stilllegung", Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung, https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/berichte-ueber-sichten/berichte-ueberichten_node.html

Tabelle T II.2 **Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland**
(Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung * (MW)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München, Forschungsreaktor München, Forschungs-Neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz	FRM I FRM II	4 20	1957/2000 2004
Rossendorf	HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf, VKTA-Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V.	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	Helmholtz-Zentrum Hereon (früher GKSS-Forschungszentrum)	FRG 1 FRG 2	5 15	1958/2010 1963/1995
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe (KIT)	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich	FRJ 1 FRJ 2	10 23	1962/1985 1962/2006
Mainz	Johannes Gutenberg-Universität	FRMZ	0,1	1965
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1	1967/1995
Neuherberg	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (früher GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit)	FRN	1	1972/1982
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	0,25	1973/1996
Berlin	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	BER II	10	1973/2019
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	0,25	1978/1999

* im Dauerbetrieb

Tabelle T II.3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland
(Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany)

Standort	Erteilung der Genehmigung nach AtG	Beginn des Betriebes	Stellplätze gesamt (Ende 2021 belegt)	Stellplätze gesamt (Ende 2020 belegt)
SZL Biblis	22.09.2003	18.05.2006	135 (108)	135 (108)
SZL Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	100 (35)	100 (35)
SZL Brunsbüttel	28.11.2003[a]	05.02.2006	80 (20)	80 (20)
SZL Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	88 (54)	88 (54)
SZL Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	100 (37)	100 (37)
SZL Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	192 (103)	192 (80)
SZL Isar	22.09.2003	12.03.2007	152 (79)	152 (79)
SZL Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	80 (42)	80 (42)
SZL Lingen	06.11.2002	10.12.2002	125 (47)	125 (47)
SZL Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	151 (94)	151 (89)
SZL Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	152 (62)	152 (62)
SZL Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	80 (40)	80 (40)
AVR-Behälterlager Jülich (SZL)	17.06.1993[b]	23.08.1993	158 (152)	158 (152)
TBL Ahaus (ZL)	10.04.1987	25.06.1992	420 (56)[c]	420 (56)[c]
TBL Gorleben (ZL)	05.09.1983	25.04.1995	420 (113)	420 (113)
TBL im ZLN Rubenow (ZL)	05.11.1999	11.12.1999	80 (74)	80 (74)

a Genehmigung aufgehoben, Aufbewahrungsanordnung der Aufsichtsbehörde gilt bis zur Erteilung einer vollzieh- und ausnutzbaren Aufbewahrungsgenehmigung oder Erlass einer abweichenden Anordnung fort

b Genehmigung inzwischen ausgelaufen, siehe:
Bredberg I, Faas D, Hutter J, Kühn K, Niedzwiedz K, Hebig-Schubert, K, Wähning R: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2020. BASE-Bericht BASE-N-01/21,
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121430223, Salzgitter, Dezember 2021

c Im Transportbehälterlager Ahaus waren im Berichtsjahr wie auch im Vorjahr 329 Behälter auf 56 Stellplätzen deponiert, siehe: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2019 (a. a. O.)

SZL Standort-Zwischenlager
TBL Transportbehälterlager
ZLN Zwischenlager Nord
AVR Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
ZL Zwischenlager

Tabelle T II.4 Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in Deutschland
(Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar * (Stand 31.12.2021)	Inventar (Stand 31.12.2020)
Morsleben	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (bis 25.04.2017 Bundesamt für Strahlenschutz)	ERAM	1971	37 263 m^3 / 7,7 E13 Bq	37 260 m^3 / 8,0 E13 Bq
Remlingen	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (bis 25.04.2017 Bundesamt für Strahlenschutz; davor bis 2009 Helmholtz Zentrum München)	Schachtanlage Asse II	1967	2,04 E15 Bq**	2,10 E15 Bq**

* Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Ohne Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 3,8 E14 Bq. Das Inventar beinhaltet nicht die derzeit zwischengelagerten Abfälle.

** berechnet mit der Datenbank „Assekat ISS 9.3“ und dem darin implementierten Programm „PAI“ (Stand: Februar 2010)

Tabelle T II.5 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg[a)]	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)[b)]	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

[a)] außer Betrieb seit 2019

[b)] stillgelegt seit 2020

Tabelle T II.6 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021)

Kernkraftwerk	Aktivitätsableitung in Bq				
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	C-14 (als Kohlenstoffdioxid)	H-3
KKR Rheinsberg [b)]	-	1,6 E05	-	-	-
KGG Gundremmingen A [c) l)]	-	nn	-	1,1 E07	9,5 E08
KWL Lingen [c)]	-	nn	-	nn	nn
KWO Obrigheim [d)]	-	nn	-	2,1 E08	3,5 E08
KKS Stade [e)]	-	nn	-	-	-
KWW Würgassen [f)]	-	nn	-	4,2 E07	7,6 E08
KGR Greifswald [b)]	-	nn	-	-	-
KWB Biblis A [g)]	-	nn	-	2,1 E09	8,7 E10
KWB Biblis B [g)]	-	nn	-	1,4 E09	7,4 E10
GKN Neckarwestheim 1 [g)]	-	6,3 E04	-	nn	3,9 E09
KKB Brunsbüttel [g)]	nn	1,8 E06	nn	3,5 E09	1,5 E10
KKI Isar 1 [g)]	-	nn	-	4,3 E07	4,8 E09
KKU Unterweser [g)]	-	4,4 E05	-	1,3 E09	2,3 E10
KKP Philippsburg 1 [g)]	-	1,3 E05	-	2,0 E10	6,3 E09
KKG Grafenrheinfeld [i)]	-	9,5 E04	-	3,4 E08	7,7 E10
KKK Krümmel [g)]	nn	8,9 E04	nn	5,4 E09	1,5 E10
KGG Gundremmingen B [j)], C	6,3 E12	4,3 E05	6,7 E07	2,6 E11	1,5 E11
KWG Grohnde	nn	nn	nn	3,7 E10	1,8 E11
THTR Hamm-Uentrop [h)]	-	nn	-	nn	5,4 E07
KKP Philippsburg 2 [k)]	7,3 E10	nn	-	7,8 E09	4,4 E11
KMK Mülheim-Kärlich [h)]	-	nn	-	1,8 E07	1,0 E09
KBR Brokdorf	2,0 E11	nn	nn	1,3 E11	1,4 E11
KKI Isar 2	1,6 E12	nn	nn	7,3 E10	1,5 E11
KKE Emsland	1,7 E11	nn	nn	9,6 E10	7,7 E11
GKN Neckarwestheim 2	1,1 E11	nn	nn	1,6 E11	2,3 E11

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Sr-89, Sr-90 und Alphastrahler
b) Betrieb beendet 1990
c) Betrieb beendet 1977
d) Betrieb beendet 2005
e) Betrieb beendet 2003
f) Betrieb beendet 1994
g) Betrieb beendet 2011
h) Betrieb beendet 1988
i) Betrieb beendet 2015
j)Betrieb beendet 2017
k) Betrieb beendet 2019
l) einschließlich Ableitungswerte aus dem Technologiezentrum (TZG)
- Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)
k. A. keine Angaben

Tabelle T II.7 **Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021**
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheins-berg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgas-sen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Ar-41	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr-85m	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr-85	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr-87	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr-88	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr-89	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-131m	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-133m	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-133	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-135m	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-135	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-137	-	-	-	-	-	-	-	-
Xe-138	-	-	-	-	-	-	-	-

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Neckar-westheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterwe-ser	Philippsburg 1	Grafen-rheinfeld	Krümmel	Gundrem-mingen B, C
Ar-41	-	nn	-	-	-	-	nn	1,4 E11
Kr-85m	-	nn	-	-	-	-	nn	nn
Kr-85	-	nn	-	-	-	-	nn	1,5 E11
Kr-87	-	nn	-	-	-	-	nn	nn
Kr-88	-	nn	-	-	-	-	nn	4,8 E11
Kr-89	-	nn	-	-	-	-	nn	7,7 E11
Xe-131m	-	nn	-	-	-	-	nn	2,7 E09
Xe-133m	-	nn	-	-	-	-	nn	nn
Xe-133	-	nn	-	-	-	-	nn	7,0 E10
Xe-135m	-	nn	-	-	-	-	nn	8,6 E11
Xe-135	-	nn	-	-	-	-	nn	5,8 E11
Xe-137	-	nn	-	-	-	-	nn	2,4 E12
Xe-138	-	nn	-	-	-	-	nn	8,4 E11

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Ar-41	nn	-	nn	-	1,7 E11	7,8 E11	1,7E11	7,1 E10
Kr-85m	nn	-	nn	-	nn	1,6 E08	nn	nn
Kr-85	nn	-	7,3 E10	-	nn	8,4 E11	nn	3,1 E10
Kr-87	nn	-	nn	-	nn	2,4 E08	nn	3,4 E08
Kr-88	nn	-	nn	-	nn	1,0 E09	nn	8,9 E08
Kr-89	nn	-	nn	-	nn	1,3 E09	nn	nn
Xe-131m	nn	-	nn	-	nn	9,2 E09	nn	7,8 E09
Xe-133m	nn	-	nn	-	nn	2,3 E09	nn	6,9 E08
Xe-133	nn	-	nn	-	4,6 E09	4,5 E08	nn	2,3 E08
Xe-135m	nn	-	nn	-	nn	1,6 E08	nn	5,5 E07

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Xe-135	nn	-	nn	-	3,1 E10	3,2 E08	nn	3,2 E08
Xe-137	nn	-	nn	-	nn	8,3 E08	nn	6,3 E08
Xe-138	nn	-	nn	-	nn	9,8 E08	nn	nn

- Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)
k. A. keine Angaben

Tabelle T II.8 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 (I-131: Tabelle T II.6)
(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021 - I-131: Table T II.6)

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheinsberg	Gundrem-mingen A	Lingen	Obrigheim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	1,3 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	4,9 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	3,2 E04	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Rheinsberg	Gundremmingen A	Lingen	Obrigheim	Würgassen	Stade	Greifswald	Biblis A
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq								
	Biblis B	Neckarwestheim 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krümmel	Gundremmingen B, C
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	6,3 E04	1,1 E06	nn	4,2 E05	8,7E04	9,5E04	8,9E04	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	3,9 E05
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	4,5 E04
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	7,4 E05	nn	1,5E04	4,5E04	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckarwestheim 2
Cr-51	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Radio-nuklid	Aktivitätsableitung in Bq							
	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar-westheim 2
Mn-54	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-57	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-58	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Fe-59	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Co-60	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zn-65	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-89	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sr-90	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Zr-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Nb-95	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-103	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ru-106	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ag-110m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-124	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb-125	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Te-123m	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-134	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cs-137	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ba-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
La-140	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-141	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Ce-144	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-152	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-154	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Eu-155	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-238	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-(239+240)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Am-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Pu-241	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-242	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Cm-244	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)
k. A. keine Angabe

Tabelle T II.9 **Aktivitätsableitung von radioaktiven Edelgasen, I-131 und an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden (ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in den Jahren 2011 bis 2021**
(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 2011 to 2021)

Jahr	Aktivitätsableitung in Bq			Bruttostrom-erzeugung in MWa
	radioaktive Edelgase	I-131	an Schwebstoffen gebundene Radio-nuklide	
2011	1,9 E13	3,9 E07	3,3 E07	12 325*
2012	9,1 E12	2,3 E07	1,5 E07	11 354*
2013	9,9 E12	4,0 E07	6,6 E06	11 106*
2014	1,2 E13	3,6 E07	5,0 E06	11 087*
2015	4,8 E12	3,0 E07	1,3 E07	10 478*
2016	6,0 E12	4,0 E07	4,7 E07	9 661*
2017	9,7 E12	6,9 E07	6,6 E06	8 713*
2018	1,9 E13	8,6 E07	7,3 E06	8 676*
2019	1,2 E13	9,3 E07	4,4 E06	8 570*
2020	9,1 E12	1,2 E08	3,6 E06	7 328+
2021	8,5 E12	6,7 E08	3,2 E06	7 892*

* Quelle: atw, International Journal for Nuclear Power, Betriebsergebnisse, Berlin

\+ Quelle: Betriebsergebnisse der Kernkraftwerke in Deutschland für das Jahr 2020 | kernd.de | Informationen zu Kernenergie, Atomenergie, Kernkraft, Atomkraft

Tabelle T II.10 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2021
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2021)

Forschungszentrum	Aktivitätsableitung in Bq					
	radioaktive Edelgase	an Schwebstoffen gebundene Radionuklide[a)]	I-131	I-129	C-14	H-3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,0E09	7,3 E05 [b)]	nn	1,2E03	2,1E10	2,0 E12
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,7 E09	5,1 E05	nn	nn	1,3 E08	3,5 E10
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf	2,7 E10	1,9 E06	nn	nn	8,6 E07	9,0 E09
Helmholtz-Zentrum Hereon (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	nn	7,1 E03	-	-	nn	3,2 E09
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI, einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	2,5 E08	8,8 E02	nn	-	4,9 E08	3,8 E09
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	-	8,6 E07
Garching, FRM II	nn	nn	nn	-	7,4 E08	6,1 E11
Forschungsreaktor Mainz	1,2 E11	nn	nn	-	-	3,3 E06
Framatome GmbH, Standort Erlangen	7,6E05	3,5 E04	nn	nn	1,2E04	1,1E08

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler
b) davon Alphastrahler: 1,2 E04 Bq - Messung/Angabe nicht erforderlich
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Aktivitätsableitung unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.11 Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben
(Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels)

Betrieb	Aktivitätsableitung in Bq	
	2021	2020
ANF GmbH (Lingen)	<1,8 E04	<1,7 E04
URENCO D (Gronau)	2,4 E04	3,2 E04

< Messwert kleiner Erkennungsgrenze; der angegebene Wert entspricht der Erkennungsgrenze

Tabelle T II.12 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II und dem Endlager Morsleben
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben)

Radionuklid	Aktivitätsableitung in Bq	
	2021	2020
Morsleben		
H-3	1,8 E10	1,8 E10
C-14	9,7 E08	9,1 E08
Rn-222[a)]	3,2 E10	3,4 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	2,5 E06	2,2 E06
Schachtanlage Asse II		
H-3	1,4 E10	1,2 E10
C-14	1,0 E09	8,3 E08
Rn-222 (Gas)	9,8 E10	8,0 E10
an Schwebstoffen gebundene Radionuklide	1,2 E06	9,6 E06

a) gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

Tabelle T II.13 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2021 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2021 - summation values, H-3 and alpha sources)

Kernkraftwerk	Aktivität in Bq		
	Spalt- und Aktivierungs-produkte (außer H-3)	H-3	α-Strahler
Siedewasserreaktoren			
KWL Lingen a)	5,6 E05	nn	4,0 E03
KKB Brunsbüttel a)	3,7 E07	3,3 E09	nn
KKI Isar 1 a)	2,8 E07	4,6 E10	nn
KKP Philippsburg 1 a)	4,8 E06	6,9 E10	nn
KKK Krümmel a)	7,7 E06	2,6 E10	nn
KGG Gundremmingen a)	1,0 E08	1,1 E12	nn
Summe SWR	1,8 E08	1,3 E12	4,0 E03
Druckwasserreaktoren			
KWO Obrigheim a)	2,1 E05	1,7 E06	6,6 E02
KKS Stade a)	1,5 E04	6,3 E06	8,8 E01
KWB Biblis a)	2,5 E07	2,5 E12	nn
GKN Neckar a)	nn	1,9 E13	nn
KKU Unterweser a)	1,1 E07	1,9 E11	2,7 E05
KKG Grafenrheinfeld a)	4,7 E05	6,6 E11	1,2 E05
KWG Grohnde	1,9 E06	2,0 E13	nn
KKP Philippsburg 2 a)	2,8 E07	6,0 E11	nn
KMK Mülheim-Kärlich a)	6,2 E05	3,6 E06	nn
KBR Brokdorf	nn	2,9 E13	nn
KKI Isar 2	2,4 E05	2,6 E13	nn
KKE Emsland	3,8 E06	1,6 E13	nn
KGR Greifswald Block 1 bis 5 a)	nn	1,8 E08	nn
KKR Rheinsberg a)	1,3 E06	2,4 E05	7,4 E04
Summe DWR	7,2 E07	1,1 E14	4,6 E05
Summe	2,5 E08	1,1 E14	4,7 E05

a) Betrieb beendet
nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.14 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres)

Forschungszentrum	Aktivität in Bq						Abwasser in m^3
	Spalt- und Aktivierungs- produkte (außer H-3)		H-3		α-Strahler		
	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	3,18E06	2,52E06	1,66E12	1,94E12	nn	5,10E05	1,47E04
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	3,30E06	3,08E07	1,08E12	1,96E12	9,54E06	4,47E07	3,92E06
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS Forschungszentrum Geesthacht)	3,74E06	1,66 E04	1,02E08	3,20 E05	2,49E04	1,12 E02	1,25E02
Helmholtz-Zentrum Berlin (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	4,00E03	2,45E02	2,00E07	4,65E08	2,50E03	1,07E04	5,50E01
Framatome GmbH Standort Erlangen	2,96E05	5,66E05	1,57E09	6,04E09	1,67E05	1,97E05	1,10E03
Garching FRM II	9,56E06	1,11 E07	6,40E10	1,50E10	nn	nn	1,85E02
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf	6,67E06	1,28E07	7,30E08	1,50E09	1,00E04	2,60E05	8,62E02
TRIGA Mainz	7,78E04	1,72 E05	2,10E05	5,10 E05	3,30E03	1,7E05	1,73E01

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)

Tabelle T II.15 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants)

Betrieb	Aktivität in Bq				Abwasser in m^3
	α-Strahler		β-Strahler		
	2021	2020	2021	2020	2021
ANF GmbH (Lingen)	nn	nn	nn	nn	4,80 E+02
URENCO (Gronau)	9,68 E+03	3,98 E+03	5,84 E+03	3,90 E+03	6,97 E+01

nn nicht nachgewiesen (Messwerte der Aktivitätskonzentration bzw. Ableitungswerte unter der Erkennungsgrenze)
nb nicht bestimmt

Tabelle T II.16 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den End- und Zwischenlagern
(Discharges of radioactive substances with waste water from the radioactive waste repositories Morsleben und Lubmin)

Betrieb	Aktivität in Bq		Abwasser in m^3
	2021	2021	2021
	H-3	andere Nuklide	
Zwischenlager Nord Lubmin	9,50 E+05	nn	6,20 E+01
ERAM Morsleben	1,70 E+05	7,60 E+03	15,6 E+01

Tabelle T II.17 Exposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

kerntechnische Anlagen	oberer Wert * der effektiven Dosis			
	für Erwachsene in µSv		für Kleinkinder in µSv	
	2021	2020	2021	2020
KWB Biblis A, B	0,1	<0,1	0,2	<0,1
KBR Brokdorf	<0,1	0,1	<0,1	0,2
KKB Brunsbüttel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKE Emsland	0,1	0,1	0,3	0,3
KKG Grafenrheinfeld	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KGR Greifswald	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWG Grohnde	0,8	0,2	2	0,3
KGG Gundremmingen A, B, C	0,1	<0,1	0,2	0,1
KKI Isar 1, 2	0,1	0,2	0,3	0,2
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWL Lingen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
GKN Neckarwestheim 1, 2	0,1	0,1	0,2	0,1
KWO Obrigheim	<0,1	0,1	<0,1	0,1
KKP Philippsburg 1, 2	<0,1	0,2	<0,1	0,2
KKR Rheinsberg **		<0,1		<0,1
KKS Stade **		<0,1		<0,1
THTR-300 Hamm-Uentrop **		<0,1		<0,1
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWW Würgassen **		<0,1		<0,1

* berechnet für eine repräsentative Person an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
** Daten für die Expositionsberechnung liegen nicht vor

Tabelle T II.18 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water)

kerntechnische Anlagen	oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv		oberer Wert der effektiven Dosis für Kinder in µSv	
	2021	2020	2021	2020
KGG Gundremmingen A, B und C	0,3	0,4	0,5	0,6
KWO Obrigheim	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKS Stade	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWB Biblis A und B	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
KBA Biblis Block A	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
KBB Biblis Block B	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
GKN Neckarwestheim 1 und 2	2,6	2,9	5,7	6,6
KKB Brunsbüttel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKI Isar 1 und 2	0,3	1,8	0,3	3,8
KKU Unterweser	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KKP Philippsburg 1 und 2	<0,1	0,1	<0,1	0,2
KKG Grafenrheinfeld	<0,1	<0,1	0,2	0,1
KKK Krümmel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWG Grohnde	1,0	0,7	2,1	1,5
KMK Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KBR Brokdorf	0,1	<0,1	0,3	0,2
KKE Emsland	4,6	4,7	10,6	11,8
KKR Rheinsberg*	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KGR Greifswald *	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
KWL Lingen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

* Bei der Berechnung der Exposition konnten für Expositionspfade, bei denen die effektive Dosis durch langjährige Ablagerungen von Radionukliden bedingt ist, nur die seit 1990 mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden

Tabelle T II.19 Exposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	oberer Wert der effektiven Dosis in µSv			
	für Erwachsene		für Kleinkinder	
	2021	2020	2021	2020
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) früher Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	0,3	2	1,5	3
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	<0,1	3	<0,1	5
HZDR - Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf Gesamtstandort *	<0,1	0,4	<0,1	0,7
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,1	0,2	0,2	0,3
Garching, FRM I und FRM II	0,2	0,3	0,5	0,5

* 2020 Expositionswerte entnommen aus den Jahresberichten 2020 der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und Berlin

Tabelle T II.20 Exposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Forschungseinrichtung	oberer Wert der effektiven Dosis in µSv			
	für Erwachsene		für Kleinkinder	
	2021	2020	2021	2020
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	0,7	1,6	1,5	3,5
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (früher GKSS-Forschungszentrum Geesthacht)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (früher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Framatome GmbH, Standort Erlangen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Garching, FRM II	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Forschungszentrum Rossendorf	1,1	<0,1	0,4	<0,1
TRIGA Mainz	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabelle T II.21 Exposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

Betrieb	Ableitung mit der Fortluft oberer Wert der effektiven Dosis in µSv				Ableitung mit dem Abwasser oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in µSv	
	für Erwachsene		für Kleinkinder			
	2021	2020	2021	2020	2021	2020
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO (Gronau)	0,2	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1

Tabelle T II.22 Exposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation)

Betrieb	Direktstrahlung			
	Gamma-Ortsdosis in mSv/a		Neutronen-Ortsdosis in mSv/a	
	2021	2020	2021	2020
ANF GmbH (Lingen)	0,55 (MP4)	0,58 (MP4)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
URENCO (Gronau)	0,86 (MP5)	0,92 (MP5)	0,05 (alle MP, I.HJ) 0,05 (alle MP, II.HJ)	0,06 (MP6, I.HJ) 0,05 (MP4,5,9, II.HJ)

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds
MP = Messpunkt HJ = Halbjahr <= kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.23 Exposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben, der Schachtanlage Asse II und des Zwischenlagers Nord durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser

(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Fortluft oberer Wert in µSv der effektiven Dosis		Abwasser oberer Wert in µSv der effektiven Dosis	
	2021	**2020**	**2021**	**2020**
Endlager Morsleben				
Erwachsene	0,6	0,7	<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,6	1	<0,1	<0,1
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	0,6	2	<0,1	<0,1
Schachtanlage Asse II**				
Erwachsene	2,4	0,9	-	-
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	5,9	1	-	-
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	7,5	2	-	-
Zwischenlager Nord Lubmin				
Erwachsene			<0,1	<0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)			<0,1	<0,1
Säuglinge (≤ 1 Jahr)			<0,1	<0,1

** keine Ableitungen mit dem Abwasser

Tabelle T II.24 Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern
(Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities)

Zwischenlager	Gamma-Ortsdosis in mSv/a		Neutronen-Ortsdosis in mSv/a	
	2021	2020	2021	2020
Transportbehälterlager Ahaus (BZA)	0,44 (MP7,9)	0,44 (MP9)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,81 (MP15)	0,40 (MP15, I.HJ) k.A. (II.HJ)	0,07 (MP15, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)	0,07 (MP17, I.HJ) k.A. (II.HJ)
Transportbehälterlager Gorleben (BZG)	0,62 (MP8)	0,63 (MP8)	0,30 (MP13) **	0,32 (MP13, 14) **

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds

** Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des BZG Gorleben an der Grenze des Betriebsgeländes einschließlich des natürlichen Untergrunds (MP 13 und14 liegen in der Nähe des MP 6 des Betreibers)

MP = Messpunkt, HJ = Halbjahr < = kleiner Nachweisgrenze k.A. = keine Angabe

Tabelle T II.25 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air)

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main
Probenentnahmestellen: Schleswig, Offenbach/Main, Potsdam und Aachen

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin/Potsdam **		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
2011 *	2 618	<10,45	3 592	5,72	3 299	11	3 374	<5,56
2012 *	2 461	<1,5	3 261	<0,3	3 149	<0,4	3 108	<0,9
2013 *	2 430	<2,4	3 130	<0,5	2 510	<2,2	2 960	<0,9
2014 *	2 728	<1,2	3 151	<0,6	2 677	2,3	3 137	<1,1
2015 *	2 410	<1,0	3 344	<0,3	3 061	0,4	2 625	<0,9
2016 *	2 653	<0,9	3 378	0,45	3 028	0,36	2 572	<1,1
2017 *	2 490	<1,0	3 457	0,26	3 028	0,29	2 719	<1,1
2018 *	3 064	<1,2	3 895	0,25	3 670	0,41	3 200	<1,12
2019 *	2 380	<2,80	3 730	0,21	3 540	0,27	3 290	<1,26
2020 *	2 720	<2,47	3 916	0,24	3 720	0,30	3 620	<1,87
2021 *	3 150	<1,39	3393	0,22	3 569	0,28	3 397	<2,00
Januar	1 720	<1,31	1 950	0,24	2 150	<0,22	2 020	<1,89
Februar	2 930	<1,22	3 120	0,55	3 270	0,43	3 600	<1,77
März	2 780	<1,09	3 260	0,24	2 950	<0,23	3 500	<1,97
April	3 600	<1,25	4 560	0,17	4 000	0,24	5 450	<2,03
Mai	3 530	<1,25	3 850	0,14	3 820	0,34	3 500	<1,86
Juni	5 090	<1,88	4 850	<0,13	6 450	0,34	4 360	<2,12
Juli	4 260	<1,66	4 100	<0,13	4 790	0,21	3 610	<2,19
August	2 300	<1,48	2 970	<0,11	3 210	<0,20	2 840	<1,82
September	3 840	<1,66	4 960	<0,12	4 640	0,21	4 330	<2,33
Oktober	3 710	<1,44	3 430	0,25	3 590	0,25	3 830	<1,97
November	2 170	<1,36	1 670	0,29	2 230	<0,26	1 790	<2,10
Dezember	1 870	<1,04	2 000	0,29	1 730	0,44	1 930	<1,91

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** Im Mai 2010 wurde die DWD-Station Berlin nach Potsdam verlegt < Messwert kleiner Nachweisgrenze

b) Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
2011 *	3 556	0,4	10	5,27	416
2012 *	3 182	0,3	7,8	0,30	325
2013 *	3 065	0,3	8,6	0,40	327
2014 *	3 116	0,3	9,7	0,37	487
2015 *	3 010	0,3	9,4	0,2	401
2016 *	2 905	0,3	10,1	0,30	352
2017 *	3 080	0,3	8,6	0,23	349
2018 *	3 620	0,4	10,4	0,37	375
2019 *	3 489	0,4	8,1	0,22	285
2020 *	3 657	0,3	9,3	0,23	316
2021 *	3 390	0,4	7,8	0,20	297
Januar	2 220	0,2	3,7	0,21	163
Februar	3 324	0,3	10,2	0,54	487
März	3 773	0,4	6,6	0,19	215
April	3 614	0,4	7,0	0,23	226
Mai	3 452	0,4	7,0	0,14	168
Juni	5 285	0,7	13,2	0,19	328
Juli	4 232	0,6	10,9	0,10	264
August	2 804	0,3	8,3	0,09	219
September	4 103	0,3	9,2	0,19	444
Oktober	3 672	0,3	7,8	0,17	440
November	2 175	0,1	5,0	0,18	361
Dezember	2 021	0,2	5,2	0,20	255

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

c) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³			
	Be-7	Na-22	Cs-137	Pb-210
2011 *	5 310	0,47	2,7**	555
2012 *	4 660	0,43	0,26	428
2013 *	4 020	0,34	0,24	504
2014 *	4 480	0,36	0,25	521
2015 *	4 490	0,35	0,18	589
2016 *	4 620	0,35	0,15	397
2017 *	4 950	0,41	0,2	491
2018 *	5 370	0,31	0,44	640
2019 *	4 860	0,44	0,16	460
2020 *	5 390	0,45	0,27	524
2021 *	4 780	0,41	0,17	458
Januar	2 160	0,20	<0,13	230
Februar	5 130	0,44	0,40	468
März	4 210	0,36	0,16	398
April	5 940	0,62	0,16	494
Mai	4 950	0,49	<0,14	293
Juni	6 430	0,71	0,21	602
Juli	5 220	0,56	<0,17	428
August	3 980	0,33	0,16	564
September	6 550	0,44	0,15	887
Oktober	6 600	0,33	0,13	556
November	3 150	0,23	<0,13	384
Dezember	3 010	0,24	<0,12	195

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst <Messwert kleiner Nachweisgrenze

d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
2011 *	1 610	42,7**	1 620	39,7**
2012 *	1 620	2,5	1 490	3,2
2013 *	1 752	2,4	1 720	5,0
2014 *	1 761	2,4	1 727	3,5
2015 *	1 701	2,5	1 715	3,4
2016 *	1 920	2,2	1 928	2,9
2017 *	1 860	2,3	1 880	2,4
2018 *	1 670	2,4	1 700	3,1
2019 *	1 680	2,6	1 680	< 2,3
2020 *	1 660	2,2	1 660	2,1
2021 *	1 570	2,3	1 570	<4,3
Januar	1 810	<3,5	1 860	2,6
Februar	1 650	<9,5	1 640	<4,2
März	1 560	1,6	1 570	<1,9
April	1 590	2,2	1 600	<3,4
Mai	1 510	1,7	1 540	<1,4
Juni	1 480	3,1	1 410	3,6
Juli	1 430	<2,1	1 400	<3,9
August	1 440	0,9	1 430	<1,9
September	1 620	<0,8	1 610	1,5
Oktober	1 510	<0,9	1 500	2,4
November	1 620	0,8	1 650	<1,5
Dezember	1 660	<0,7	1 600	<1,5

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

** durch Emissionen aus Fukushima beeinflusst < Messwert kleiner Nachweisgrenze

Tabelle T II.26 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation)

Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2011	584,0	<468,2	<1,0	606,7	<101,9	<1,5
2012	667,7	718	<0,71	605,6	376,4	<1,15
2013	703,7	616,7	<0,77	680,6	349,3	<1,12
2014	729,5	761,4	<0,82	540,9	257,4	<1,01
2015	427,0	389,4	<0,80	566,1	254,7	<1,01
2016	853,7	567	<0,89	502,2	286	<1,19
2017	750,0	624	<0,90	749,7	457,2	<1,22
2018	479,6	510,5	<0,68	344,8	249,2	<1,00
2019	626,9	530,6	<0,70	542,3	372,9	<1,10
2020	539,6	538,1	<0,70	503,2	268,4	<0,98
2021	715,7	457,3	<0,76	617,1	376,2	<0,90
Januar	77,8	31,7	< 0,08	45,9	11,1	<0,07
Februar	64,1	29,6	< 0,05	39,8	43,4	<0,08
März	31,6	25,0	< 0,05	35,1	11,4	<0,06
April	25,9	30,6	< 0,05	32,1	25,9	<0,07
Mai	73,8	67,3	< 0,06	56,9	41,1	<0,08
Juni	123,3	91,7	<0,08	70,6	53,9	<0,07
Juli	74,3	54,0	< 0,07	51,3	37,3	<0,08

Zeitraum	Offenbach am Main			Potsdam		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
August	86,7	50,6	< 0,06	109,9	48,2	<0,08
September	33,0	12,7	< 0,05	41,9	18,4	<0,08
Oktober	39,9	29,7	< 0,06	23,5	23,7	<0,07
November	26,1	13,2	< 0,06	68,1	21,0	<0,08
Dezember	59,2	21,2	<0,07	42,0	31,8	<0,08

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m²	Deposition in Bq/m²		l/m²	Deposition in Bq/m²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
2011	715,9	<375,6	<0,84	930,1	412,3	<0,97
2012	840,0	1 032,2	<0,9	1 071,8	<192,0	<0,8
2013	695,1	721,3	<0,83	935,6	484,6	<0,88
2014	818,4	686,3	<0,85	811,3	378,4	<0,96
2015	759,1	510,8	<0,86	962,2	377,6	<0,91
2016	827,8	598	<0,76	566,1	254,7	<1,01
2017	765,0	512,7	<0,91	821,3	289,2	<0,85
2018	688,6	474,1	<0,89	1 184,8	474,5	<0,90
2019	890,2	709,5	<0,88	759,2	399,2	<0,98
2020	776,1	479,8	<0,83	917,1	344,3	<0,84
2021	1011,3	731,0	<0,96	517,1	257,9	<0,63
Januar	116,1	73,5	<0,08	82,1	26,0	<0,05
Februar	53,2	29,3	<0,08	17,3	9,1	<0,05
März	59,5	34,7	<0,08	76,4	19,1	<0,07
April	42,3	17,8	<0,06	27,8	11,7	<0,05
Mai	95,8	42,9	<0,07	*	*	*
Juni	125,0	158,0	<0,08	*	*	*
Juli	232,2	164,0	<0,08	82,1	34,5	<0,07
August	95,8	64,5	<0,08	27,8	26,0	<0,09
September	18,9	9,0	<0,08	76,4	25,0	<0,08
Oktober	57,8	37,7	<0,08	17,3	35,7	<0,04
November	41,0	31,4	<0,09	82,1	25,2	<0,06
Dezember	73,7	68,1	<0,09	27,8	45,6	<0,06

< Messwert kleiner Nachweisgrenze * Probenverlust beim Versand

Hinweis:

An der Messstelle Aachen wurde die Probenentahme auf ein automatisches System umgestellt. Zuvor wurden Niederschlagsproben gesammelt, eingedampft und der Rückstand anschließend gammaspektrometrisch ausgemessen. Nun wird der in einem Sammeltrichter aufgefangene Niederschlag zunächst filtriert und gelöste Bestandteile werden an einem Ionenaustauscher angereichert. Diese beiden Proben (Filter und Ionentauscher) werden gammaspektrometrisch analysiert. Berichtet wird die jeweils höhere Nachweisgrenze. Die Nachweisgrenzen liegen geringfügig über denen des bisherigen Verfahrens.

Tabelle T II.27 Obergrenzen für die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktstrahlung aus kerntechnischen Anlagen

(Upper limits of the exposure of members of the public due to direct radiation of nuclear facilities)

Kerntechnische Anlage	berechnete Obergrenze (effektive Jahresdosis) in mSv	
	aus Gamma-ODL	aus Neutronen-ODL
BER Berlin	0,38	k.A.
KKB Brunsbüttel #	0,53	0,11
KBR Brokdorf #	0,46	0,10
KKK Krümmel #	0,67	0,14
GKSS Geesthacht	0,38	k.A.
KKS Stade	0,27	k.A.
KKU Unterweser #	0,45	0,08
KWG Grohnde #	0,38	0,09
KKE Emsland	0,32	k.A.
KWW Würgassen	0,30	k.A.
FZJülich	0,47	0,10
THTR Hamm-Uentrop	0,38	k.A.
KWB Biblis #	0,44	0,09
KKP Philippsburg #	0,32	0,07
KWO Obrigheim #	0,48	k.A.
GKN Neckarwestheim #	0,40	0,07
FZ Karlsruhe	0,39	k.A.
KKIIsar	0,42	0,18
KKG Grafenrheinfeld #	0,53	*
KGG Gundremmingen B #	0,44	0,18
KGR Greifswald	0,36	k.A.
VKTA Rossendorf	0,39	k.A.
KKR Rheinsberg	0,30	k.A.
KMK Mülheim-Kärlich	0,51	k.A.
ZLN Nord	0,33	0,09
BZG Gorleben	0,39	0,22
BFLLingen	0,35	0,13
UAG Gronau ~	0,11	0,00
ERAM Morsleben	0,38	k.A.
Framatom Erlangen	0,37	k.A.
Framatom Karlstein	0,38	k.A.
BZA Ahaus	0,30	0,05
FRM Garching	0,53	k.A.
Schachtanlage Asse	0,39	k.A.

\# Dosisberechnung für Kernkraftwerk und standortnahes Brennelemente-Zwischenlager

k.A. keine Angaben. Daten waren nicht in den REI-Berichten enthalten.

* Daten aus REI-Berichten lagen vor. Wegen fehlenden Angaben zu den Messorten konnte nicht entschieden werden, ob die Messwerte innerhalb oder außerhalb des Betriebsgeländes bestimmt wurden.

~ Messwerte abzüglich der natürlichen Hintergrundstrahlung

Tabelle T II.28 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131)

(Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	I-131 (mBq/m^3)						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BER Berlin	2	<0,62	<0,68	<0,57	<0,52	<0,51	<0,5	<0,5
KKB Brunsbüttel	2	<0,28	<0,28	<0,28	<0,27	<0,31	*	*
KBR Brokdorf	2	<0,18	<0,16	<0,17	<0,17	<0,16	<0,15	<0,17
KKK Krümmel	3	<0,35	<0,37	<0,34	<0,40	<0,40	<0,37	<0,37
GKSS Geesthacht	1	<0,16	*	*	*	*	*	*
KKS Stade	1	*	*	*	*	*	*	*
KKU Unterweser	2	<2,0	<2,0	<2,0	-		-	-
KWG Grohnde	3	<1,6	<1,6	<1,7	-	-	<1,5	<1,7
KKE Emsland	2	<0,33	<0,33	<0,33	-	-	<0,31	<0,31
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	<0,34	<0,37	<0,36	<0,35	<0,40	<0,38	*
KKP Philippsburg	4	<0,57	<0,61	<0,52	<0,47	<0,48	<0,44	
KWO Obrigheim	3	*	*	*	*	*	*	*
GKN Neckarwestheim	2	<0,57	<0,58	<0,66	<0,56	<0,57	<0,54	<0,56
FZ Karlsruhe	3	<0,23	<0,14	<0,12	<0,13	<0,13	<0,11	<0,1
KKI Isar	3	<0,26	<0,25	<0,25	<0,26	<0,26	<0,26	<0,25
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,31	<0,27	<0,27	<0,29	<0,27	<0,25	
KGG Gundremmingen B	3	<0,17	<0,16	<0,14	<0,14	<0,13	<0,13	<0,13
KGR Greifswald	2	*	*	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	<0,072	<0,11	<0,11	<0,14	<0,11	<0,11	<0,12
KKR Rheinsberg	-	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	*	*	*

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte

* Messungen eingestellt

Tabelle T II.29 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)

(Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	Co-60 (mBq/m^3)						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BER Berlin	2	<0,24	<0,35	<0,31	<0,29	<0,29	<0,3	<0,3
KKB Brunsbüttel	2	<0,063	<0,062	<0,063	<0,062	<0,062	<0,043	<0,041
KBR Brokdorf	2	<0,054	<0,062	<0,066	<0,080	<0,080	<0,080	<0,052
KKK Krümmel	3	<0,037	<0,041	<0,05	<0,041	<0,041	<0,05	<0,051
GKSS Geesthacht	1	<0,035	<0,028	<0,029	<0,028	<0,028	<0,029	<0,026
KKS Stade	1	-	-	-	-	-	-	-
KKU Unterweser	2	<0,4	<0,4	<0,4	-	-	<0,12	
KWG Grohnde	3	<0,15	<0,15	<0,14	-	-	<0,14	<0,14
KKE Emsland	2	<0,24	<0,29	<0,31	-	-	<0,26	<0,28
KWW Würgassen	2	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	3	<0,11	<0,12	<0,12	<0,13	<0,13	<0,12	<0,11
KKP Philippsburg	4	<0,028	<0,031	<0,027	<0,025	<0,025	<0,026	<0,025
KWO Obrigheim	3	<0,053	<0,052	<0,062	<0,051	<0,051	<0,038	<0,04
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,13	<0,12	<0,13	<0,13	<0,17	<0,13
FZ Karlsruhe	3	<0,007	<0,007	<0,006	<0,006	<0,006	<0,005	<0,0067
KKI Isar	3	<0,27	<0,28	<0,28	<0,29	<0,29	<0,28	<0,28
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,1	<0,062	<0,064	<0,070	<0,070	<0,080	<0,062
KGG Gundremmingen B	3	<0,21	<0,26	<0,23	<0,24	<0,24	<0,22	<0,24
KGR Greifswald	2	<0,12	<0,26	<0,22	<0,21	<0,21		<0,33
VKTA Rossendorf	3	<0,011	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,019	<0,019
KKR Rheinsberg	2	*	*	*	*	*	*	*
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,14	<0,13	<0,14	<0,19	<0,19	<0,19	<0,18

N Zahl der Messstationen - keine Messwerte
* Messungen eingestellt

Tabelle T II.30 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)

(Messwerte der Betreiber)

Probenentnahmestelle	N	γ-Ortsdosisleistung in nSv/h						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BER Berlin	2	68	[69]^{6}	69	70	[70]^{9}	69	69
KKB Brunsbüttel	2	93	93	93	96	93	94	91
KBR Brokdorf	2	88	90	90	94	92	92	90
KKK Krümmel	3	77	77	76	79	78	79	77
GKSS Geesthacht	1	84	83	84	84	84	84	83
KKS Stade	1	a	a	a	a	a	a	a
KKU Unterweser	2	91	103	102	[102]^{6}	[109]^{9}	113	116
KWG Grohnde	3	93	97	97	[95]^{6}	a	97	97
KKE Emsland	2	71	71	71	[71]^{6}	a	71	72
KWW Würgassen	3	a	a	a	a	a	a	a
FZ Jülich	12	106	105	102	106	106	106	106
THTR Hamm-Uentrop	2	80	81	80	86	81	80	79
KWB Biblis	3	106^{m}	104^{m}	106^{m}	107^{m}	107^{m}	107^{m}	95
KKP Philippsburg	4	105	104	107	107	106	107	106
KWO Obrigheim	2	118	120	117	111	116	126	125
GKN Neckarwestheim	2	125	127	129	137	130	133	127
FZ Karlsruhe	6	107	93^{MTv}	92	93	92	93	92
KKI Isar	3	92	93	92	95	96	96	74^{MT}
KKG Grafenrheinfeld	3	101	101	102	103	103	105	92^{l}
KGG Gundremmingen B	3	89	91	83	86	90	90	89
KGR Greifswald	20	83^{j}	[83]^{9j}	85^{j}	87^{j}	[86]^{9j}	[86]^{6j}	90
VKTA Rossendorf	2	114	115	118	114	[110]^{3}	[113]^{9}	103
KKR Rheinsberg	4	a	a	a	a	a	a	a
KMK Mülheim-Kärlich	2	116	117	114	113	112	114	115**

N Zahl der Messstationen
[ ]i unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)
a Daten liegen nicht vor
j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsüberwachungsprogramm
l Messstelle Oberndorf wurde am 01.04.2021 außer Betrieb genommen
m Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert; Messstation Ibersheim ab 01.04.2013 ersatzlos entfallen
v Verlegung von Messstationen innerhalb der Ortschaften
** Die Messstationen (RFÜ-System) wurden alle am 30.06.2021 außer Betrieb genommen
* Messungen eingestellt
MT Austausch des Messsystems

Tabelle T II.31 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60)

Probenentnahmestelle	N	Aktivität in Bq/m² oder in Bq/l						
		2017	2017	2018	2018	2019	2020	2021
		(Bq/l)	(Bq/m²)	(Bq/l)	(Bq/m²)	(Bq/m²)	(Bq/m²)	(Bq/m²)
BER Berlin	1		<0,52		<0,52	<0,45		<0,55
KKB Brunsbüttel	2		<0,92		<0,50	<0,43	<0,72	<0,65
KBR Brokdorf	2		<0,62		<0,44	<0,47	<0,54	<0,6
KKK Krümmel	4		<0,99		<0,45	<0,57	<0,73	<0,75
GKSS Geesthacht	2		<2,0		<0,84	<1,3	<1,1	<1,4
KKS Stade	1		*		*	*	*	*
KKU Unterweser	2		<0,37				<0,39	<0,52
KWG Grohnde	2		<3,1			-	<1,1	<2,2
KKE Emsland	2		<0,71			-	<0,81	<0,68
KWW Würgassen	2				*	*	*	*
FZ Jülich	1	<0,05			<0,05	<0,05		
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*	*	*	*
KWB Biblis	2		<1,0		<0,69	<0,95	<0,71	<0,46
KKP Philippsburg	4		<1,4		<0,94	<1,3	<1,2	<1,4
KWO Obrigheim	2		<5,0		<3,7	<3,1	<1,9	<2,3
GKN Neckarwestheim	2		<1,8		<1,2	<1,6	<1,2	<1,4
FZ Karlsruhe	3		<1,2		<1,3	<1,2	<1,3	<1,3
KKI Isar	3		<2,3		<2,1	<1,9	<2,3	<2,8
KKG Grafenrheinfeld	2		<0,5		<0,56	<0,58	<0,48	<0,33
KGG Gundremmingen B	2		<1,2		<1,4	<1,5	<1,5	<1,8
KGR Greifswald	2		<2,6		<1,4			<1,9
VKTA Rossendorf	2		<0,99		<0,70	<0,82	<0,91	<0,9
KKR Rheinsberg	2		<0,16				<0,16	<0,16
KMK Mülheim-Kärlich	2		<0,77		<0,52	<0,60	<0,58	<0,7

* Messungen eingestellt - keine Messwerte N Zahl der Messstationen

Tabelle T II.32 Übersicht über die für 2021 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten

(Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2021, in accordance with the StrlSchG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Kompartiment / Nuklid	Anzahl der Messungen	maximaler Einzelmesswert	Gewässer	Entnahmeort bzw. KT-Anlage	Datum/ Zeitraum	Überwachungsprogramm
Oberflächenwasser (Bq/l)						
Gα	210	0,164	Mosel	Wincheringen, km 222,2	Juli	StrlSchG
Gβ	125	5,3	Salzbach	ERAM Morsleben	Oktober	REI
H-3	1732	5460	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
Co-60	1695	nn	-	-	-	-
Sr-90	296	0,0344	Elbe	Cuxhaven, km 724,5	November	StrlSchG
I-131	502	0,023	Prims	Nalbach, km 7,51	III. Quartal	StrlSchG
Cs-137	1659	0,0365	Arendsee	Arendsee	22.02.	StrlSchG
Pu-(239+240)	110	0,0000637	Elbe	Hamburg, km 628,8 Seemannshöft	Juli	StrlSchG
Schwebstoff (Bq/kg TM)						
Co-58	83	3,42	Mosel	Perl, km 241,9	Juni	StrlSchG
Co-60	553	1,98	Mosel	Perl, km 241,9	November	StrlSchG
I-131	294	64,2	Spree	Berlin-Schöneweide, km 27,2	Oktober	StrlSchG
Cs-137	553	210	Steinhuder Meer	Wunstorf	II. Quartal	StrlSchG
Lu-177	7	57,9	Rhein	Weil, km 170,3	November	StrlSchG
Sediment (Bq/kg TM)						
Gα	10	5460	Seege	BGZ Gorleben	04.05.	REI
Gβ	4	1460	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	I. Quartal	REI
Co-60	1056	2,70	Mosel	Palzem, km 230,0	28.01.	StrlSchG
Sr-90	11	3,97	Talsperre Nonnweiler	KKW Cattenom	23.07.	REI
I-131	623	79,5	Rhein	KKP Philippsburg	01.07.	REI
Cs-137	1044	172	Schollener See	Schollene	06.07.	StrlSchG
Pu-(239+240)	2	0,257	Isar	Forschungsneutronenquelle FRM II	2021	REI
Am-241	26	5,96	Hirschkanal	KIT Karlsruhe	IV. Quartal	REI

Tabelle T II.33 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG

(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG)

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
RHEIN								
Oberflächen-	H-3	Weil, km 170,3	11	0	0,81	6,03	1,81	2,12
wasser		Koblenz, km 590,3	12	0	1,20	3,71	2,22	2,85
(Bq/l)		Wesel, km 814,0	12	0	1,52	4,68	3,22	3,38
	Sr-90	Weil, km 170,3	4	1	0,0034	0,0159	0,0059	0,0086
		Koblenz, km 590,3	3	2	<0,0050	0,0136	<0,0086	0,0095
		Wesel, km 814,0	3	1	0,0031	<0,0061	0,0044	0,0142
	Cs-137	Weil, km 170,3	9	8	<0,00089	0,00166	<0,00108	nn
		Koblenz, km 590,3	12	10	<0,00074	0,00261	<0,00128	nn
		Wesel, km 814,0	12	12	<0,00087	<0,00180	nn	nn
Schwebstoff	Co-60	Weil, km 170,3	12	6	<0,11	0,56	0,33	nn
(Bq/kg TM)		Koblenz, km 590,3	12	12	<0,32	<1,10	<0,64	<0,69
		Wesel, km 814,0	2	2	<1,72	<1,85	nn	<1,69
	Cs-137	Weil, km 170,3	12	0	2,54	8,61	5,34	8,49
		Koblenz, km 590,3	12	0	5,37	9,39	6,78	7,24
		Wesel, km 814,0	2	0	10,62	11,26	10,94	8,31
	I-131	Weil, km 170,3	12	1	1,32	18,1	6,72	10,1
		Koblenz, km 590,3	12	2	1,65	8,63	5,05	4,81
		Wesel, km 814,0	2	2	<23,4	<55,3	nn	nn
	Lu-177	Weil, km 170,3	12	8	10,1	57,9	<26,6	-
Sediment	Co-60	Weil, km 170,3	4	3	<0,16	<0,37	<0,27	nn
(Bq/kg TM)		Worms, km 444,50-446,60	12	12	<0,17	<0,46	nn	nn
		Koblenz, km 591,3	4	4	<0,30	<0,59	nn	nn
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	12	<0,24	<0,84	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 170,3	4	0	2,06	5,03	3,18	3,01
		Worms, km 444,50-446,60	12	0	0,19	6,40	2,70	2,42
		Koblenz, km 591,3	4	0	2,94	6,38	5,11	4,87
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	0	1,87	8,51	4,71	6,12
NECKAR								
Oberflächen-	H-3	Lauffen, km 125,6	12	0	1,31	25,5	10,4	12,8
wasser		Rockenau, km 61,4	12	0	1,49	18,7	9,1	8,9
(Bq/l)	Sr-90	Lauffen, km 125,6	3	2	0,0041	<0,0094	<0,0066	-
		Rockenau, km 61,4	3	1	0,0046	0,0102	0,0068	0,0088
	Cs-137	Lauffen, km 125,6	12	12	<0,00091	<0,00324	nn	nn
		Rockenau, km 61,4	12	11	<0,00087	0,00334	<0,00119	<0,0020
Schwebstoff	Co-60	Rockenau, km 61,4	4	4	<0,61	<0,95	nn	nn
(Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	6,25	6,62	6,43	6,70
		Rockenau, km 61,4	4	0	4,33	7,06	5,95	6,31
Sediment	Co-60	Guttenbach, km 72,0-73,6	5	5	<0,40	<1,22	nn	nn
(Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-126,5	6	0	5,08	6,73	5,78	5,44
		Neckarzimmern, km 85,8-86,2	6	0	3,70	6,79	5,10	5,77
		Guttenbach, km 72,0-73,6	5	0	5,53	8,18	7,06	5,06
MAIN								
Oberflächen-	H-3	Wipfeld, km 316,2	11	0	0,62	1,39	0,92	0,79
wasser		Eddersheim, km 15,6	11	0	0,63	1,25	0,86	0,81
(Bq/l)	Sr-90	Wipfeld, km 316,2	2	1	0,0041	<0,0060	0,0051	-
		Eddersheim, km 15,6	3	0	0,0041	0,0122	0,0075	0,0075
	Cs-137	Wipfeld, km 316,2	12	8	<0,00071	<0,00151	<0,00103	nn
		Eddersheim, km 15,6	12	6	0,00074	0,00265	0,00128	<0,0021
Schwebstoff	Co-60	Garstadt, km 323,7	4	4	<0,44	<1,10	nn	nn
(Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	6,88	15,4	12,0	10,2
		Garstadt, km 323,7	4	0	5,51	14,1	11,4	13,0

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
Sediment	Co-60	Garstadt, km 316,2-324,8	8	8	<0,21	<0,94	nn	nn
(Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	3,11	7,44	5,30	5,44
		Garstadt, km 316,2-324,8	8	0	2,11	15,3	9,92	15,7
MOSEL								
Oberflächen-	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	15,8	50,4	32,4	36,7
wasser		Koblenz, km 2,0	12	0	8,00	20,3	14,3	15,8
(Bq/l)	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	1	0,0053	0,0168	0,0098	0,0123
		Koblenz, km 2,0	4	1	0,0034	<0,0111	0,0081	0,0073
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	9	<0,00089	<0,00239	<0,00121	<0,0021
		Koblenz, km 2,0	12	11	<0,00070	<0,00188	<0,00116	<0,0020
Schwebstoff	Co-58	Perl, km 241,9	12	2	0,29	3,42	1,20	1,76
(Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 241,9	12	4	0,41	1,98	0,97	2,05
		Koblenz, km 2,0	12	12	<0,32	<1,70	nn	nn
	Ag-110m	Perl, km 241,9	12	12	<0,41	<1,57	nn	nn
		Palzem, km 229,9	12	12	<0,47	<1,26	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 241,9	12	0	4,97	9,60	6,67	6,36
		Koblenz, km 2,0	12	0	4,62	9,69	6,72	6,47
	I-131	Perl, km 241,9	12	1	2,13	24,0	8,91	7,44
		Koblenz, km 2,0	12	4	1,82	5,75	3,68	<5,33
Sediment	Co-60	Perl, km 238,6-242,0	9	4	<0,32	1,44	0,70	1,33
(Bq/kg TM)		Trier, km 184,1-196,1	9	8	0,38	<0,96	<0,69	<0,69
		Koblenz/Güls km 4,05	4	4	<0,34	<1,06	<0,65	nn
	Ag-110m	Perl, km 238,6-242,0	9	9	<0,29	<0,63	nn	nn
		Palzem, km 230,10	1	1	<0,54	<0,54	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 238,6-242,0	9	0	3,15	8,25	5,56	5,97
		Trier, km 184,1-196,1	9	0	8,21	12,8	10,8	11,9
		Koblenz/Güls, km 4,05	4	0	6,51	36,4	15,5	13,1
SAAR								
Oberflächen-	H-3	Schoden, km 7,7	11	0	0,61	3,07	0,94	0,80
wasser	Sr-90		4	1	0,0093	<0,0118	0,0107	0,0096
(Bq/l)	Cs-137		12	11	0,00054	<0,00196	<0,00121	<0,0020
Schwebstoff	Cs-137	Schoden, km 7,7	9	0	7,24	13,2	10,7	10,7
(Bq/kg TM)	I-131		12	4	3,25	19,7	10,2	13,1
DONAU								
Oberflächen-	H-3	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	3	3,6	<4,4	4,2	nn
wasser		Regensburg, km 2381,3	11	0	0,84	1,27	0,97	0,97
(Bq/l)		Vilshofen, km 2249,4	12	0	1,02	5,17	2,40	2,46
	Sr-90	Regensburg, km 2381,3	4	0	0,0040	0,0110	0,0075	0,0067
		Vilshofen, km 2249,4	4	0	0,0041	0,0107	0,0076	0,0105
	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	4	<0,00318	<0,00430	nn	nn
		Regensburg, km 2381,3	12	11	0,00084	<0,00131	<0,00105	<0,0019
		Vilshofen, km 2249,4	11	8	<0,00079	0,00258	<0,00132	nn
Schwebstoff	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	0	31,1	50,1	43,7	46,8
(Bq/kg TM)		Regensburg, km 2381,3	4	0	22,7	37,8	30,5	28,6
		Vilshofen, km 2249,4	12	0	14,0	28,3	20,7	20,7
Sediment	Cs-137	Ulm-Wiblingen, km 2590,8	4	0	40,9	47,3	43,8	50,1
(Bq/kg TM)		Regensburg, km 2373,1-2381,4	9	0	5,09	58,3	27,5	27,2
		Straubing, km 2326,7	4	0	33,1	36,1	34,0	33,5
		Grünau, km 2205,5	2	0	4,30	23,1	13,7	19,8
ISAR								
Oberflächen-	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<4,44	<4,63	nn	<4,18
wasser		Plattling, km 9,1	4	4	<4,74	<5,87	nn	<5,45
(Bq/l)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,00307	<0,00696	nn	nn
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,00592	<0,01410	nn	nn
Schwebstoff	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	14,9	21,3	18,7	18,9
(Bq/kg TM)		Plattling, km 9,1	3	0	13,7	21,0	16,0	10,7

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	18,7	23,9	21,8	22,1
		Plattling, km 9,1	4	1	<0,83	10,4	7,63	1,89
EMS								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,7	12	0	1,63	56,6	20,26	9,99
		Terborg, km 24,6	11	0	1,02	10,1	3,99	5,21
	Co-60	Terborg, km 24,6	11	11	<0,00090	<0,00162	nn	nn
	Sr-90	Geeste, km 106,7	3	0	0,0024	0,0107	0,0066	0,0129
		Terborg, km 24,6	3	0	0,0050	0,0083	0,0063	0,0121
	Cs-137	Geeste, km 106,7	12	12	<0,00069	<0,00123	nn	nn
		Terborg, km 24,6	11	0	0,00127	0,01170	0,00551	0,0060
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Terborg, km 24,64	4	4	<0,44	<0,97	nn	nn
	Cs-137	Geeste, km 106,7	4	0	9,31	11,5	10,4	11,0
		Terborg, km 24,64	4	0	1,89	14,6	6,81	5,59
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	-	-	-	-	-	-
	Cs-137	Herbrum, km 212,75	-	-	-	-	-	-
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	0,98	15,1	6,14	3,61
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,60	6,90	3,15	2,87
		Blexen, km 429,7	12	0	1,42	4,77	2,68	3,05
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	2	<0,0060	0,0186	0,0100	0,0071
		Langwedel, km 329,4	3	0	0,0050	0,0199	0,0102	0,0072
		Blexen, km 429,7	2	0	0,0068	0,0086	0,0077	0,0103
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	12	12	<0,00062	<0,00147	nn	<0,0025
		Langwedel, km 329,4	12	10	0,00089	<0,00173	<0,00106	nn
		Blexen, km 429,7	12	0	0,00111	0,00270	0,00180	<0,0028
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Wilhelmshaven/Jadebusen	4	4	<0,41	<0,67	nn	nn
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	6,90	25,5	12,2	6,50
		Langwedel, km 329,4	12	0	5,34	28,9	9,21	6,28
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	0	3,66	4,42	4,02	4,02
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Bremen (Insel), km 373,97	6	6	<0,40	<0,77	nn	nn
	Cs-137	Minden, km 204,40	5	1	0,32	3,53	1,44	6,25
		Bremen (Insel), km 373,97	6	0	4,10	9,28	6,62	6,94
ELBE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	8	0	2,82	5,81	4,33	8,03
		Tangermünde, km 389,1	12	0	1,83	3,93	2,67	5,78
		HH (Seemannshöft), km 628,8	5	0	2,85	4,76	3,93	4,91
		Wedel, km 642,0	12	0	1,71	3,81	2,55	3,96
	Sr-90	Dresden, km 58,0	2	0	0,0042	0,0089	0,0065	0,0084
		Tangermünde, km 389,1	3	0	0,0039	0,0046	0,0042	0,0091
		HH (Seemannshöft), km 628,8	4	0	0,0028	0,0060	0,0048	0,0050
		Wedel, km 642,0	4	1	0,0037	<0,0095	0,0073	0,0105
	Cs-137	Dresden, km 58,0	8	7	<0,00089	<0,00173	<0,00125	nn
		Tangermünde, km 389,1	11	8	0,00056	<0,00238	<0,00135	nn
		HH (Seemannshöft), km 628,8	5	2	0,00101	0,00185	0,00141	nn
		Wedel, km 642,0	12	1	0,00091	0,00952	0,00323	0,0035
	Pu-(239 +240)	HH (Seemannshöft), km 628,8	3	1	<0,0000028	0,000063	0,000026	0,000028
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	8	0	5,38	19,1	13,6	13,9
		Geesthacht, km 586,0	4	0	12,0	23,8	17,4	10,9
		HH (Seemannshöft), km 628,8	5	0	2,84	4,60	3,45	3,43
		Wedel, km 642,0	4	0	1,82	7,68	4,31	4,80
	I-131	HH (Seemannshöft), km 628,8	6	5	<0,53	<1,09	<0,68	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	-	-	-	-	-	-
		Arneburg, km 403,5	4	0	3,99	11,2	7,93	4,94
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	14,0	16,3	15,1	14,8
		Cuxhaven, km 726,3	-	-	-	-	-	1,98

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
ODER								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 554,2	6	0	0,68	0,78	0,73	1,06
		Hohenwutzen, km 661,6[a]	12	0	0,62	0,98	0,78	-
		Schwedt, km 690,6[a]	11	0	0,64	0,96	0,75	0,84
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 554,2	2	0	0,0053	0,0060	0,0057	0,0123
		Hohenwutzen, km 661,6[a]	2	0	0,0024	0,0050	0,0037	-
		Schwedt, km 690,6[a]	3	1	0,0076	0,0161	0,0106	0,0107
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 554,2	6	6	<0,00098	<0,00251	nn	nn
		Hohenwutzen, km 661,6[a]	12	10	<0,00096	<0,00170	<0,00128	-
		Schwedt, km 690,6[a]	11	5	<0,00121	0,00853	0,00309	<0,0026
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 554,2	2	0	4,63	10,3	7,46	38,7
		Hohenwutzen, km 661,6[a]	4	0	6,83	11,1	8,85	-
		Schwedt, km 690,6[a]	4	0	9,33	19,2	15,3	12,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 554,2	-	-	-	-	-	-
		Hohensaaten, km 667,5	2	0	10,2	11,8	11,0	10,3
SPREE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<1,26	<1,34	nn	<1,24
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	0	0,49	0,76	0,59	0,64
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	3	0,0067	<0,0171	<0,0118	0,0077
	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<0,00233	<0,00385	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	11	0,00086	<0,00177	<0,00109	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	8	0	11,7	21,7	17,3	21,4
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	3	0	1,77	3,61	2,42	4,62
	I-131	Berlin-Schöneweide, km 27,2	8	7	<10,2	<88,1	<49,6	nn
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	3	3	<1,97	<2,33	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Fürstenwalde, km 74,7	3	0	3,20	8,40	5,03	19,7[b]
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	14,4	28,6	18,2	15,9
HAVEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,54	0,92	0,75	0,75
	Sr-90		2	1	<0,0054	0,0064	0,0059	0,0093
	Cs-137		12	10	<0,00074	<0,00174	<0,00111	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	25,0	35,5	29,1	32,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	7	0	8,21	23,3	18,6	17,9
SAALE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	0,58	0,89	0,69	0,80
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,12	<3,94	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	3	2	<0,0052	<0,0065	<0,0059	0,0084
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0041	<0,0054	<0,0048	<0,0051
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	11	0,00091	<0,00121	<0,00104	<0,0020
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,04390	<0,05150	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	9,23	15,0	11,6	11,4
		Camburg, km 187,0	4	0	10,1	27,2	20,5	19,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	7	0	8,66	28,6	14,3	10,5
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	10,7	14,3	12,1	13,4
PEENE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 89,8	11	0	0,59	0,88	0,73	0,70
	Sr-90		2	1	<0,0118	0,0121	0,0120	0,0090
	Cs-137		11	8	<0,00094	0,00210	<0,00123	<0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 89,8	4	0	27,5	29,4	28,4	32,5

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 89,8	5	0	30,0	31,4	30,9	30,7
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	12	0	0,60	1,10	0,85	0,95
	Sr-90		3	0	0,0069	0,0152	0,0100	0,0150
	Cs-137		12	1	<0,00098	0,01175	0,00549	0,0077
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	19,9	32,7	28,0	33,7
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	0,77	1,10	0,91	1,03
	Sr-90		3	1	<0,0084	0,0312	0,0185	0,0114
	Cs-137		12	0	0,00076	0,01070	0,00644	0,0056
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	17,2	21,7	19,0	20,1

[a] Die Messstation Schwedt (Oder km 690,6) wurde nach einem Jahr Parallelbetrieb mit der neuen Messstation Hohenwutzen (Oder km 661,6) am Ende des Jahres 2021 abgebaut. Ab 2022 werden von diesem Flussabschnitt nur noch Messwerte der Messstation Hohenwutzen berichtet.

[b] Wert für 2020 stammt von der Station Berlin-Schöneweide (Spree, km 27,2), da in 2020 keine Sedimentprobe von der Station Fürstenwalde (Spree, km 74,7) vorlag.

nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

- keine Messwerte verfügbar

Tabelle T II.34 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG)

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
BADEN-WÜRTTEMBERG / BAYERN / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	6	2,50	<4,40	<3,93	nn
		Nonnenhorn	4	4	<4,45	<4,63	nn	<4,07
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0027	<0,0062	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<0,0031	<0,0066	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	3,74	7,01	5,11	6,04
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	4,58	11,7	6,66	7,14
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<4,44	<4,63	nn	3,28
	Sr-90		4	0	0,0050	0,0176	0,0088	0,0211
	Cs-137		4	4	<0,0057	<0,0089	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	19,7	28,6	22,1	26,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	15,5	23,5	18,9	8,56
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<4,44	<4,63	nn	<3,89
	Sr-90		4	0	0,0046	0,0102	0,0070	0,0175
	Cs-137		4	4	<0,0024	<0,0064	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	92,2	120	103	98,5

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	3	<1,27	1,36	<1,31	1,06
	Sr-90		3	0	0,0027	0,0038	0,0033	0,0029
	Cs-137		4	3	0,00086	<0,0032	<0,0025	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	4	<0,74	<2,82	nn	2,55
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	15,8	28,6	23,6	27,6
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	3	0,87	<1,34	<1,18	1,14
	Sr-90		4	0	0,0028	0,0035	0,0031	0,0033
	Cs-137		4	4	<0,0021	<0,0041	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	1	1,79	<4,18	2,71	3,03
	I-131		4	3	<1,65	3,83	<2,48	<3,42
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	15,1	45,2	29,8	37,4
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,40	<5,71	nn	nn
	Sr-90		3	0	0,0079	0,0086	0,0083	0,0076
	Cs-137		4	4	<0,0076	<0,0290	nn	<0,0092
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	11,0	15,5	12,2	10,4
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	3	3	<5,71	<7,17	nn	nn
	Sr-90		2	0	0,0033	<0,0034	0,0034	0,0024
	Cs-137		3	3	<0,0060	<0,0124	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	5,4	12,1	9,47	12,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	0,53	0,64	0,58	0,75
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<5,59	<6,04	nn	nn
	Sr-90		2	1	<0,0072	0,0081	0,0077	nn
	Cs-137		4	4	<0,0153	<0,0158	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	18,1	23,4	21,8	20,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	0,93	3,43	2,11	3,71
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<5,28	<5,71	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0093	<0,0131	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	3	1	6,67	8,32	7,48	6,09
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	4,87	6,13	5,56	6,33
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<5,27	<5,80	nn	nn
	Sr-90		4	3	<0,0032	<0,0088	0,0054	0,0050
	Cs-137		4	4	<0,0088	<0,0112	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	22,5	38,0	27,2	40,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	8,94	55,6	26,6	29,8

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	3	<1,76	2,39	<2,08	1,76
	Sr-90		4	0	0,00012	0,0018	0,0015	0,0009
	Cs-137		4	4	<0,0009	<0,0017	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	22,3	33,2	27,5	20,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	23,3	38,9	31,8	30,2
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	3	<1,75	2,06	<1,87	1,75
	Cs-137		4	0	0,0026	0,0057	0,0046	0,0100
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	3	0	182	210	198	191
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	26,2	129	63,0	105
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<5,79	<8,18	nn	<5,60
	Sr-90		1	0	0,00916	0,00916	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0083	<0,0095	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<5,00	<9,76	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0008	<0,0012	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	4,64	6,15	5,51	3,47
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	3	3	<3,1	<3,3	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,0120	0,0230	0,0190	0,0213
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	30	54	42	36,8
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<6,7	<7,1	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0067	<0,0083	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	3	2	<15,6	<23,6	<19,2	13,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	3	0	23,8	31,1	27,5	27,2
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,22	<5,39	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,0200	0,0365	0,0287	0,0285
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	18,0	31,5	24,5	30,4
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	-	-	-	-	-	nn
	Cs-137		1	1	<0,0103	<0,0103	nn	0,0123
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	1	0	172	172	172	120
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0100	<0,0240	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	71,2	90,0	81,3	67,8

LAND/Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
Wittensee								
Oberflächenwasser	H-3	Groß Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
(Bq/l)	Cs-137		4	4	<0,0090	<0,0130	nn	nn
Sediment	Cs-137	Groß Wittensee	4	0	93,7	136	119	136
(Bq/kg TM)								
THÜRINGEN / Talsperre Ohra								
Oberflächenwasser	H-3	Luisenthal	4	4	<2,50	<3,37	nn	<3,49
(Bq/l)	Cs-137		4	4	<0,0436	<0,049	nn	nn

Tabelle T II.35 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of water bodies in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen-	H-3	vor Aare-Einmündung	4	3	2,6	<4,4	<3,9	nn
wasser		vor KKW Leibstadt	4	1	2,6	6,8	4,4	nn
(Bq/l)		nach KKW Leibstadt	4	1	2,7	4,6	3,6	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0035	<0,0051	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0044	<0,0110	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0044	<0,0095	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0034	<0,0046	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,0041	<0,0099	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0044	<0,0094	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,19	<0,31	nn	nn
(Bq/kg TM)		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,23	<0,29	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,21	<0,27	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	2,11	2,62	2,36	2,84
		vor KKW Leibstadt	2	0	1,95	3,51	2,73	4,53
		nach KKW Leibstadt	2	0	1,90	2,20	2,05	2,92
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich) (außer Betrieb)								
Oberflächen-	H-3	Weil	13	2	2,40	6,30	3,58	<4,69
wasser		Neuf Brisach	13	3	2,50	6,60	3,88	<4,99
(Bq/l)	Co-60	Weil	13	13	<0,0057	<0,0222	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0056	<0,0167	nn	nn
	Cs-137	Weil	13	13	<0,0051	<0,0241	nn	nn
		Neuf Brisach	13	13	<0,0052	<0,0165	nn	nn
Sediment	Co-60	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	2	<0,18	<0,21	nn	nn
(Bq/kg TM)		Breisach, km 232,0	2	2	<0,21	<0,23	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grißheim km 206,5	2	0	0,63	0,76	0,69	1,23
		Breisach, km 232,0	2	0	2,04	2,20	2,12	3,28
RHEIN / HIRSCHKANAL / KIT Karlsruhe								
Oberflächen-	Gα	Hirschkanal	52	0	0,013	0,051	0,032	0,034
wasser	Gβ		52	0	0,070	0,265	0,146	0,154
(Bq/l)	H-3		52	27	1,63	<4,40	<2,59	<2,80
	Co-60		4	4	<0,0035	<0,0051	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0030	<0,0048	nn	nn
Sediment	Gα	Hirschkanal	4	0	437	523	486	544
(Bq/kg TM)	Gβ		4	0	1310	1460	1390	1543
	Co-60		8	8	<0,27	<4,90	nn	nn
	Cs-137		8	0	27,1	63,9	41,0	36,1
	Am-241		8	3	1,80	<16,6	6,45	2,68

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
RHEIN / KKP Philippsburg (außer Betrieb)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	5	<1,90	5,00	3,49	3,38
wasser		Auslaufbauwerke I u. II	24	10	<1,90	6,10	3,81	12,2
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0030	<0,032	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	12	12	<0,0032	<0,036	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0031	<0,032	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	12	12	<0,0032	<0,033	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,56	<1,31	nn	0,69
(Bq/kg TM)		Auslaufbauwerk	4	4	<0,51	<0,68	nn	0,63
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	9,64	10,9	10,3	11,5
		Auslaufbauwerk	4	0	6,47	10,6	8,50	9,14
RHEIN / KWB Biblis (stillgelegt) und BE-Zwischenlager								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	2,11	<6,81	<4,46	<7,88
wasser		Auslaufbauwerke A u. B	16	15	2,13	<7,09	<5,11	<6,01
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,023	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,023	<0,038	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,022	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	16	16	<0,021	<0,035	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,39	<0,39	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	1	1	<0,41	<0,41	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	0	4,90	4,90	4,90	6,20
		nach Auslaufbauwerk	1	0	9,90	9,90	9,90	10,5
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<9,0	<9,0	nn	nn
wasser		Auslaufbauwerk	4	1	2,4	3,5	2,9	2,8
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,012	<0,013	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,009	<0,014	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,010	<0,013	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,008	<0,013	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,45	<0,49	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,38	<0,56	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	8,7	10,0	9,4	10,0
		nach Auslaufbauwerk	2	0	5,9	9,4	7,7	3,7
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	2,2	4,5	3,8	<3,8
wasser		Auslaufbauwerk	20	4	1,9	28,4	10,7	11,0
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0049	<0,028	nn	nn
		Auslaufbauwerk	20	20	<0,0043	<0,039	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0045	<0,029	nn	nn
		Auslaufbauwerk	20	20	<0,0038	<0,039	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,23	<0,31	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,32	<0,42	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	1,16	1,26	1,21	2,98
		nach Auslaufbauwerk	2	0	4,95	5,73	5,34	5,43
NECKAR / KKO Obrigheim (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	Guttenbach	8	3	5,80	16,3	9,93	10,0
wasser	Co-60		8	8	<0,0045	<0,038	nn	nn
(Bq/l)	Cs-137		8	8	<0,0043	<0,037	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,29	<0,30	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-
		nach Auslaufbauwerk	2	0	5,21	6,03	5,62	5,77

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
MAIN / KKG Grafenrheinfeld (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<5,8	<10	nn	nn
wasser		Auslaufbauwerk	8	1	6,14	88,6	36,7	<13,2
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,028	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,026	<0,035	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,029	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,028	<0,034	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,2	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,0	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	11,0	16,2	13,6	14,5
		nach Auslaufbauwerk	4	0	14,0	15,8	15,0	16,1
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)								
Oberflächen-	H-3	Palzem, km 230	12	0	15	48	33	36
wasser	Co-60		12	12	<0,010	<0,019	nn	nn
(Bq/l)	Cs-137		12	12	<0,010	<0,018	nn	nn
Sediment	Co-58	Palzem, km 230	2	1	<0,45	0,56	0,51	nn
(Bq/kg TM)	Co-60		2	0	0,86	2,70	1,78	1,23
	Sr-90		2	0	0,56	0,57	0,57	0,41
	Cs-137		2	0	9,90	10,0	9,95	10,2
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,44	<6,58	nn	nn
wasser		Auslaufbauwerk I	8	0	37,4	68,1	46,7	36,4
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0024	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	8	<0,0023	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0024	<0,033	nn	nn
		Auslaufbauwerk I	8	8	<0,0023	<0,040	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,18	<0,24	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	3	1	<0,13	0,43	0,28	1,63
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	35,6	57,0	45,9	42,4
		nach Auslaufbauwerk	3	0	10,1	20,3	16,1	25,3
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,44	<6,80	nn	nn
wasser		Auslaufbauwerk	8	0	140	420	251	152
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0026	<0,041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0024	<0,044	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0024	<0,0034	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,0023	<0,0030	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,19	<0,22	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,11	<0,16	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	14,5	26,8	21,5	22,3
		nach Auslaufbauwerk	4	0	12,1	17,2	15,1	14,0
ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle HML München								
Oberflächen-	H-3	nach FRM II, km 130,3	8	0	15,0	110	62,9	<13,2
wasser	C-14		8	8	<0,14	<4,70	nn	nn
(Bq/l)	Co-60		8	8	<0,0040	<0,0381	nn	nn
	Cs-137		8	8	<0,0039	<0,0427	nn	nn
	U-235		2	1	<0,0006	0,0018	0,0012	<0,0013
	Pu-238		2	2	<0,0016	<0,0049	nn	nn
	Am-241		2	2	<0,0007	<0,0018	nn	nn
Sediment	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,07	<0,09	nn	nn
(Bq/kg TM)	Cs-137		4	0	5,23	9,08	7,81	7,16
	U-235		1	0	1,30	1,30	1,30	1,30
	Pu-(239 +240)		1	0	0,057	0,057	0,057	0,32
	Am-241		1	1	<0,28	<0,28	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	5	1,64	<5,88	<4,58	<4,28
wasser		Auslaufbauwerk	8	0	519	5460	2146	2242
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0093	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0092	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0080	<0,016	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0067	<0,016	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,12	<0,83	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,58	<1,15	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	2,46	13,6	8,88	14,0
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	0	17,0	20,8	19,2	21,7
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	6	1,26	<4,66	<3,07	<3,82
wasser		Auslaufbauwerk	8	0	30,2	195	78,2	54,2
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0054	<0,045	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0069	<0,048	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0045	<0,047	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0052	<0,049	nn	nn
Sediment	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,44	<0,81	nn	nn
(Bq/kg TM)		Hess. Oldendorf, km 147	4	4	<0,30	<0,45	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	6,56	7,48	6,88	7,09
		Hess. Oldendorf, km 147	4	0	4,01	4,66	4,42	4,10
UNTERWESER / KKU Unterweser (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	2,13	<5,51	<4,17	3,82
wasser		Auslaufbauwerk	8	4	1,37	<5,30	<3,97	4,16
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0079	<0,018	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0086	<0,018	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0066	<0,0159	nn	nn
		Auslaufbauwerk	4	4	<0,0074	<0,0152	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	4	<0,31	<0,54	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	4	<0,41	<0,58	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	2,53	4,09	3,64	4,36
	Cs-137	nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	1,93	3,48	2,93	2,38
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen-	H-3	Selhausen	8	8	<4,9	<10	nn	nn
wasser		Jülich-Süd	8	5	<5,2	<10	<8,8	<10,6
(Bq/l)	Co-60	Selhausen	8	8	<0,0027	<0,050	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,0027	<0,050	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Sediment	Co-60	Selhausen	2	2	<3,1	<3,4	nn	nn
(Bq/kg TM)		Jülich-Süd	2	2	<3,2	<3,7	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	5,70	10,0	7,85	7,05
		Jülich-Süd	2	0	8,70	8,80	8,75	9,50
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen-	Gα	Hauptentwässerungsleitungen	8	1	0,183	0,518	0,322	0,186
wasser		Retentionsanlage	4	0	0,230	0,579	0,424	0,618
(Bq/l)		Goorbach, unterhalb der Straßenkreuzung	4	4	<0,2	<0,2	nn	nn
Sediment	Ra-226	Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	68	91	80	60
(Bq/kg TM)	Ra-228		2	0	42	44	43	33
AHAUSER AA / BGZ Ahaus								
Oberflächen-	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,07	<0,07	nn	nn
wasser	Rβ		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
(Bq/l)	H-3		4	4	<5,1	<8,0	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,0037	<0,0063	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	4	4	<3,0	<4,3	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<3,0	<4,6	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	4	0	7,0	15	10,5	8,3
		Ahauser Aa	4	0	8,6	16	13,7	15
		Retentionsbecken	4	0	4,9	5,6	5,3	3,8
	Ra-226	Retentionsbecken	4	0	16	19	18	18
	I-131	Ahauser Aa	1	0	33	33	33	40
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,82	<10	nn	<8,27
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,76	<10	nn	<8,38
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,012	<0,031	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,011	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,012	<0,038	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,011	<0,034	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,61	<1,25	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,61	<0,77	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	4	<0,64	1,30	<1,07	1,08
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	4	0,54	0,86	<0,76	1,12
ELBE / KKK Krümmel (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	15	<5,74	<9,54	<6,68	<7,14
		Auslaufbauwerk	16	11	<5,90	<9,54	<6,96	<8,43
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0150	<0,035	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0150	<0,041	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0150	<0,043	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0160	<0,045	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,160	<0,72	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,120	<0,88	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	2	0,18	<0,71	0,46	0,52
		Auslaufbauwerk	8	3	0,21	<0,93	0,58	0,66
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	9	<3,16	<9,60	<5,31	6,34
		Auslaufbauwerk	16	0	4,76	50,1	25,6	31,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0047	<0,027	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0045	<0,039	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,0058	<0,034	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,0055	<0,048	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,73	<0,97	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,58	<0,73	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	1	0,58	<0,91	0,70	1,85
		nach Auslaufbauwerk	4	2	0,26	<0,78	0,53	1,34
ELBE / KKS Stade (stillgelegt)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	16	0	2,09	6,03	3,58	4,44
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	0	2,22	3,36	2,68	3,41
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	16	16	<0,0010	<0,0149	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	4	<0,0009	<0,0027	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,8	16	11	0,0004	<0,0122	<0,0030	<0,0035
		nach Auslaufbauwerk, km 660,6	4	2	0,0012	<0,0028	0,0017	<0,0015
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,23	<0,63	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<1,06	<1,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	2,23	3,79	3,04	3,68
		nach Auslaufbauwerk	4	1	<1,27	3,00	2,20	2,46

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
ELBE / KKB Brunsbüttel (außer Betrieb)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	20	2,97	<9,50	<5,67	7,22
wasser		Auslaufbauwerk	24	19	2,74	<9,61	<5,75	10,0
(Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0091	<0,037	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0085	<0,042	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0016	0,0044	0,0030	0,0024
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0022	0,0047	0,0033	0,0025
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0078	<0,041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0086	<0,047	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,76	<1,18	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,70	<1,49	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	0,50	2,68	1,47	3,14
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,75	2,36	1,21	2,36
ELBE / SEEGE / DANNENBERGER LANDGRABEN / BGZ Gorleben								
Oberflächen-	Gα	Elbe km 494,0, Gorleben	2	1	0,08	<0,12	0,10	nn
wasser		Seege km 16, Meetschow	2	2	<0,12	<0,13	nn	nn
(Bq/l)		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	2	<0,12	<0,13	nn	nn
	H-3	Elbe km 494,0, Gorleben	2	0	1,79	3,15	2,47	5,75
		Seege km 16, Meetschow	2	0	1,76	4,24	3,00	1,18
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	1	1,21	<1,33	1,27	1,35
	Sr-90	Elbe km 494,0, Gorleben	1	0	0,00507	0,00507	0,00507	nn
		Seege km 16, Meetschow	1	0	0,00218	0,00218	0,00218	0,00105
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	1	0	0,00349	0,00349	0,00349	0,00130
	Co-60	Elbe km 494,0, Gorleben	2	2	<0,0031	<0,0058	nn	nn
		Seege km 16, Meetschow	2	2	<0,0034	<0,0041	nn	nn
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	2	<0,0027	<0,0041	nn	nn
	Cs-137	Elbe km 494,0, Gorleben	2	2	<0,0027	<0,0049	nn	nn
		Seege km 16, Meetschow	2	2	<0,0031	<0,0038	nn	nn
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	2	<0,0022	<0,0031	nn	nn
Sediment	Gα	Elbe km 494,0, Gorleben	2	0	103	467	285	227
(Bq/kg TM)		Seege km 16, Meetschow	2	0	5029	5458	5244	2872
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	0	153	365	259	425
	Co-60	Elbe km 494,0, Gorleben	2	2	<0,13	<0,17	nn	nn
		Seege km 16, Meetschow	2	2	<0,49	<1,01	nn	nn
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	2	<0,15	<0,33	nn	nn
	Cs-137	Elbe km 494,0, Gorleben	2	0	0,65	11,1	5,86	2,12
		Seege km 16, Meetschow	2	0	52,1	55,3	53,7	67,7
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	2	0	1,81	2,07	1,94	4,39
	Pu-238	Seege km 16, Meetschow	-	-	-	-	-	nn
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	-	-	-	-	-	nn
	Pu-239	Seege km 16, Meetschow	-	-	-	-	-	nn
		Dan. Landgraben km 6; Siemen	-	-	-	-	-	nn
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächen-	H-3	Kalter Bach	8	8	<6,4	<7,0	nn	nn
wasser		Wesenitz	2	2	<6,9	<7,1	nn	nn
(Bq/l)	Co-60	Kalter Bach	8	8	<0,0130	<0,0240	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,0071	<0,0079	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	8	8	<0,0110	<0,0220	nn	nn
		Wesenitz	2	2	<0,0070	<0,0073	nn	nn
Sediment	Co-60	Kalter Bach	4	4	<0,30	<0,40	nn	nn
(Bq/kg TM)		Wesenitz	2	2	<0,41	<0,42	nn	nn
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,36	<0,38	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	4	0	2,40	3,60	3,03	1,65
		Wesenitz	2	0	2,30	2,50	2,40	4,90
		Elbe, unterhalb d. Wesenitz	2	0	0,74	1,50	1,12	1,02

GEWÄSSER/ KT-Anlage Komparti-ment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2021		Aktivitätskonzentration/spez. Aktivität			
					Einzelwerte 2021		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	min. Wert	max. Wert	2021	2020
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen-	H-3	vor Salzbach	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
wasser		nach Salzbach	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
(Bq/l)	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,007	<0,010	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,008	<0,010	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,006	<0,010	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,007	<0,010	nn	nn
	Gβ	vor Salzbach	12	0	0,27	0,66	0,46	0,44
		nach Salzbach	12	0	3,1	5,3	4,04	4,71
Sediment	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,27	<0,27	nn	nn
(Bq/kg TM)		Schwanefeld	1	1	<0,15	<0,15	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	2,1	2,1	2,1	2,5
		Schwanefeld	1	0	2,1	2,1	2,1	3,0
diverse Vorfluter / Schachtanlage Asse II								
Oberflächen-	Co-60	Vorfluter b. Espenberg	4	4	<0,036	<0,070	nn	nn
wasser		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,034	<0,069	nn	nn
(Bq/l)	Cs-137	Vorfluter b. Espenberg	4	4	<0,030	<0,059	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,029	<0,056	nn	nn
	Pb-210	Vorfluter b. Espenberg	4	4	<0,54	<0,92	nn	nn
		Vorfluter b. Wittmar	4	4	<0,53	<0,93	nn	nn
Sediment	Co-60	Altenau, Bansleben	1	1	<0,177	<0,177	nn	nn
(Bq/kg TM)		Altenau, Groß Denkte	1	1	<0,419	<0,419	nn	nn
	Cs-137	Altenau, Bansleben	1	0	1,33	1,33	1,33	2,59
		Altenau, Groß Denkte	1	0	4,18	4,18	4,18	1,28
	Pb-210	Altenau, Bansleben	1	0	16,3	16,3	16,3	31,4
		Altenau, Groß Denkte	1	0	68,0	68,0	68,0	20,7
HAVEL / KKR Rheinsberg (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	50 m vor Auslauf	4	3	4,10	<5,68	<5,27	nn
wasser		50 m nach Auslauf	4	3	3,50	<5,68	<5,12	nn
(Bq/l)	Co-60	50 m vor Auslauf	4	4	<0,0018	<0,005	nn	nn
		50 m nach Auslauf	4	4	<0,0022	<0,007	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	4	4	<0,0020	<0,005	nn	<0,005
		50 m nach Auslauf	4	4	<0,0027	<0,009	nn	<0,003
Sediment	Co-60	50 m vor Auslauf	2	2	<0,083	<0,092	nn	nn
(Bq/kg TM)		50 m nach Auslauf	2	2	<0,087	<0,109	nn	nn
	Cs-137	50 m vor Auslauf	2	0	1,48	1,97	1,73	1,82
		50 m nach Auslauf	2	0	3,82	3,88	3,85	3,66
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (stillgelegt)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslauf	16	16	<5,29	<10,0	nn	nn
wasser		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<5,30	<10,0	nn	nn
(Bq/l)	Co-60	vor Auslauf	16	16	<0,0063	<0,046	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<0,0074	<0,049	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	16	13	<0,0063	<0,049	<0,033	<0,034
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	12	0,0108	<0,045	<0,035	<0,034
Sediment	Co-60	vor Auslauf	2	2	<0,20	<0,27	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,46	<0,60	nn	nn
	Cs-137	vor Auslauf	2	0	3,44	4,36	3,90	3,07
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	32,0	41,4	36,7	31,7

a Daten lagen nicht vor

nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht erfolgt

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2019	0 - 10	13	25,0	84,8	9	<2,6	8,3
	2020	0 - 10	12	22,0	68,7	9	<1,3	4,1
	2021	0 - 10	12	21,0	73,8	9	<1,4	4,7
Bayern	2019	0 - 10	20	66,7	296,4	17	2,5	4,8
	2020	0 - 10	20	63,0	271,5	17	2,4	3,9
	2021	0 - 10	20	58,7	251,9	17	2,9	5,1
Berlin	2019	0 - 10	4	8,7	11,9	1	1,6	
	2020	0 - 10	3	5,3	6,3	1	0,5	
	2021	0 - 10	3	6,8	9,1	1	0,6	
Brandenburg	2019	0 - 10	42	10,2	40,9	6	1,1	2,5
	2020	0 - 10	36	8,9	28,0	5	0,8	1,3
	2021	0 - 10	45	<9,1	36,5	6	0,5	0,8
Bremen	2019	0 - 10	2	18,8	26,6	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	1	12,3		a)	a)	a)
	2021	0 - 10	1	12,2		a)	a)	a)
Hamburg	2019	0 - 10	2	7,7	11,0	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	2	8,3	12,5	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	2	9,7	14,0	a)	a)	a)
Hessen	2019	0 - 10	2	17,6	21,8	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	2	15,3	21,3	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	2	16,1	29,5	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	2019	0 - 10	10	10,4	35,5	3	0,5	0,8
	2020	0 - 10	10	7,3	16,5	3	1,0	1,6
	2021	0 - 10	10	13,9	30,4	3	0,8	1,0
Niedersachsen	2019	0 - 10	14	13,3	27,5	9	1,6	2,6
	2020	0 - 10	15	13,6	22,1	7	1,4	2,8
	2021	0 - 10	15	<13,3	35,9	8	1,1	3,3
Nordrhein-Westfalen	2019	0 - 10	14	8,8	24,8	5	0,4	0,9
	2020	0 - 10	14	8,2	14,6	5	0,6	1,1
	2021	0 - 10	15	<8,3	19,4	5	0,5	0,9
Rheinland-Pfalz	2019	0 - 10	8	6,4	12,5	3	0,7	0,8
	2020	0 - 10	7	11,4	22,3	3	0,7	1,1
	2021	0 - 10	7	11,7	19,8	3	1,1	1,2
Saarland	2019	0 - 10	4	18,0	23,9	2	0,9	0,9
	2020	0 - 10	4	15,5	26,3	2	1,2	1,2
	2021	0 - 10	4	17,3	22,1	2	1,1	1,6
Sachsen	2019	0 - 10	8	8,7	26,5	5	0,7	1,1
	2020	0 - 10	8	8,3	23,5	5	0,6	1,0
	2021	0 - 10	8	7,1	12,9	5	0,6	0,8

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Sachsen-Anhalt	2019	0 - 10	14	31,0	79,2	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	14	23,7	84,9	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	12	37,4	88,6	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	2019	0 - 10	7	6,5	10,4	6	<0,7	1,1
	2020	0 - 10	8	6,7	12,7	6	0,7	1,4
	2021	0 - 10	8	7,1	12,5	6	<0,6	0,8
Thüringen	2019	0 - 10	7	15,0	29,3	3	0,5	0,8
	2020	0 - 10	7	14,8	31,5	3	0,6	0,8
	2021	0 - 10	7	13,0	22,6	3	0,6	0,8

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2019	0 - 30	12	12,7	34,7	1	<3,5	
	2020	0 - 30	12	13,4	52,1	1	1,7	
	2021	0 - 30	12	12,0	58,5	1	1,6	
Bayern	2019	0 - 30	30	21,6	130,2	3	2,9	4,8
	2020	0 - 30	30	21,3	148,6	3	2,4	4,7
	2021	0 - 30	30	20,7	140,1	3	3,3	6,3
Berlin	2019	0 - 30	2	5,1	5,9	1	0,3	
	2020	0 - 30	2	5,6	6,3	1	0,5	
	2021	0 - 30	2	5,3	6,4	1	0,6	
Brandenburg	2019	0 - 30	11	5,5	18,6	3	0,3	0,5
	2020	0 - 30	7	8,3	21,8	3	<0,2	0,2
	2021	0 - 30	12	5,4	17,6	3	0,3	0,3
Bremen	2019	0 - 30	3	6,0	6,4	2	0,5	0,6
	2020	0 - 30	3	5,9	6,6	2	1,0	1,0
	2021	0 - 30	2	7,3	7,6	a)	a)	a)
Hamburg	2019	0 - 30	1	4,4		1	0,5	
	2020	0 - 30	1	4,5		1	0,3	
	2021	0 - 30	1	3,4		1	0,5	
Hessen	2019	0 - 30	6	6,9	10,4	2	<0,7	1,1
	2020	0 - 30	6	7,8	14,9	2	1,1	1,4
	2021	0 - 30	6	7,7	14,4	2	0,2	0,3
Mecklenburg-Vorpommern	2019	0 - 30	7	5,9	12,0	2	0,4	0,6
	2020	0 - 30	7	5,9	12,7	2	0,4	0,5
	2021	0 - 30	7	5,8	13,0	2	0,9	1,3

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Niedersachsen	2019	0 - (25/30)	25	6,7	13,8	6	0,6	1,0
	2020	0 - (25/30)	23	6,6	22,4	8	0,8	1,0
	2021	0 - (25/30)	25	6,6	17,8	8	0,6	1,5
Nordrhein-Westfalen	2019	0 - 30	10	5,5	9,1	5	<0,4	0,6
	2020	0 - 30	11	5,9	9,0	5	0,6	0,9
	2021	0 - 30	10	5,9	9,5	5	<0,5	0,8
Rheinland-Pfalz	2019	0 - (25/30)	8	6,7	19,9	2	0,5	0,6
	2020	0 - (25/30)	8	5,4	10,4	2	1,0	1,3
	2021	0 - (25/30)	8	5,2	11,8	2	0,8	0,8
Saarland	2019	0 - 30	1	12,3		a)	a)	a)
	2020	0 - 30	1	12,5		a)	a)	a)
	2021	0 - 30	1	7,5		a)	a)	a)
Sachsen	2019	0 - 30	7	6,2	14,3	a)	a)	a)
	2020	0 - 30	7	5,8	12,4	a)	a)	a)
	2021	0 - 30	7	5,1	11,1	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2019	0 - 30	15	7,8	37,8	5	1,0	2,4
	2020	0 - 30	15	7,7	29,5	5	0,2	0,4
	2021	0 - 30	15	8,1	41,5	5	0,2	0,3
Schleswig-Holstein	2019	0 - 30	5	5,3	8,0	a)	a)	a)
	2020	0 - 30	5	4,8	7,3	a)	a)	a)
	2021	0 - 30	5	4,7	6,5	a)	a)	a)
Thüringen	2019	0 - 30	6	7,5	16,0	2	1,1	1,2
	2020	0 - 30	6	8,2	19,9	2	0,9	0,9
	2021	0 - 30	6	7,0	14,2	2	0,7	0,8

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.38 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2019	0 - 10	4	29,8	72,7	1	1,1	
	2020	0 - 10	4	33,4	60,6	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	4	45,8	65,8	a)	a)	a)
Niedersachsen	2019	0 - 10	2	71,1	132,0	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	2	60,5	109,0	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	2	55,4	84,6	a)	a)	a)
Nordrhein-Westfalen	2019	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	2019	0 - 10	4	54,3	101,0	a)	a)	a)
	2020	0 - 10	6	61,2	126,0	a)	a)	a)
	2021	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.39 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	2019	32	<0,2	0,4	16	<0,2	0,5
	2020	32	<0,2	0,6	15	<0,2	0,6
	2021	29	<0,2	1,8	15	0,2	0,7
Bayern	2019	51	<0,4	3,4	24	0,3*	0,8*
	2020	48	<1,1	9,8	21	0,8*	5,6*
	2021	53	<0,4	2,6	28	0,2	0,8
Berlin	2019	4	<0,3	0,5	1	0,2	
	2020	6	<0,3	0,4	a)	a)	a)
	2021	3	<0,3	<0,4	1	0,2	
Brandenburg	2019	34	<1,4	23,7	9	0,2*	0,5*
	2020	29	<1,1	12,3	9	0,2*	0,4*
	2021	35	<0,5	5,1	10	0,2*	0,4*
Bremen	2019	2	0,5	1,0	1	0,5	
	2020	2	<0,6	1,0	1	0,3	
	2021	2	<0,1	<0,1	a)	a)	a)
Hamburg	2019	3	<0,2	0,3	a)	a)	a)
	2020	3	0,2	0,3	1	0,2	
	2021	2	0,5	1,0	a)	a)	a)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	2019	15	<0,1	0,2	8	0,2*	0,4*
	2020	15	<0,3	1,5	8	0,5*	0,8*
	2021	15	<0,3	0,9	8	0,3*	0,8*
Mecklenburg-Vorpommern	2019	19	<0,3	1,4	8	<0,2	0,8
	2020	19	<0,4	4,3	8	0,2	0,6
	2021	19	<0,3	2,2	9	0,1	0,2
Niedersachsen	2019	42	<0,3	5,1	20	0,2	0,6
	2020	42	<0,3	3,8	22	0,2	0,3
	2021	42	<0,3	3,8	21	0,1	0,3
Nordrhein-Westfalen	2019	25	<0,3	<0,5	9	<0,4	<1,2
	2020	25	<0,3	<0,7	8	<0,3	1,2
	2021	23	<0,3	1,5	10	<0,2	0,5
Rheinland-Pfalz	2019	15	<0,1	0,9	7	0,2	0,5
	2020	14	<0,1	0,5	7	<0,3	0,9
	2021	14	<0,1	0,1	7	0,2	0,6
Saarland	2019	4	<0,2	<0,3	2	0,5*	0,5*
	2020	4	<0,2	<0,2	2	0,2	0,3
	2021	4	<0,2	0,3	2	0,9*	0,9*
Sachsen-Anhalt	2019	24	<10,2	77,7	5	0,2	0,2
	2020	24	<8,4	93,9	5	0,1	0,2
	2021	21	<1,9	30,4	5	0,2	0,4
Sachsen	2019	14	<0,3	3,2	6	0,3*	0,5*
	2020	14	<0,2	0,7	6	0,3*	0,5*
	2021	14	<0,1	0,2	6	0,2*	0,3*
Schleswig-Holstein	2019	21	<0,2	0,9	12	0,2	0,5
	2020	22	<0,2	<0,5	12	0,1	0,2
	2021	22	<0,2	<0,3	12	0,1	0,2
Thüringen	2019	17	<0,1	0,1	7	0,1*	0,2*
	2020	17	<0,1	0,3	7	0,1*	0,2*
	2021	17	<0,1	<0,3	7	0,1*	0,2*

a) Messwerte lagen nicht vor

* Die Nachweisgrenzen aus der Schnellmethode für Sr-90 wurden aus der Mittelwertbildung herausgenommen, da sie einer anderen statistischen Grundgesamtheit angehören

Tabelle T II.40 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u. Maissilagen	2019	243	<0,4	5,9	a)	a)	a)
	2020	113	<0,3	2,4	a)	a)	a)
	2021	239	<0,3	3,4	1	<1,2	
Futterrüben	2019	13	<0,4	1,8	a)	a)	a)
	2020	5	<0,3	1,2	a)	a)	a)
	2021	8	<0,3	1,2	a)	a)	a)
Futtergetreide	2019	142	<0,2	1,6	1	0,1	
	2020	140	<0,2	1,1	a)	a)	a)
	2021	147	<0,2	<0,3	a)	a)	a)
Grünfutterpflanzen (ohne Mais)	2019	10	<9,3	0,5	a)	a)	a)
	2020	7	<0,4	1,0	a)	a)	a)
	2021	9	<0,3	<0,8	a)	a)	a)
Futterkartoffeln	2019	74	<0,4	1,7	a)	a)	a)
	2020	52	<0,2	1,2	a)	a)	a)
	2021	75	<0,2	0,9	a)	a)	a)
Erbsen	2019	4	<0,3	<0,5	a)	a)	a)
	2020	7	<0,4	1,8	a)	a)	a)
	2021	5	<0,2	<0,4	a)	a)	a)
Raps	2019	30	<0,1	<0,4	a)	a)	a)
	2020	43	<0,2	0,7	a)	a)	a)
	2021	34	<0,2	0,5	a)	a)	a)
Ölkuchen/ Ölschrote	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2020	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2021	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sonnenblumen	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2020	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2021	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kraftfuttermischung	2019	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2020	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2021	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Silage	2019	13	<0,4	1,3	a)	a)	a)
	2020	7	<0,2	0,3	a)	a)	a)
	2021	11	<0,3	<0,5	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.41 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	2019	13	<0,3	1,9
	2020	18	<0,2	0,3
	2021	22	<0,1	<0,1
Mais, Maisprodukte	2019	15	<0,2	<0,4
	2020	45	<0,2	<0,4
	2021	15	<0,1	<0,1
Maniok, Tapioka	2019	1	0,3	
	2020	a)	a)	a)
	2021	a)	a)	a)
Ölkuchen, Ölschrote	2019	8	<0,2	0,3
	2020	5	<0,3	<0,5
	2021	1	0,2	
Sonnenblumen	2019	2	<0,2	<0,3
	2020	3	<0,3	<0,4
	2021	a)	a)	a)
Sojabohnen	2019	5	<0,2	<0,3
	2020	a)	a)	a)
	2021	2	<0,4	0,5
Kraftfuttermischung	2019	1	<0,2	
	2020	a)	a)	a)
	2021	a)	a)	a)
Mühlennachprodukte	2019	2	<0,3	<0,4
	2020	a)	a)	a)
	2021	1	<0,3	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.42 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants - indicators)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	2019	97	<2,7	34,4
	2020	99	<4,0	50,8
	2021	93	<3,9	75,9
Nadeln	2019	48	<24,9	823,2
	2020	51	<23,9	722,7
	2021	47	<17,8	526,5
Gras	2019	82	<4,1	90,5
	2020	91	<8,3	165,0
	2021	89	<5,7	114,0
Farne (Thüringen)	2019	2	16,3	29,4
	2020	2	16,8	32,4
	2021	2	19,2	35,3

Tabelle T II.43 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of the soil in the vicinity of nuclear facilities)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	20	7,83	17	8,18	15	6,57 (2,17 - 23,30)
	Pu-238	6	<1,77	7	<1,10	6	<0,67 (0,11 - <1,02)
	Pu-(239+240)	6	<0,66	7	<0,63	6	<0,61 (0,29 - 0,89)
	Sr-90	2	1,62	3	1,02	3	0,79 (0,30 - 1,59)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	4,58	4	3,31	4	5,29 (4,60 - 5,67)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	2,25	4	2,72	4	2,09 (1,51 - 2,40)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	7,78	6	7,53	6	6,11 (1,56 - 14,00)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	17,67	6	19,10	6	15,18 (8,32 - 18,03)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	13,50	2	11,46	2	13,86 (13,59 - 14,12)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	33,00	10	27,83	10	33,33 (16,08 - 51,73)
KKI Isar	Cs-137	12	32,99	12	33,07	12	27,00 (8,86 - 43,95)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	4,48	10	4,23	10	3,52 (0,66 - 7,61)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	<25,28	4	16,10	4	<23,27 (<0,17 - 39,80)
Framatome GmbH	Cs-137	4	10,12	4	15,97	4	11,25 (4,80 - 16,00)
Standort Erlangen	Pu-238	4	<0,16	4	<0,13	4	<0,15 (<0,05 - <0,28)
	Pu-(239+240)	4	<0,19	4	<0,21	4	<0,17 (0,07 - <0,33)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	U-235	4	0,68	4	0,54	4	0,65 (0,40 - 0,91)
	U-238	4	12,68	4	11,92	4	13,45 (6,90- 20,2)
	Am-241	4	<0,08	4	<0,17	4	<0,08 (<0,06 - <0,10)
Framatome GmbH	Cs-137	a)		a)		a)	
Standort Karlstein	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	a)		a)		a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	6,04	4	6,42	4	5,78 (4,89 - 6,80)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	7,02	4	6,33	4	7,04 (5,74 - 9,90)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	5,05	6	5,41	4	15,51 (13,40 - 17,53)
	Pu-(239+240) Asche	a)		a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	8	4,34	8	3,75	8	<5,23 (<0,49 - 14,10)
	U-235	a)		a)		a)	
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	5,05	24	4,32	24	5,02 (0,63 - 16,00)
	U-235	a)		a)			
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	8	7,69	8	8,17	8	7,42 (3,18 - 10,20)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	8	12,13	6	16,25	8	9,72 (7,63 - 13,40)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	8	5,85	8	5,01	8	3,99 (1,17 - 9,65)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	14	13,14	16	11,96	14	8,90 (0,60 - 17,50)
	Sr-90	2	<3,16	2	<0,67	2	<5,01 (<2,64 - 7,37)
	Pu-238	1	<0,22	1	<0,12	1	<0,16
	Pu-(239+240)	a)		1	<0,12	1	<0,16
Schacht Konrad II [b)]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Advanced Nuclear Fuels	Cs-137	a)		12	<4,83	a)	
Lingen	U-234	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	8	5,54	6	5,22	8	5,24 (4,20 - 5,90)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	8	4,38	8	3,70	1	3,00
	Sr-90	6	0,59	6	0,59	a)	
KWW Würgassen[c)]	Cs-137	a)		a)		a)	
THTR Uentrop[c)]	Cs-137	5	<1,74	5	7,81	4	17,56 (6,02 - 40,20)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	5	4,68	5	5,30	5	6,52 (5,60 - 7,60)
	Sr-90	5	<0,27	5	0,24	5	<0,43 (<0,10 - 0,78)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	9,68	4	8,62	4	5,71 (4,60 - 7,11)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	11	<6,99	11	6,84	11	6,53 (3,86 - 10,64)
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	13	5,05	10	5,14	6	4,27 (1,60 - 6,40)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	10	4,45	10	4,24	10	4,21 (2,40 - 6,50)
	Sr-90	2	0,21	2	<0,22	2	<0,20 (<0,10 - <0,30)
	Gesamt-β	4	615	4	590	4	610 (530 - 700)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	6	3,42	6	4,12	6	3,79 (2,84 - 6,14)
	Sr-90	2	0,23	2	0,25	2	0,22 (0,21 - 0,23)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	13,70	6	17,02	6	14,30 (6,39 - 26,73)
	Sr-90	3	1,70	1	1,70	1	1,40
KKK Krümmel	Cs-137	11	4,45	8	4,17	8	3,83 (2,80 - 4,60)
	Sr-90	7	0,38	4	0,62	4	<0,39 (<0,25 - 0,68)
KBR Brokdorf	Cs-137	11	9,48	10	10,98	10	8,49 (0,98 - 16,60)
	Sr-90	5	1,32	4	1,22	4	1,08 (0,99 - 1,21)
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.44 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of vegetation in the vicinity of nuclear facilities)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	8	<0,11	8	<0,17	8	<0,13 (0,04 - <0,21)
	Pu-238	4	<0,05	4	<0,08	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Pu-(239+240)	4	<0,02	4	<0,03	4	<0,02 (<0,01 - <0,02)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,24	4	<0,24	4	<0,20 (0,02 - <0,40)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,18	4	<0,19	4	<0,16 (0,03 - <0,31)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	<0,30	6	<0,31	6	<0,34 (0,02 - <0,54)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	6	<0,11	6	<0,10	6	0,20 (0,04 - 0,67)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	0,05	2	0,39	2	0,12 (0,08 - 0,16)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	<0,16	10	<0,13	10	<0,20 (0,03 - 0,57)
KKI Isar	Cs-137	12	<0,35	12	<0,22	12	0,34 (0,04 - 1,50)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,24	10	<0,17	10	<0,18 (<0,10 - <0,35)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	<0,20	4	<0,38	4	<0,15 (0,03 - <0,23)
Framatome GmbH Standort Erlangen	Cs-137	4	<0,55	4	<0,32	4	<0,20 (<0,04 - 0,30)
	Pu-238	4	<0,15	4	<0,02	4	<0,02 (<0,00 - <0,03)
	Pu-(239+240)	4	<0,09	4	<0,02	4	<0,02 (<0,00 - <0,03)
	U-235	4	<0,05	4	<0,02	4	<0,01 (<0,00 - <0,02)
	U-238	4	0,49	4	0,22	4	0,11 (0,02 - 0,22)
	Am-241	4	<0,03	4	<0,02	4	<0,01 (<0,00 - <0,03)
Framatome GmbH Standort Karlstein	Cs-137	a)		a)		a)	
	Pu-238	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240)	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
	Am-241	a)		a)		a)	
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	<0,22	4	<0,30	4	<0,29 (0,10 - 0,50)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	4,00	4	<2,77	4	1,79 (0,37 - 3,95)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	6	<0,08	6	<0,09	7	<0,16 (<0,05 - <0,23)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	8	<0,69	8	<0,33	8	<0,23 (<0,10 - 0,62)
Zwischenlager Nord	Cs-137	12	<0,26	24	<0,17	24	<0,28 (<0,10 - 3,60)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	8	<0,11	10	<0,08	8	<0,08 (<0,04 - <0,22)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	8	<0,13	6	<0,16	6	<0,12 (<0,03 - <0,27)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	a)		1	<0,26	1	<0,27
KKE Emsland	Cs-137	8	<0,23	8	<0,22	8	<0,17 (<0,07 - 0,45)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	16	<4,00	16	<0,76	14	<0,47 (<0,07 - 2,90)
	Sr-90	2	7,55	2	0,52	2	1,70 (0,69 - 2,70)
Schacht Konrad II [b)]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Gesamt-α	a)		a)		a)	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	a)		4	<0,13	4	0,17 (0,05 - 0,45)
	Pu-238	a)		1	<0,01	1	<0,30
	Pu-(239+240)	a)		1	<0,01	1	<0,30
	U-234	a)		5	0,04	6	0,08 (0,01 - 0,29)
	U-235	a)		5	<0,01	6	<0,01 (<0,00 - 0,02)
	U-238	a)		5	0,05	6	0,08 (0,01 - 0,34)
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	8	<0,18	5	<0,22	8	<0,18 (<0,09 - <0,25)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	3	<0,08	2	<0,06	3	<0,53 (<0,08 - <1,33)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWW Würgassen[c)]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
THTR Uentrop[c)]	Cs-137	3	<0,56	4	<0,80	2	<0,24 (<0,13 - 0,35)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	<0,58	10	<0,07	10	<0,09 (<0,00 - 0,54)
	Sr-90	10	0,13	10	0,17	10	0,23 (0,06 - 0,64)
UAG Gronau	U-238	a)		a)		a)	
	Uran (Bq/kgTM)	12	<0,23	12	<0,25	26	<0,26 (<0,23 - 0,58)
	Fluor (mg/kg TM)	12	<1,50	12	<1,72	26	<3,34 (<1,50 -32,50)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid/ Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2019		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,12	4	<0,19	4	<0,15 (<0,10 - <0,25)
Cattenom (Frankreich)	Cs-137	6	<0,15	6	<0,06	6	<0,07 (<0,03 - 0,11)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	7	<0,46*	8	<0,48	6	<0,19 (0,08 - <0,30)
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	10	<0,37	10	<0,21	10	<0,26 (<0,10 - 0,47)
	Gesamt-β	4	151	4	263	4	203 (190 - 230)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,19	4	<0,17	4	<0,10 (<0,07 - <0,12)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	<0,41	6	<0,13	6	<010 (<0,06 - <0,13)
	Sr-90	2	0,19	a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	6	<0,13	4	<0,12	4	<0,12 (<0,09 - <0,15)
	Sr-90	7	0,45	4	0,08	4	0,25 (0,17 - 0,33)
KBR Brokdorf	Cs-137	11	<0,11	10	<0,11	10	<0,12 (<0,06 - <0,18)
	Sr-90	1	0,21	a)		a)	
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	a)		a)		a)	

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.45 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany)

	Nuklid	2021						2020
		Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-wert [a]	Maximal-wert [a]	Mittel-wert [a]	Median [b]	Median [b]
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	103	54	15	750		200	<190
	Cs-137	103	102			0,23	<6,8	<6,7
	Sr-90	48	26	0,24	11		<3,9	3,9
	H-3	63	55	1000	4600		<4400	<4600
	U-234	52	21	0,027	120	18	<1,9	2,5
	U-235	52	43	0,005	1,3		<0,73	<0,73
	U-238	52	21	0,022	69	8,8	1,2	2,3
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	95	56	19	770		<160	<160
	Cs-137	95	94			0,33	<6,9	<7,3
	Sr-90	39	22	1,0	15		<3,6	<4,3
	H-3	46	41	1200	2500		<4400	<4600
	U-234	43	14	0,35	83	11	<3,0	2,4
	U-235	43	36	0,056	3,0		<0,93	<0,98
	U-238	43	18	0,10	73	9,9	1,6	1,7
Reinwasser	K-40	239	168	3,0	1100		<150	<190
	Cs-137	239	237	0,95	3,9		<7,3	<7,7
	Sr-90	55	34	1,0	12		<4,2	4,7
	H-3	68	60	1100	2500		<5400	<5000
	U-234	69	29	0,037	90	10	<3,0	1,4
	U-235	69	58	0,004	3,5		<0,7	<0,75
	U-238	69	31	0,027	81	8,8	<2,4	<1,5

a Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.

b Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

Tabelle T II.46 Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser)

(Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act groundwater and drinking water)

	Nuklid	2021						2020
		Anzahl gesamt [a]	Anzahl <NWG	Minimal-wert [b]	Maximal-wert [b]	Mittel-wert [b]	Median [c]	Median [c]
Grundwasser (mBq/l)								
	K-40	281	171	36	23000		<500	<510
	Co-60	399	399				<30	<29
	Cs-137	304	304				<29	<25
	Sr-90	26	12	0,66	13	3,3	4,8	1,8
	H-3	407	367	840	11000		<5600	<5800
	R-Beta	16	16				<100	<100
	G-Alpha	39	16	20	99	32	<40	35
Trinkwasser (mBq/l)								
Rohwasser	K-40	66	36	2,3	600		240	<190
	Co-60	64	64				<8,4	<9,9
	Cs-137	64	64				<8,2	<9,7
	Sr-90	8	2	0,095	4,9	1,5	<1,0	<1,0
	H-3	74	61	1300	8400		<3200	<3100
	G-Alpha	6	0	27	56	38	35	36
Reinwasser	K-40	113	73	16	1300		<190	<160
	Co-60	126	126				<7,9	<7,4
	Cs-137	113	113				<8,1	<8,0
	Sr-90	38	33	0,18	13		<6,9	5,2
	H-3	128	106	1500	13000		<4200	<4100

a Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ-Spektrometrie die Einhaltung der NWG nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d. h. für andere γ-strahlende Radionuklide müssen die NWG von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die NWG für Cs-137 und K-40 mitteilen, kann für diese Radionuklide die Anzahl der gemeldeten Werte kleiner als für Co-60 sein.

b Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.

c Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

Tabelle T II.47 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2019	7	<0,04 (<0,02 - 0,10)	60	<0,12 (<0,04 - 0,23)
	2020	7	0,12 (0,07 - 0,20)	51	<0,12 (<0,03 - <0,22)
	2021	7	<0,03 (<0,02 - 0,04)	55	<0,11 (<0,04 - 0,16)
Bayern	2019	20	<0,04 (0,02 - <0,20) *	217	<0,10 (0,04 - 0,24)
	2020	23	0,06 (0,03 - 0,15) *	152	<0,10 (0,04 - <0,22)
	2021	24	0,04 (0,02 - 0,10) *	218	<0,10 (<0,07 - 0,26)
Berlin	2019	12	0,02 (0,01 - 0,03) *	24	<0,43 (0,04 - 1,92)
	2020	12	0,02 (0,01 - 0,04) *	24	<0,49 (0,09 - 3,45)
	2021	12	0,03 (0,02 - 0,04) *	24	<0,38 (0,09 - 1,83)
Brandenburg	2019	12	<0,01 (0,01 - <0,02) *	89	<0,17 (<0,04 - 0,91)
	2020	10	0,01 (0,01 - 0,04) *	81	<0,14 (<0,04 - 0,77)
	2021	10	0,02 (0,01 - 0,05) *	78	<0,13 (<0,03 - 0,72)
Bremen	2019	10	0,02 (0,01 - 0,03)	12	<0,15 (0,03 - 0,049)
	2020	10	0,02 (0,01 - 0,04)	12	<0,14 (<0,05 - 0,27)
	2021	a)		12	<0,11 (0,03 - 0,23)
Hamburg	2019	12	<0,05 (0,01 - 0,34) **	12	<0,10 (<0,06 - <0,17)
	2020	10	0,02 (0,01 - 0,04)	12	<0,14 (<0,05 - 0,27)
	2021	12	<0,03 (0,01 - 0,05) **	12	<0,11 (<0,07 - <0,16)
Hessen	2019	12	0,03 (0,02 - 0,04) *	34	<0,07 (<0,06 - <0,08)
	2020	12	0,03 (0,02 - 0,04) *	33	<0,08 (<0,06 - <0,18)
	2021	8	<0,02 (<0,01 - 0,03) *	36	<0,09 (<0,05 - <0,15)
Mecklenburg-	2019	11	<0,01 (<0,01 - 0,01)	45	<0,17 (<0,14 - 0,63)
Vorpommern	2020	13	<0,01 (<0,01 - 0,02)	48	<0,17 (<0,13 - <0,20)
	2021	13	<0,02 (0,01 - <0,04)	47	<0,17 (<0,12 - 0,33)
Niedersachsen	2019	18	<0,05 (<0,02 - 0,15)	151	<0,19 (0,04 - <0,50)
	2020	25	<0,03 (0,02 - 0,07)	155	<0,19 (0,05 - 0,58)
	2021	27	<0,03 (<0,02 - 0,07) *	155	<0,20 (0,05 -0,50)
Nordrhein-Westfalen	2019	12	<0,03 (<0,01 - 0,11) *	105	<0,13 (<0,01 - 0,33)
	2020	13	0,04 (0,02 - 0,08) *	107	<0,13 (<0,00 - 0,77)
	2021	11	<0,05 (<0,02 - 0,22) *	99	<0,12 (0,04 - 0,23)
Rheinland-Pfalz	2019	13	0,02 (0,02 - 0,03)	39	<0,05 (<0,02 - <0,07)
	2020	13	0,02 (0,02 - 0,02)	39	<0,07 (<0,02 - <0,19)
	2021	13	<0,02 (<0,01 - 0,02)	39	<0,05 (0,01 - <0,19)
Saarland	2019	12	0,05 (0,02 - 0,12) *	15	<0,09 (<0,07 - 0,12)
	2020	12	0,03 (0,02 - 0,05) *	15	<0,09 (<0,07 - <0,11)
	2021	12	<0,04 (<0,02 - 0,14) *	15	<0,09 (<0,08 - <0,11)
Sachsen	2019	11	0,02 (0,01 - 0,02) *	59	<0,11 (0,06 - <0,21)
	2020	12	0,02 (0,01 - 0,03) *	60	<0,09 (0,06 - <0,13)
	2021	12	0,02 (0,02 - 0,02) *	60	<0,10 (<0,07 - 0,12)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	2019	12	0,32 (0,13 - 0,68) **	70	<0,11 (0,07 - 0,33)
	2020	12	<0,48 (0,25 - 0,86) **	69	<0,11 (<0,07 - 0,22)
	2021	12	<0,41 (<0,24 - 0,67) **	63	<0,10 (<0,07 - 0,19)
Schleswig-Holstein	2018	12	<0,02 (0,01 - 0,06)	84	<0,12 (<0,00 - <0,17)
	2019	12	<0,02 (<0,02 - 0,05)	84	<0,11 (<0,08 - <0,20)
	2020	14	<0,02 (<0,02 - 0,04)	87	<0,15 (<0,07 - <0,23)
Thüringen	2019	17	0,01 (0,01 - 0,02)	36	<0,10 (<0,08 - <0,12)
	2020	15	0,02 (0,01 - 0,02) *	36	<0,10 (<0,09 - <0,12)
	2021	15	0,01 (0,01 - 0,02) *	36	<0,10 (<0,09 - <0,14)
Bundesrepublik	2019	203	<0,03 (<0,01 - 0,20) *	1052	<0,14 (<0,00 - 1,92)
(gesamt)	2020	213	<0,03 (0,01 - 0,20) *	978	<0,14 (<0,00 - 3,45)
	2021	202	<0,03 (0,01 - 0,22) *	1036	<0,13 (0,01 - 1,83)

* Ergebnisse aus der Sr-Schnellbestimmung wurden bei Mittelwertbildung und Wertebereichen nicht berücksichtigt
** alle Werte stammen aus der Sr-Schnellbestimmung

Tabelle T II.48 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2021
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2021)

Produkt	N	Cs-134 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1036	<0,21	<0,02	1,83	0,01
Käse	4	<0,06	<0,20	<0,20	<0,06
Milchpulver	a)				
Importe					
Käse	92	<0,25	<0,06	0,30	0,05
Frischkäse	3	<0,09	<0,07	<0,11	<0,10
Schafskäse	11	<0,19	<0,06	<0,22	0,06
Lakenkäse	10	<0,21	<0,07	<0,23	0,06

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.49 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of nuclear power plants)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,02	5	<0,40 (0,01 - <0,69)
	Sr-90	2	<0,16	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	a)		5	<0,005 - <0,681
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	4	0,02	4	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,004 - <0,008	10	<0,004 - <0,006
GKN Neckarwestheim	Cs-137	7	<0,22	9	<0,35 (<0,02 - <0,79)
	Sr-90	4	0,02	4	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	13	<0,004 - <0,791	15	<0,004 - <0,718)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKP Philippsburg	Cs-137	8	<0,24	8	<0,37 (0,01 - <0,94)
	Sr-90	4	<0,06	4	<0,01 (<0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	15	<0,005 - <0,647	15	<0,005 - <0,900
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	8	<0,05	5	<0,03 (0,01 - <0,04)
(Schweiz)	Sr-90	5	0,02	5	0,01 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,205	13	<0,002 - <0,248
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	<0,32	7	<0,42 (<0,02 - <1,09)
	Sr-90	4	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <1,08	13	<0,004 - <1,658
Bayern					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - 0,02)
	Sr-90	6	<0,02	6	0,01 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,004 - <0,010	18	<0,002 - <0,005
KKI Isar	Cs-137	4	0,05	4	0,04 (0,02 - 0,05)
	Sr-90	4	<0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,004 - <0,009	12	<0,003 - <0,005
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,09	6	<0,09 (<0,07 - <0,11)
	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,05 - <0,010	18	<0,004 - <0,009
FRM II	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
Brandenburg					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,13	3	<0,09 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	4	0,01	3	0,01 (0,01 - 0,01)
	I-131 (nur Bereich)	4	<0,063 - <0,133	3	<0,073 - <0,086
Hessen					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,05	4	<0,08 (<0,08 - <0,09)
	Sr-90	10	<0,01	4	<0,01 (<0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	30	<0,004 - <0,008	a)	
Mecklenburg-Vorpommern					
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,17	4	<0,14 (<0,11 - <0,17)
	Sr-90	4	0,01	4	<0,02 (<0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	3	<0,145 - <0,154	4	<0,128 - <0,181
Niedersachsen					
KKS Stade	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,11	4	<0,07 (<0,04 - <0,10)
	Sr-90	4	<0,01	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,009	12	<0,006 - <0,010

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,06	2	<0,07 (<0,05 - <0,08)
	Sr-90	4	<0,02	2	<0,02 (<0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,010	6	<0,006 - <0,008
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,08	4	<0,09 (<0,05 - <0,11)
	Sr-90	4	<0,01	4	<0,01 (<0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005 - <0,011	12	<0,005 - <0,011
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	22	<0,09	23	<0,10 (<0,04 - 0,20)
	Sr-90	11	<0,02	13	<0,02 (0,00 - 0,03)
	I-129 (µBq/l)	a)		a)	
Schacht Konrad II [b)]	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	2	<0,17	2	<0,12 (<0,11 - <0,12)
Nordrhein-Westfalen					
FZ Jülich	Cs-137	2	<0,06	3	<0,01 (<0,00 - <0,01)
	Sr-90	2	0,02	1	0,02
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,006 - <0,009	3	<0,004 - <0,006
KWW Würgassen [c)]	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
THTR Uentrop [c)]	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
UAG Gronau	Uran (Bq/l)	12	<0,23	12	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	Fluor (mq/l)	12	<0,42	12	<0,42 (<0,42 - <0,42)
Rheinland-Pfalz					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,07	2	<0,06 (<0,06 - <0,06)
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,060 - <0,080	1	<0,07
KKW Cattenom	Cs-137	6	<0,03	4	<0,02 (<0,02 - <0,02)
(Frankreich)	Sr-90	6	0,02	4	0,02 (0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	13	<0,006 - <0,060	11	<0,006 - <0,008
Sachsen					
VKTA Rossendorf	Cs-137	2	<0,09	2	<0,10 (<0,09 - <0,11)
	Sr-90	2	0,03	2	0,02 (0,02 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,071 - <0,089	2	<0,080 - <0,082
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,09	4	<0,09 (<0,07 - <0,11)
	Sr-90	a)		a)	
Schleswig-Holstein					
GKSS Geesthacht	Cs-137	4	<0,13	4	<0,10 (<0,08 - <0,11)
	Sr-90	4	<0,02	4	<0,02 (<0,02 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/l			
		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	14	<0,10	4	<0,04 (0,02 - 0,04)
	Sr-90	8	0,02	4	0,02 (0,01 - 0,02)
	I-131 (nur Bereich)	42	<0,005 - <0,010	a)	
KKK Krümmel	Cs-137	12	<0,07	6	<0,05 (0,02 - 0,10)
	Sr-90	8	0,03	6	0,02 (0,01 - 0,03)
	I-131 (nur Bereich)	24	<0,005 - <0,010	18	<0,004 - <0,009
KBR Brokdorf	Cs-137	10	<0,05	8	<0,03 (0,01 - 0,07)
	Sr-90	9	0,02	8	0,02 (0,02 - 0,04)
	I-131 (nur Bereich)	26	<0,005 - <0,010	24	<0,004 - <0,008
Zwischenlager Brokdorf	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme
c) im Betrieb des sicheren Einschlusses

Tabelle T II.50 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish)

Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2021					2020
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Binnenseen	Norddeutschland	55	9	<0,07	11,9	0,85	1,10
	Mitteldeutschland	9	2	<0,10	0,36	<0,2	1,33
	Süddeutschland	23	5	<0,10	5,68	0,56	0,50
Fischteiche	Norddeutschland	10	3	<0,08	2,85	0,24	0,17
	Mitteldeutschland	22	11	0,05	0,43	0,09	0,12
	Süddeutschland	33	10	<0,1	2,18	0,10	0,11
Fließgewässer	Norddeutschland	9	4	<0,09	1,18	0,19	0,07
	Mitteldeutschland	24	15	<0,08	1,81	0,10	0,08
	Süddeutschland	3	3	<0,14	<0,23	<0,17	<0,19
nicht spezifizierte Gewässer	Norddeutschland	-	-	-	-	-	-
	Mitteldeutschland	-	-	-	-	-	<0,13
	Süddeutschland	-	-	-	-	-	<0,07

Tabelle T II.51 Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen
(Cs-137 activity in trout and carp)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

Fisch	Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2021					2020
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Forellen	37	29	0,05	0,27	0,14	0,11
Karpfen	31	14	<0,07	1,08	0,09	0,16

Tabelle T II.52 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nord- und Ostsee
(Specific Cs-137 activity in fish, crustaceans and molluscs from the North Sea and the Baltic Sea)

Messungen der Bundesländer und der Leitstelle

Gewässer	Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
		2021					2020
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Nordsee	Fische	34	21	0,05	0,12	0,08	0,06
	Garnelen	16	13	0,03	<0,17	0,04	<0,10
	Miesmuscheln	14	10	0,01	0,17	0,02	<0,09
Ostsee	Fische	18	0	0,39	2,73	1,18	1,39

Tabelle T II.53 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2021					2020
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Süßwasserfisch	28	20	<0,08	1,84	0,12	<0,08
Seefisch	135	97	<0,05	0,50	0,07	0,07
Krusten- u. Schalentiere	11	11	<0,07	<0,19	<0,10	<0,10
Fischereierzeugnisse	4	4	<0,08	<0,15	<0,12	0,90

Tabelle T II.54 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products from the Pacific Ocean)

Probenart	spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM					
	2021					2020
	N	nn	min.	max.	Median	Median
Meeresfisch	30	22	<0,05	0,27	<0,07	<0,08
Fischereierzeugnisse	-	-	-	-	-	-

Tabelle T II.55 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren
(Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs)

Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	spez. Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM					
		2021					2020
		N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch	Binnenseen	16	8	0,005	0,13	0,015	0,033
	Fischteiche	5	4	0,010	0,24	0,047	0,030
	Fließgewässer	9	6	0,005	0,080	0,010	0,018
	Nordsee	3	1	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$9{,}0 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$	
	Ostsee	3	0	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}0 \cdot 10^{-2}$	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$	
Garnelen	Nordsee	12	12	<0,020	<0,020	<0,020	0,02
Miesmuscheln	Nordsee	9	9	<0,020	<0,020	<0,020	<0,01

Tabelle T II.56 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen, Krusten- und Schalentieren aus verschiedenen Meeresgebieten
(Specific radionuclide activities in fish, crustaceans and molluscs from different marine areas)

Ergebnisse der Leitstelle am Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Meer / Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
					min.	max.	Median
Nordsee							
Gesamtfisch	Cs-137	2021	14	0	0,05	0,11	0,08
	Cs-134	2021	14	13	<0,010	<0,014	<0,012
	Sr-90	2021	3	1	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$	$9{,}0 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$
	Pu-238	2021	1	0			$4{,}3 \cdot 10^{-4}$
	Pu-239+240	2021	1	0			$3{,}6 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	2021	1	0			$1{,}7 \cdot 10^{-4}$
Muschelfleisch	Pu-238	2021	1	0			$7{,}4 \cdot 10^{-4}$
	Pu-239+240	2021	1	0			$3{,}3 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	2021	1	0			$3{,}7 \cdot 10^{-3}$
Garnelenfleisch	Pu-238	2021	1	0			$1{,}5 \cdot 10^{-5}$
	Pu-239+240	2021	1	0			$9{,}3 \cdot 10^{-5}$
	Am-241	2021	1	0			$8{,}4 \cdot 10^{-5}$
Ostsee (südliche und westliche)							
Fischfleisch	Cs-137	2021	3	0	1,19	2,73	1,26
	Cs-134	2021	3	3	<0,02	<0,03	<0,03
Gesamtfisch	Cs-137	2021	10	0	0,86	3,05	1,94
	Cs-134	2021	10	10	$<9{,}4 \cdot 10^{-3}$	$<1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$<1{,}1 \cdot 10^{-2}$
	Sr-90	2021	3	0	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}0 \cdot 10^{-2}$	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$
	Pu-238	2021	1	0	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$		$5{,}0 \cdot 10^{-5}$
	Pu-239+240	2021	1	0			$1{,}1 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	2021	1	0			$5{,}1 \cdot 10^{-4}$

Tabelle T II.57 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Wasserpflanzen aus verschiedenen Meeresgebieten
(Specific radionuclide activities in aquatic plants from different marine areas)

Ergebnisse der Leitstelle am Thünen-Institut für Fischereiökologie, Bremerhaven

Meer / Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
					min.	max.	Median
Nordsee							
Wasserpflanzen	Cs-137	2021	4	0	0,19	0,27	0,23
	Cs-134	2021	4	4	<0,07	<0,10	<0,08
	Pu-238	2021	2	0	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$
	Pu-239+240	2021	2	0	$9{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$
	Am-241	2021	2	0	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$6{,}7 \cdot 10^{-3}$	$6{,}0 \cdot 10^{-3}$
Ostsee (südliche und westliche)							
Wasserpflanzen	Cs-137	2021	1	0			10,9
	Cs-134	2021	1	1			<0,13
	Sr-90	2021	1	0			1,4
	Pu-238	2021	1	0			$7{,}0 \cdot 10^{-4}$
	Pu-239+240	2021	1	0			$3{,}0 \cdot 10^{-2}$
	Am-241	2021	1	0			$5{,}2 \cdot 10^{-3}$

Tabelle T II.58 Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz
(Activity in fish and aquatic plants - within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act)

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2021					2020
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KGG Gundremmingen	Cs-137	6	4	0,09	<0,17	<0,16	<0,15
Elbe	HZ Hereon (ex GKSS)	Cs-137	6	3	<0,12	<0,35	0,13	<0,13
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,19	0,25	,0,23	0,16
	PKA Gorleben	Cs-137		0	-	-	-	-
	KKS Stade	Cs-137	*		-	-	-	
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	5	<0,004	<0,009	<0,006	<0,007
		Cs-137	6	0	0,20	0,28	0,24	0,23
	KKB Brunsbüttel	Cs-137		0	-	-	-	-
Ems	KKE Emsland	Cs-137	*		-	-	-	0,15
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	4	0	0,44	2,13	0,92	1,29
Gr. Wannsee	HZB (ehem. HMI) Berlin	Cs-137	2	0	-	-	0,74	0,54
Pohlesee		Cs-137	1	1	-	-	0,68	
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	2	<0,12	0,26	0,25	<0,17
	FRM II Garching	Cs-137	1	0	-	-	<0,14	<0,14
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	4	<0,17	<0,21	<0,19	<0,20
Mosel	Cattenom	Sr-90	3	3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	(Frankreich)	Cs-137	3	2	<0,04	0,10	<0,03	<0,06

Gewässer	Anlage	Radio-nuklid	2021					2020
			N	nn	min.	max.	Median	Median
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	1	<0,05	0,04	0,04	0,04
	KWO Obrigheim	Cs-137	4	0	0,03	0,09	0,04	0,06
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	0	0/2[a]	-	-	0,05	0,05
	KWB Biblis	Sr-90	-	0				0,01
		Cs-137	-	0				<0,05
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	1	0,05	0,11	0,05	0,09
	KKP Philippsburg	Sr-90	2	0	0,01	0,02	0,02	<0,01
		Cs-137	4	0	0,03	0,12	0,07	0,13
	KIT Karlsruhe	Cs-137	2	0	0,10	0,12	0,11	0,03
Rur	FZ Jülich	Cs-137	4	1	0,10	<0,23	0,16	0,16
		Co-60	4	4	<0,15	<0,27	<0,24	<0,26
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	1,84	6,28	4,06	2,04
Stechlinsee		Cs-137	2	0	1,32	4,25	2,79	7,68
Weser	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,03	0,12	0,07	0,08
	KWG Grohnde	Cs-137	6	6	<0,03	<0,04	<0,03	<0,03
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1	-	-	<0,38	<0,32
		Cs-137	1	1		-	<0,29	0,35
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	-	-	<0,36	<0,56
		Cs-137	0	0	-	-	-	-
Donau	KGG Gundremmingen	Co-60	2	2	<0,38	<0,9	<0,64	<0,31
		Cs-134	2	2	<0,23	<0,56	<0,40	<0,19
		Cs-137	2	0	3,80	5,60	4,70	1,57
Isar	FRM II Garching	Co-60	4	3	<0,16	<0,44	<0,23	<0,54
		Cs-137	4	0	2,30	7,10	5,80	2,66
	KKI 1/2 Isar	Mn-54	0	0	-	-	-	-
		Co-60	1	0	-	-	3,0	1,0
		I-131	1	0	-	-	6,5	10
		Cs-137	1	0	-	-	9,0	6,7
Main	KKG Grafenrheinfeld	Co-60	2	1	<0,17	4,79	2,43	0,55
		Cs-137	2	0	0,93	3,80	2,37	2,06

N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG

* keine Probenentnahme im Jahr 2021

a Die zweite Zahl entspricht der Anzahl nicht lieferbarer Proben

Tabelle T II.59 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2020	27	<0,13 (0,02 - <0,22)	7	0,09 (0,05 - 0,15)
	2021	23	<0,14 (<0,05 - <0,24)	5	0,14 (0,06 - 0,38)
Bayern	2020	51	<0,13 (0,04 - 0,31)	10	0,13 (0,04 - 0,41)
	2021	52	<0,13 (<0,07 - 0,28)	6	0,16 (0,05 - 0,32)
Berlin	2020	2	<0,16 (<0,16 - <0,16)	1	0,1
	2021	2	<0,15 (<0,15 - <0,15)	1	0,15
Brandenburg	2020	21	<0,10 (<0,04 - <0,16)	2	0,08 (0,02 - 0,14)
	2021	19	<0,13 (<0,06 - <0,20)	1	0,07
Bremen	2020	4	<0,05 (<0,03 - <0,07)		
	2021	3	<0,06 (<0,04 - <0,07)		
Hamburg	2020	4	<0,09 (<0,07 - <0,11)	1	0,1
	2021	2	<0,11 (<0,10 - <0,12)		
Hessen	2020	17	<0,09 (<0,05 - <0,12)		
	2021	17	<0,11 (<0,06 - <0,18)		
Mecklenburg-	2020	30	<0,13 (<0,10 - <0,16)	2	0,08 (0,06 - 0,10)
Vorpommern	2021	33	<0,14 (<0,07 - <0,18)	2	<0,11 (<0,05 - 0,17)
Niedersachsen	2020	31	<0,16 (<0,06 - <0,29)	6	<0,15 (<0,04 - 0,40)
	2021	37	<0,16 (<0,03 - <0,32)	4	<0,20 (<0,04 - 0,50)
Nordrhein-Westfalen	2020	28	<0,12 (<0,04 - <0,19)	1	0,07
	2021	27	<0,13 (<0,02 - <0,23)	3	0,11 (0,08 - 0,14)
Rheinland-Pfalz	2020	20	<0,08 (<0,03 - <0,11)	3	0,11 (0,09 - 0,16)
	2021	15	<0,06 (<0,03 - <0,08)	3	0,14 (0,13 - 0,16)
Saarland	2020	4	<0,09 (<0,04 - <0,13)	1	0,12
	2021	2	<0,11 (<0,11 - <0,11)	1	0,13
Sachsen	2020	30	<0,12 (<0,09 - 0,18)	3	0,06 (0,04 - 0,07)
	2021	30	<0,12 (<0,10 - <0,16)	3	0,11 (0,08 - 0,14)
Sachsen-Anhalt	2019	34	<0,11 (<0,08 - <0,15)	3	0,04 (0,02 - 0,06)
	2020	36	<0,13 (<0,07 - 0,25)	3	0,09 (0,04 - 0,18)
Schleswig-Holstein	2020	35	<0,12 (<0,07 - <0,19)	3	0,09 (0,05 - 0,16)
	2021	31	<0,12 (<0,07 - <0,18)	3	0,11 (0,10 - 0,12)
Thüringen	2020	34	<0,12 (<0,10 - <0,14)	1	0,03
	2021	34	<0,12 (<0,09 - <0,15)	1	0,05
Bundesrepublik	2020	372	<0,12 (0,02 - 0,31)	44	<0,10 (0,02 - 0,41)
(gesamt)	2021	363	<0,13 (<0,02 - <0,32)	36	<0,13 (<0,04 - 0,50)

Tabelle T II.60 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kanada	2020	1	<0,06
	2021	1	<0,09
Österreich	2020	1	<0,07
	2021	3	<0,10 (<0,04 - <0,16)
Tschechische Republik	2020	1	<0,03
	2021	1	<0,14
Türkei	2020	1	<0,04
	2021	3	<0,11 (<0,10 - <0,12)

Tabelle T II.61 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Gerste	2020	106	<0,13 (<0,06 - <0,26)	5	<0,10 (0,03 - 0,19)
	2021	111	<0,15 ([illegible] - <0,30)	4	0,11 (0,07 - 0,17)
Hafer	2020	22	<0,35 ([illegible] - 3,64)	3	0,21 (0,07 - 0,35)
	2021	21	<0,28 ([illegible] - 1,69)	1	0,25
Mais	2020	-*		-*	
	2021	6	<0,18 ([illegible] - <0,28)		
Reis	2020	12	<0,12 ([illegible] - <0,19)	-	
	2021	9	<0,12 ([illegible] - <0,19)		
Roggen	2020	130	<0,14 ([illegible] - 1,13)	10	<0,08 (<0,01 - 0,18)
	2021	142	<0,15 ([illegible] - 0,95)	12	0,10 (0,04 - 0,17)
Triticale	2020	20	<0,13 ([illegible] - <0,24)	1	0,12
	2021	16	<0,26 ([illegible] - 2,15)	-	
sonstiges Getreide	2020	16	<0,17 (0,08 - 0,44)	-	
	2021	6	<0,13 ([illegible] - <0,17)		

* enthalten in Sonstiges Getreide

Tabelle T II.62 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2020	8	<0,26 (<0,11 - 0,60)
	2021	5	<0,17 (<0,12 - <0,22)
Bayern	2020	8	<0,15 (0,07 - 0,31)
	2021	6	<0,22 (<0,08 - 0,50)
Berlin	2020	3	0,36 (0,15 - 0,53)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2021	-	
Brandenburg	2020	3	1,02 (0,19 - 2,42)
	2021	3	0,82 (0,12 - 1,31)
Bremen	2020	5	0,13 (0,09 - 0,19)
	2021	2	0,20 (0,19 - 0,22)
Hamburg	2020		
	2021	3	<0,22 (<0,08 - 0,31)
Hessen	2020	5	<0,16 (<0,09 - 0,25)
	2021	1	0,07
Mecklenburg-Vorpommern	2020	3	<0,76 (<0,16 - 1,36)
	2021	1	0,14
Niedersachsen	2020	18	<0,48 (<0,10 - 5,50)
	2021	12	<0,19 (<0,06 - 0,60)
Nordrhein-Westfalen	2020	26	<0,20 (0,09 - 0,71)
	2021	14	<0,22 (0,13 - 0,60)
Rheinland-Pfalz	2020	4	<0,36 (<0,10 - 0,98)
	2021	1	<0,08
Saarland	2020	4	<0,19 (<0,09 - 0,43)
	2021	3	<0,09 (<0,09 - <0,10)
Sachsen	2020	4	0,18 (0,10 - 0,28)
	2021	2	<0,30 (<0,15 - 0,45)
Sachsen-Anhalt	2019	5	<0,24 (<0,14 - 0,36)
	2020	3	<0,17 (<0,09 - 0,28)
Schleswig-Holstein	2020	2	<0,44 (<0,14 - 0,73)
	2021	2	0,29 (0,26 - 0,32)
Thüringen	2020	5	<0,12 (<0,10 - 0,15)
	2021	4	<0,17 (<0,11 - 0,26)
Bundesrepublik	2020	103	<0,30 (0,07 - 5,50)
(gesamt)	2021	62	<0,22 (<0,06 - 1,31)

Tabelle T II.63 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2020	34	<0,25 (<0,10 - 2,06)
	2021	45	<0,21 (<0,10 - 1,49)
Bayern	2020	78	<0,28 (0,06 - 2,43)
	2021	85	<0,20 (<0,07 - 1,53)
Berlin	2020	12	<0,67 (<0,12 - 2,71)
	2021	6	0,58 (0,15 - 1,18)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Brandenburg	2020	13	<0,95 (<0,07 - 7,90)
	2021	11	<2,07 (<0,07 - 12,90)
Bremen	2020	8	<0,16 (<0,06 - 0,46)
	2021	6	<0,23 (<0,07 - 0,71)
Hamburg	2020	12	<0,54 (0,08 - 4,11)
	2021	6	<0,30 (0,08 - 0,63)
Hessen	2020	13	<0,14 (<0,09 - 0,32)
	2021	12	<0,11 (0,07 - <0,15)
Mecklenburg-Vorpommern	2020	17	<0,74 (<0,10 - 3,53)
	2021	13	<0,29 (<0,06 - 1,26)
Niedersachsen	2020	54	<0,43 (0,08 - 3,80)
	2021	52	<0,35 (<0,06 - 1,98)
Nordrhein-Westfalen	2020	56	<0,15 (0,04 - 0,41)
	2021	55	<0,29 (<0,05 - 3,87)
Rheinland-Pfalz	2020	18	<0,11 (<0,06 - 0,29)
	2021	11	<0,08 (<0,07 - <0,12)
Saarland	2020	8	<0,16 (<0,09 - 0,34)
	2021	6	<0,32 (<0,11 - 0,68)
Sachsen	2020	13	<0,27 (<0,11 - 0,95)
	2021	10	<0,45 (0,09 - 3,24)
Sachsen-Anhalt	2019	14	<0,12 (<0,07 - 0,16)
	2020	12	<0,22 (<0,07 - 0,78)
Schleswig-Holstein	2020	30	<0,25 (<0,09 - 0,88)
	2021	25	<0,44 (<0,10 - 4,12)
Thüringen	2020	13	<0,12 (<0,09 - <0,18)
	2021	12	<0,10 (0,05 - <0,14)
Bundesrepublik	2020	393	<0,31 (0,04 - 7,90)
(gesamt)	2021	367	<0,32 (0,05 - 12,90)

Tabelle T II.64 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2020	20	<0,16 (<0,10 - 0,31)
	2021	30	<0,15 (<0,10 - <0,22)
Bayern	2020	26	<0,12 (0,06 - 0,24)
	2021	39	<0,11 (<0,06 - <0,19)
Berlin	2020	5	<0,14 (0,08 - <0,18)
	2021	-	

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Brandenburg	2020	18	<0,14 (<0,07 - 0,31)
	2021	15	<0,18 (<0,07 - 0,53)
Bremen	2020	10	<0,09 (<0,06 - 0,13)
	2021	8	<0,08 (0,04 - 0,15)
Hamburg	2020	11	<0,13 (<0,08 - <0,19)
	2021	6	<0,14 (<0,12 - <0,15)
Hessen	2020	13	<0,11 (0,07 - <0,17)
	2021	12	<0,11 (<0,09 - <0,16)
Mecklenburg-Vorpommern	2020	7	<0,12 (<0,10 - <0,14)
	2021	7	<0,11 (<0,06 - 0,14)
Niedersachsen	2020	76	<0,14 (<0,08 - <0,24)
	2021	74	<0,15 (0,05 - <0,50)
Nordrhein-Westfalen	2020	99	<0,14 (0,02 - <0,59)
	2021	91	<0,14 (0,07 - <0,24)
Rheinland-Pfalz	2020	16	<0,11 (<0,07 - <0,18)
	2021	10	<0,09 (<0,07 - 0,17)
Saarland	2020	8	<0,10 (0,06 - 0,16)
	2021	6	<0,11 (<0,09 - <0,14)
Sachsen	2020	13	<0,20 (0,08 - 0,98)
	2021	11	<0,13 (0,09 - 0,15)
Sachsen-Anhalt	2020	26	<0,11 (<0,07 - 0,19)
	2021	24	<0,11 (<0,07 - 0,24)
Schleswig-Holstein	2020	20	<0,12 (<0,08 - 0,28)
	2021	12	<0,10 (0,08 - 0,12)
Thüringen	2020	14	<0,12 (<0,09 - <0,23)
	2021	14	<0,13 (<0,10 - <0,20)
Bundesrepublik	2020	382	<0,13 (0,02 - 0,98)
(gesamt)	2021	359	<0,13 (0,04 - 0,53)

Tabelle T II.65 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(Other meat, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kalbfleisch (Import)	2020	33	<0,26 (0,09 - 0,98)
	2021	32	<0,31 (0,10 - 1,82)
Rindfleisch (Import)	2020	50	<0,23 (0,05 - 4,11)
	2021	45	<0,13 (<0,06 - 0,59)
Schweinefleisch (Import)	2020	43	<0,12 (0,07 - <0,20)
	2021	43	<0,12 (<0,07 - <0,21)
Lamm	2020	19	<0,20 (<0,07 - 0,81)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
	2021	25	<0,16 (<0,04 - 0,76)
Geflügel			
Ente	2020	17	<0,13 (<0,06 - <0,20)
	2021	17	<0,13 (<0,08 - <0,20)
Gans	2020	17	<0,15 (<0,07 - 0,21)
	2021	20	<0,14 (<0,04 - 0,30)
Huhn	2020	120	<0,14 (<0,07 - 0,82)
	2021	123	<0,14 (<0,06 - <0,50)
Pute	2020	38	<0,12 (<0,06 - <0,18)
	2021	44	<0,11 (<0,06 - <0,23)

Tabelle T II.66 Wild, Inland und Einfuhr
(Game, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Haarwildfleisch			
Damwild	2020	9	<10,9 (<0,10 - 26,8)
	2021	5	<5,32 (0,45 - 18,2)
Hirsch	2020	10	<6,76 (0,08 - 53,1)
	2021	10	<4,63 (<0,08 - 17,4)
Reh	2020	47	<9,13 (<0,12 - 77,9)
	2021	37	<18,4 (<0,11 - 140,0)
Wildschwein	2020	258	<64,5 (<0,04 - 802)
	2021	183	<27,9 (0,08 - 723)
sonstige	2020	2	0,89 (0,27 - 1,51)
	2021	3	1,80 (0,21 - 4,01)

Tabelle T II.67 Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2020	7	<0,14 (0,05 - <0,18)	1	<0,04
	2021	7	<0,15 (<0,09 - <0,19)	1	0,04
Bayern	2020	40	<0,14 (<0,08 - 0,20)	4	0,06 (0,01 - 0,12)
	2021	41	<0,14 (<0,10 - <0,23)	6	<0,04 (<0,01 - 0,11)
Berlin	2020	8	<0,15 (0,11 - <0,17)	1	0,03
	2021	4	<0,16 (<0,15 - <0,17)	1	0,03
Brandenburg	2020	14	<0,13 (<0,10 - 0,24)	1	<0,02
	2021	11	<0,13 (0,08 - <0,20)	1	0,01
Bremen	2020	4	<0,06 (0,04 - <0,07)		
	2021	2	<0,06 (<0,04 - <0,08)		
Hamburg	2020	4	<0,13 (<0,09 - <0,16)		
	2021	2	<0,09 (0,09 - <0,10)		
Hessen	2020	7	<0,10 (<0,09 - <0,13)	1	0,01
	2021	5	<0,11 (<0,07 - <0,17)	1	0,09
Mecklenburg-	2020	10	<0,09 (<0,05 - <0,13)		
Vorpommern	2021	9	<0,10 (<0,06 - <0,15)	1	<0,02
Niedersachsen	2020	66	<0,16 (0,05 - 0,59)	3	<0,04 (<0,04 - <0,04)
	2021	61	<0,16 (<0,06 - 0,40)	5	<0,04 (<0,02 - <0,04)
Nordrhein-	2020	25	<0,13 (<0,07 - <0,20)	4	<0,03 (<0,02 - 0,05)
Westfalen	2021	20	<0,14 (<0,08 - <0,18)	4	<0,04 (<0,02 - 0,07)
Rheinland-Pfalz	2020	17	<0,09 (0,04 - <0,18)	3	0,02 (0,01 - 0,02)
	2021	7	<0,07 (<0,06 - <0,08)		

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2020	4	<0,10 (<0,09 - <0,12)		
	2021	2	<0,10 (<0,10 - <0,10)		
Sachsen	2020	8	<0,12 (<0,09 - <0,16)	1	0,02
	2021	6	<0,11 (<0,10 - <0,12)	1	0,01
Sachsen-Anhalt	2020	12	<0,14 (<0,08 - <0,17)	2	0,01 (0,01 - 0,01)
	2021	10	<0,13 (<0,09 - 0,18)	2	0,02 (0,01 - 0,03)
Schleswig-Holstein	2020	7	<0,10 (<0,08 - <0,13)	1	<0,02
	2021	5	<0,10 (<0,09 - <0,12)	1	<0,04
Thüringen	2020	5	<0,11 (<0,09 - <0,13)	1	0,02
	2021	3	<0,11 (<0,10 - <0,12)	1	0,01
Bundesrepublik	2020	238	<0,13 (0,04 - 0,59)	23	<0,03 (0,01 - 0,12)
(gesamt)	2021	195	<0,14 (<0,04 - 0,40)	25	<0,03 (0,01 - 0,11)

Tabelle T II.68 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2020	641	<0,14	(<0,02 - 0,74)	60	<0,12 (0,005 - 0,56)
	2021	677	<0,14	(<0,02 - 2,42)	58	<0,10 (0,01 - 0,52)
Fruchtgemüse	2020	225	<0,13	(<0,02 - 0,35)	10	<0,07 (<0,01 - 0,23)
	2021	224	<0,13	(<0,02 - 0,37)	12	<0,02 (<0,01 - 0,05)
Sprossgemüse	2020	230	<0,13	(<0,01 - <0,31)	18	<0,07 (<0,01 - 0,20)
	2021	250	<0,16	(<0,02 - <10,50)	18	<0,04 (<0,01 - 0,10)
Wurzelgemüse	2020	161	<0,14	(<0,02 - 0,40)	8	0,17 (0,02 - 0,73)
	2021	174	<0,13	(<0,02 - <0,27)	9	0,07 (0,03 - 0,13)
Kartoffeln (Import)	2020	40	<0,12	(0,04 - <0,20)	-	
	2021	37	<0,13	(<0,05 - <0,29)	-	

Tabelle T II.69 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2020	7	<0,29 (0,07 - 0,91)
	2021	-	
Wild-Blätterpilze	2020	55	<42,4 (<0,10 - 313)
	2021	45	<73,5 (<0,13 - 475)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2020*	17	37,2 (0,82 - 135)
	2021*	24	33,8 (0,72 - 108)
Wild-Röhrenpilze	2020	147	<63,2 (<0,16 - 948)
	2021	109	<49,9 (<0,16 - 542)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
sonstige Wildpilze	2020	16	<62,2	(<0,18 - 221)
	2021	14	<139	(<0,16 - 402)
Wildpilzmischungen	2020	11	<4,77	(<0,10 - 28,6)
	2021	15	16,9	(2,32 - 56,3)

* überwiegend Pfifferlinge

Tabelle T II.70 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Beerenobst							
Brombeere/Himbeere	2020	8	<0,12	(<0,07 - <0,18)	-		
	2021	11	<0,11	(<0,03 - <0,20)	1	0,05	
Erdbeere	2020	85	<0,12	(<0,01 - <0,26)	5	<0,05	(0,02 - 0,08)
	2021	81	<0,14	(<0,04 - 0,90)	5	<0,03	(0,02 - <0,04)
Johannisbeere	2020	14	<0,11	(<0,06 - <0,16)	2	0,06	(0,05 - 0,06)
	2021	19	<0,11	(<0,04 - <0,20)	1	0,03	
Stachelbeere	2020	5	<0,10	(<0,08 - <0,11)	-		
	2021	2	<0,10	(<0,05 - <0,14)	-		
Tafelweintrauben	2020	19	<0,10	(<0,03 - <0,18)	2	0,02	(0,01 - 0,02)
	2021	15	<0,13	(<0,07 - <0,20)	-		
Wald- und Wildbeeren	2020*	20	<1,52	(<0,09 - 18,3)	2	<0,05	(<0,04 - 0,05)
	2021*	30	<0,24	(<0,05 - 1,39)	2	<0,04	(<0,04 - <0,04)
Kernobst	2020	199	<0,13	(<0,02 - 0,43)	22	<0,04	(0,005 - 0,67)
	2021	191	<0,12	(0,03 - <0,29)	22	<0,02	(0,002 - <0,04)
Rhabarber	2020	11	<0,12	(<0,06 - <0,20)	-		
	2021	15	<0,18	(<0,05 - 0,84)	2	0,16	(0,03 - 0,28)
Steinobst	2020	94	<0,12	(<0,03 - <0,25)	12	<0,03	(0,01 - 0,08)
	2021	100	<0,12	(<0,02 - <0,28)	11	<0,02	(0,01 - 0,03)
Zitrusfrüchte	2020	16	<0,11	(<0,05 - <0,19)	-		
	2021	12	<0,12	(<0,04 - <0,19)	-		
sonstige Obstarten	2020	13	<0,14	(<0,06 - <0,18)	-		
	2021	13	<0,13	(<0,04 - <0,21)	-		

\- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden * überwiegend Heidelbeeren

Tabelle T II.71 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			
		N	Mittelwert (Bereich)		
Honig	2022	46	<12,5	(<0,10 -	271)
	2021	42	<14,76	(<0,10 -	133)
Hülsenfrüchte, Ölsamen, Schalenobst	2022	8	<0,16	(<0,10 -	0,20)
	2021	9	<0,17	(<0,11 -	0,26)
Gemüseprodukte	2022	-			
	2021	3	<0,17	(<0,15 -	<0,19)
Getreideprodukte	2022	1	<0,09		
	2021	2	<0,13	(<0,06 -	<0,21)
Obstprodukte	2022	7	<1,54	(0,06 -	10,2*)
	2021	8	<0,11	(<0,08 -	0,22)

* Maximalwert durch eine Beerenobstmischung, tiefgefroren

Tabelle T II.72 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalbfleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalbfleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14*
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13*
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13*
1998	<0,18	<0,06	<0,03 *	<1,05	<0,25	<1,08	<0,13	<0,16	<0,14 *
1999	<0,20	<0,04	<0,07 *	<1,05	<0,22	<0,96	<0,12	<0,14	<0,12 *
2000	<0,16	<0,05	<0,03 *	<0,85	<0,24	<1,18	<0,14	<0,16	<0,14 *
2001	<0,20	<0,04	<0,04 *	<0,81	<0,25	<0,66	<0,13	<0,15	<0,13 *
2002	<0,19	<0,04	<0,03 *	<0,77	<0,23	<1,51	<0,16	<0,16	<0,13 *
2003	0,21	<0,04	<0,02 *	<0,81	<0,20	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2004	<0,17	<0,04	<0,02 *	<1,06	<0,23	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2005	0,18	<0,06	<0,03 *	<1,26	<0,19	<0,66	<0,14	<0,16	<0,16 *
2006	0,16	<0,04	<0,02 *	<1,13	<0,21	<1,44	<0,15	<0,20	<0,13 *
2007	0,16	<0,05	<0,02 *	<0,65	<0,16	<1,11	<0,13	<0,17	<0,13 *
2008	0,15	<0,02	<0,02 *	<0,64	<0,19	<1,07	<0,14	<0,14	<0,12 *
2009	<0,16	<0,05	<0,02 *	<0,50	<0,22	<0,78	<0,14	<0,16	<0,12 *
2010	<0,16	<0,10	<0,02 *	<0,83	<0,20	<1,03	<0,13	<0,20	<0,13 *
2011	<0,14	<0,13	<0,02 *	<0,58	<0,24	<0,82	<0,13	<0,14	<0,13 *
2012	0,15	<0,14	<0,02 *	<0,42	<0,14	<0,39	<0,12	<0,14	<0,13 *
2013	<0,14	<0,04	<0,04 *	<0,48	<0,16	<0,53	<0,13	<0,14	<0,13 *
2014	<0,12	<0,03	<0,02 *	<0,48	<0,16	<0,46	<0,13	<0,15	<0,13 *
2015	<0,12	<0,03	<0,02 *	<0,56	<0,15	<0,87	<0,13	<0,13	<0,13 *
2016	<0,14	<0,06	<0,10 *	<0,55	<0,14	<0,70	<0,13	<0,16	<0,12 *
2017	<0,16	<0,04	<0,02 *	<0,47	<0,14	<0,35	<0,14	<0,15	<0,12 *
2018	<0,17	<0,08	<0,02 *	<0,37	<0,14	<0,51	<0,12	<0,14	<0,12 *
2019	<0,12	<0,02	<0,02 *	<0,46	<0,14	<0,31	<0,12	<0,13	<0,13 *
2020	<0,10	<0,03	<0,04 *	<0,31	<0,13	<0,30	<0,12	<0,13	<0,13 *
2021	<0,13	<0,03	<0,02	<0,32	<0,13	<0,22	<0,13	<0,14	<0,13 *

* Inland und Einfuhr - Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.73 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2020	61	<0,26 (0,03 - 3,80)	13	<0,05 (0,002 - 0,16)
	2021	55	<0,20 (0,02 - 0,52)	13	<0,04 (0,003 - 0,11)
Februar	2020	54	<0,23 (<0,03 - 1,20)	3	<0,04 (0,04 - 0,05)
	2021	49	<0,19 (<0,04 - 0,48)	2	<0,04 (0,04 - <0,04)
März	2020	52	<0,22 (0,03 - 0,75)	6	<0,06 (0,04 - 0,14)
	2021	61	<0,21 (0,03 - <0,53)	6	<0,04 (0,02 - <0,09)
April	2020	45	<0,82 (<0,04 - 16,00*)	12	<0,05 (0,002 - 0,17)
	2021	55	<0,18 (<0,03 - <0,51)	13	<0,05 (0,003 - 0,20)
Mai	2020	50	<0,19 (<0,03 - <0,43)	3	<0,04 (0,03 - 0,04)
	2021	51	<0,20 (0,02 - <0,55)	3	<0,06 (<0,04 - <0,10)
Juni	2020	56	<0,20 (<0,02 - <0,41)	6	<0,09 (<0,04 - 0,20)
	2021	58	<0,23 (0,03 - 2,00)	5	<0,04 (0,03 - 0,07)
Juli	2020	58	<0,19 (0,03 - 0,57)	14	<0,08 (0,01 - 0,49)
	2021	48	<0,62 (0,04 - 20,30)	15	<0,08 (0,02 - 0,22)
August	2020	56	<0,22 (<0,02 - 1,66)	5	<0,05 (0,04 - <0,06)
	2021	57	<0,20 (0,03 - <0,53)	3	<0,04 (0,04 - 0,05)
September	2020	63	<0,25 (<0,03 - 2,66)	5	<0,03 (0,02 - 0,05)
	2021	53	<0,22 (<0,04 - <0,58)	3	0,03 (0,02 - 0,04)
Oktober	2020	57	<0,18 (<0,04 - <0,55)	13	<0,06 (0,01 - 0,23)
	2021	50	<0,32 (<0,02 - 6,01)	14	<0,05 (0,01 - 0,13)
November	2020	51	<0,17 (0,03 - <0,39)	3	<0,05 (0,04 - 0,06)
	2021	55	<0,22 (0,04 - 0,62)	3	<0,04 (0,03 - <0,04)
Dezember	2020	52	<0,17 (0,03 - <0,38)	3	<0,03 (<0,02 - 0,04)
	2021	46	<0,22 (<0,04 - <0,55)	3	<0,03 (<0,03 - 0,03)
Jahr (gesamt)	2020	655	<0,25 (<0,02 - 16,00)	86	<0,06 (0,002 - 0,49)
	2021	638	<0,25 (0,02 - 20,30)	83	<0,05 (0,003 - 0,22)

* enthielt ukrainische Blaubeeren

Tabelle T II.74 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)			
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)		
Januar	2020	23	<0,11	(<0,02 - 0,40)	10	0,03	(0,01 - 0,06)	
	2021	21	<0,10	(<0,02 - <0,22)	8	<0,02	(0,01 - 0,02)	
Februar	2020	19	<0,13	(<0,05 - 0,61)	2	<0,01	(<0,01 - <0,02)	
	2021	20	<0,10	(<0,03 - <0,23)	5	<0,02	(0,01 - 0,02)	
März	2020	15	<0,12	(0,02 - 0,51)	4	<0,06	(<0,01 - 0,15)	
	2021	21	<0,10	(<0,02 - <0,20)	4	<0,05	(0,02 - <0,07)	
April	2020	13	<0,17	(<0,06 - 0,53)	1	0,09	(0,09 - 0,09)	
	2021	21	<0,13	(<0,02 - 0,74)	2	0,03	(0,03 - 0,04)	
Mai	2020	23	<0,10	(<0,03 - 0,30)	3	<0,02	(<0,02 - <0,03)	
	2021	22	<0,12	(<0,03 - 0,38)	-			
Juni	2020	20	<0,10	(<0,02 - <0,21)	1	0,02	(0,02	
	2021	27	<0,10	(<0,01 - <0,24)	3	<0,02	(0,02 - <0,02)	
Juli	2020	22	<0,08	(<0,02 - <0,15)	7	<0,03	(0,02 - 0,07)	
	2021	23	<0,10	(<0,02 - <0,22)	6	0,03	(0,01 - 0,05)	
August	2020	26	<0,12	(<0,02 - 0,48)	1	0,02	(0,02 - 0,02)	
	2021	21	<0,11	(0,02 - <0,32)	2	<0,02	(<0,02 - <0,02)	
September	2020	18	<0,10	(0,02 - <0,19)	6	<0,06	(0,01 - 0,10)	
	2021	22	<0,13	(0,02 - 0,77)	5	<0,04	(0,02 - 0,07)	
Oktober	2020	22	<0,21	(<0,02 - 1,60)	2	0,03	(0,02 - 0,05)	
	2021	18	<0,10	(0,03 - <0,22)	1	0,03	(0,03 - 0,03)	
November	2020	20	<0,13	(<0,03 - 0,52)	-			
	2021	23	<0,10	(<0,05 - <0,18)	-			
Dezember	2020	19	<0,20	(<0,04 - 1,31)	-			
	2021	12	<0,11	(0,05 - <0,22)	-			
Jahr (gesamt)	2020	240	<0,13	(<0,02 - 1,60)	37	<0,04	(<0,01 - 0,15)	
	2021	251	<0,11	(<0,01 - 0,77)	36	<0,03	(0,01 - 0,07)	

- Messung/Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle T II.75 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		20119		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	26	<0,04	29	<0,04	22	<0,10 (<0,02 - <0,60)
	Sr-90	13	<0,10	10	<0,03	7	0,03 (0,02 - 0,07)
KWO Obrigheim	Cs-137	12	<0,04	11	<0,04	11	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	8	0,09	7	0,08	8	0,07 (0,03 - 0,18)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	10	<0,04	9	<0,03	16	<0,11 (0,01 - <0,78)
	Sr-90	5	0,09	5	0,06	8	0,06 (0,02 – 0,12)
KKP Philippsburg	Cs-137	10	<0,03	12	<0,04	20	<0,32 (<0,02 - <1,76)
	Sr-90	8	<0,28	5	0,03	5	0,03 (0,02 - 0,07)
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	22	<0,05	16	<0,03	15	<0,13 (0,01 - <1,50)
(Schweiz)	Sr-90	10	0,07	11	0,07	6	0,04 (0,02 - 0,05)
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	9	<0,06	13	<0,05	6	<0,56 (0,02 - <3,17)
	Sr-90	4	0,07	6	0,07	4	0,06 (0,01 - 0,12)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	<0,04	1	<0,05	1	0,05
	Sr-90	1	0,04	1	0,05	1	0,06
KKI Isar	Cs-137	1	<0,02	1	<0,03	1	<0,03
	Sr-90	1	0,08	1	0,10	1	0,04
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,12	3	<0,12	3	<0,11 (<0,07 - <0,17)
	Sr-90	3	<0,04	3	<0,04	3	<0,04 (<0,03 - <0,04)
Forschungsreaktor	Cs-137	1	<0,04	1	<0,04	1	<0,04
München	Sr-90	1	0,04	1	0,03	1	0,06
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	7	<0,13	15	<0,44	14	<0,57 (<0,10 - <1,53)
	Sr-90	2	0,03	2	0,02	4	0,04 (0,02- 0,07)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	11	<0,29	12	<0,23	12	<0,21 (<0,09 - 0,42)
	Sr-90	11	0,35	12	<0,11	12	0,24 (0,03 – 1,06)
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	15	<0,04	12	<0,05	8	<0,05 (<0,01 - <0,12)
	Sr-90	10	0,03	12	0,03	8	<0,03 (<0,01 - 0,06)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		20119		2020		2021	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	3	<0,12	7	<0,10	6	<0,11 (<0,08 - <0,13)
	Sr-90	3	<0,02	7	<0,09	6	0,13 (0,01 - 0,35)
KWG Grohnde	Cs-137	5	<0,08	6	<0,10	5	<0,10 (<0,08 - <0,15)
	Sr-90	5	<0,02	6	<0,05	5	0,07 (0,03 - 0,15)
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,13	8	<0,14	8	<0,09 (<0,05 - <0,10)
	Sr-90	4	0,05	8	<0,01	8	0,06 (0,01 - 0,17)
Schacht Konrad II [b]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	4	<0,05	5	<0,13	3	<0,17 (<0,11 - <0,21)
	Sr-90	4	0,08	5	<0,05	3	0,09 (0,04 - 0,13)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,14	3	<0,08	3	<0,06 (<0,03 - <0,11)
	Sr-90	4	0,03	3	0,01	3	0,02 (0,01 - 0,03)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	16	<1,69	21	<1,74	4	<1,90 (<1,50 - 3,10)
	Uran (Bq/kg TM)	16	<0,21	21	<0,33	4	<0,38 (<0,23 - 0,56)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	3	<0,14	3	<0,13	3	<0,15 (<0,14 - <0,16)
	Sr-90	a)		1	0,06	1	0,15
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,13	4	<0,13	5	<0,13 (<0,10 - <0,16)
	Sr-90	1	0,06	1	0,03	1	0,02
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,03	1	0,08	1	<0,09
	Sr-90	1	0,16	1	0,12	1	0,11
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,04	1	<0,05	1	<0,06
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	1	<0,06	2	<0,04	1	0,07
	Sr-90	1	0,10	2	0,05	1	0,11

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

Tabelle T II.76 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,08	2	<0,10	5	<0,48 (<0,03 - <1,76)
	Sr-90	2	0,05	2	0,03	3	0,06 (0,05 - 0,07)
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,04	4	<0,05 (<0,04 - <0,08)
	Sr-90	a)		a)		a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,05	4	<0,05	3	<0,05 (<0,04 - <0,06)
	Sr-90	2	0,08	a)		a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,07	2	<0,05	3	<0,28 (<0,05 - <0,72)
	Sr-90	1	0,07	1	0,06	1	0,05
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	7	<0,04	5	<0,04	5	<0,04 (0,02 - <0,07)
(Schweiz)	Sr-90	a)		2	0,08	2	0,12 (0,05 - 0,19)
KKW Fessenheim	Cs-137	3	<0,05	3	<0,04	3	<0,03 (0,02 - <0,05)
(Frankreich)	Sr-90	2	0,16	2	0,11	2	0,09 (0,07 - 0,12)
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	<0,03	4	<0,02	4	<0,06 (<0,02 - 0,16)
	Sr-90	4	<0,04	4	<0,04	4	<0,05 (<0,01 - 0,10)
KKI Isar	Cs-137	5	<0,10	5	<0,03	5	<0,03 (<0,02 - 0,03)
	Sr-90	5	<0,05	5	<0,07	5	<0,06 (<0,01 - 0,13)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,11	2	<0,10	2	<0,07 (<0,07 - <0,07)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
Forschungsreaktor	Cs-137	1	<0,02	1	<0,02	1	0,03
München	Sr-90	1	0,03	1	0,09	1	0,01
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	5	<0,08	4	<0,08	3	<0,11 (<0,10 - <0,13)
	Sr-90	5	0,06	4	0,06	3	0,10 (0,05 - 0,14)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	7	<0,15	6	<0,14	6	<0,14 (<0,13 - <0,16)
	Sr-90	7	0,08	6	0,05	6	0,06 (0,04 - 0,08)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,11	2	<0,09	2	<0,09 (<0,08 - <0,09)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	2	<0,21	2	<0,02	2	0,45 (0,08 - 0,81)
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II [b]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk	Cs-137	2	<0,06	2	<0,19	1	<0,19
Asse	Sr-90	2	0,22	2	0,06	1	0,02
Nordrhein-Westfalen							
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	6	<1,50	6	<1,50	6	<1,50 (<1,50 - <1,50)
	Uran (Bq/kg TM)	6	<0,23	6	<0,23	6	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom	Cs-137	2	<0,06	2	<0,04	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
Frankreich	Sr-90	2	0,10	1	0,07	1	0,10
Sachsen							
VKTA Rossendorff	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,12	3	<0,12	3	<0,15 (<0,14 - <0,16)
	Sr-90	2	0,08	2	0,05	2	0,05 (0,04 - 0,07)
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,16	1	<0,10	1	<0,13
	Sr-90	1	0,14	1	0,05	1	0,10
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,12	2	<0,11	2	<0,14 (<0,11 - <0,16)
	Sr-90	2	0,05	2	0,09	2	0,09 (0,09 - 0,09)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,10	2	<0,12	2	<0,14 (<0,10 - <0,18)
	Sr-90	2	0,15	2	0,07	2	0,14 (0,06 - 0,21)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

Tabelle T II.77 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	5	<0,04	5	<0,03	4	<0,03 (<0,03 - <0,03)
	Sr-90	3	<0,77	2	0,03	1	0,07
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,04	3	<0,04	3	<0,04 (<0,02 - <0,06)
	Sr-90	2	0,06	1	0,13	1	0,12
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	<0,03	5	<0,11	9	<0,34 (<0,02 - <0,75)
	Sr-90	2	0,07	4	0,03	2	0,03 (0,02 - 0,04)
KKP Philippsburg	Cs-137	3	<0,04	6	<0,05	6	<0,64 (<0,03 - <1,44)
	Sr-90	2	<0,16	2	0,02	1	0,01
KKW Beznau/Leibstadt	Cs-137	4	<0,02	2	<0,02	5	<0,58 (<0,02 - <1,86)
(Schweiz)	Sr-90	1	0,02	2	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,01)
KKW Fessenheim	Cs-137	a)		a)		1	<0,04
(Frankreich)	Sr-90	a)		a)		a)	
Bayern							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,03	2	<0,03	2	<0,02 (<0,02 - <0,02)
	Sr-90	2	<0,01	2	0,01	2	<0,01 (<0,01 - 0,01)
KKI Isar	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,10	2	<0,10	2	<0,09 (<0,06 - <0,13)
	Sr-90	2	<0,03	2	<0,04	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	9	<0,16	19	<0,78	19	<1,06 (0,05 - 6,72)
	Sr-90	2	0,02	3	0,04	2	0,09 (0,03 - 0,15)
Brandenburg							
KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0,17	a)		a)	
	Sr-90	1	0,20	a)		a)	
Hessen							
KWB Biblis	Cs-137	5	<0,05	5	<0,04	4	<0,04 (<0,02 - <0,08)
	Sr-90	5	<0,02	5	<0,01	4	0,01 (0,00 - 0,01)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	3	<0,11	3	<0,10	3	<0,08 (<0,07 - <0,08)
	Sr-90	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,02 (<0,01 - <0,02)
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	a)		a)		1	<0,10
	Sr-90	a)		a)		1	0,04
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II [b)]	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk	Cs-137	2	<0,08	1	<0,06	4	<0,11 (<0,05 - <0,17)
Asse	Sr-90	2	<0,03	1	<0,01	4	0,06 (0,01 - 0,14)
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	1	<0,09	2	<0,11	1	<0,05
	Sr-90	1	0,03	2	0,01	1	0,03
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	2	<1,50	a)		2	<1,06 (<1,50 - 0,62)
	Uran (Bq/kg TM)	2	<0,23	a)		2	<0,23 (<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	a)		a)		a)	
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	5	<0,03	5	<0,02	5	<0,02 (<0,01 - <0,04)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom	Cs-137	3	<0,03	3	<0,03	3	<0,01 (<0,01 - <0,02)
Frankreich	Sr-90	3	<0,01	3	<0,01	3	<0,01 (<0,01 - 0,01)
Sachsen							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,14	1	<0,17	1	<0,15
	Sr-90	1	0,00	1	0,01	a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	Cs-137	5	<0,13	5	<0,12	5	<0,13 (<0,09 - <0,16)
	Sr-90	1	0,00	4	<0,01	1	0,00
Schleswig-Holstein							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,05	2	<0,05	2	<0,04 (<0,03 - <0,05)
	Sr-90	2	0,04	2	0,04	2	0,04 (0,03 - 0,04)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor.
Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.

Tabelle T II.78 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	Cs-137	4	<0,04	3	<0,03	4	<0,03 (<0,02 - <0,04)
	Sr-90	3	<0,01	2	<0,01	4	<0,02 (<0,01 - 0,04)
KWO Obrigheim	Cs-137	2	<0,08	2	<0,05	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
	Sr-90	2	0,02	a)		a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	<0,06	3	<0,22	6	<0,53 (<0,03 - <0,85
	Sr-90	2	0,02	a)		2	0,01 (0,01 - 0,01)
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,04	5	<0,74	4	<0,53 (<0,04 - <1,39)
	Sr-90	1	<0,90	2	<0,01	1	0,01
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	3	<0,04	3	<0,05	4	<0,49 (0,02 - <1,86)
	Sr-90	a)		2	0,01	2	0,01 (0,01 - 0,01)
KKW Fessenheim	Cs-137	2	<0,05	2	<0,03	2	<0,03 (0,02 - <0,04)
(Frankreich)	Sr-90	2	0,01	2	0,02	2	0,01 (0,01 -0,02)
KKW Cattenom		1	<0,05	2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)
(Frankreich)		1	0,01	2	0,01	2	0,01 (0,01 - 0,01)
Bayern							
KGG Gundremmingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Berlin	Cs-137	3	<0,16	3	<0,26	4	<0,60 (<0,20 - <1,88)
Forschungsreaktor	Sr-90	1	0,02	1	0,03	2	0,03 (0,01 -0,05)
BERII							
Brandenburg	Cs-137	a)		a)		a)	
KKR Rheinsberg	Sr-90	a)		a)		a)	
Hessen	Cs-137	6	<0,05	6	<0,08	5	<0,05 (<0,01 - <0,08)
KWB Biblis	Sr-90	6	<0,02	6	<0,02	5	0,02 (0,01 - 0,03)
Mecklenburg-Vorp.							
KGR Greifswald	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Niedersachsen							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	1	<0,16	1	<0,15	2	<0,14 (<0,10 - <0,17)
	Sr-90	1	<0,03	1	<0,03	2	0,05 (0,03 - 0,07)

Bundesland kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess-verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
			2019		2020		2021
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KWG Grohnde	Cs-137	1	<0,11	a)		a)	
	Sr-90	1	<0,12	a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							
FZ Jülich	Cs-137	2	<0,05	2	<0,10	2	<0,10 (<0,10 - <0,10)
	Sr-90	2	0,02	2	<0,01	1	0,00
Rheinland-Pfalz							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle T II.79 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2021
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2021)

Probe	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Islandmoos, geschnitten	Montenegro	110	14
Gänsefingerkraut, geschnitten	Ungarn	680	< NWG*: 0,4

* <NWG - kleiner als die Nachweisgrenze mit Angabe des Zahlenwertes für die Nachweisgrenze

Tabelle T II.80 **Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2020 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes**

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2020 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2005	Polen	930	550
2006	Polen	790	320
2007	Polen	790	220
2009	Polen	860	470
2011	Polen	960	81
2012	Polen	960	69
2013	Polen	940	35
2014	Polen	940	17
2015	Ukraine	360	11
2016	Ukraine	790	71
2018	Polen	700	56
2020	Ukraine	870	2900

Tabelle T II.81 **Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2021 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes**

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000 - 2021 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2000	Ungarn	72	380
2001	Bosnien-Herzegowina	66	87
2002	Polen	86	360
2003	Bosnien-Herzegowina	74	100
2004	Rumänien	87	460
2005	Rumänien	110	200
2006	Bosnien-Herzegowina	63	31
2007	Bosnien-Herzegowina	57	23
2009	Kroatien	66	26
2011	Serbien	58	27
2012	Bosnien-Herzegowina	59	18
2013	Russische Föderation	63	15
2014	Russische Föderation	61	16
2015	Russische Föderation	62	15
2016	Montenegro	61	12
2017	Montenegro	76	12
2018	Rumänien	73	41
2019	Montenegro	71	110
2020	Rumänien	92	72
2021	Montenegro	110	14

Tabelle T II.82 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2021 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes

(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2000 - 2021 and indication of their country of origin)

Probenjahr	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
2000	Polen	510	52
2001	Polen	540	52
2002	Polen	540	58
2003	Polen	660	53
2004	Polen	820	37
2005	Polen	480	27
2011	Polen	790	30
2012	Polen	710	33
2013	Ungarn	710	< NWG*: 0,3
2014	Ungarn	660	< NWG*:0,3
2015	Ungarn	620	0,3
2019	Polen	380	17
2020	Polen	400	130
2021	Ungarn	680	< NWG*:0,4

* <NWG - kleiner als die Nachweisgrenze mit Angabe des Zahlenwertes für die Nachweisgrenze

Tabelle T II.83 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in der ausgewählten Sonderprobe für das Jahr 2021

(Specific activities of Cs-137 and K-40 in a selected special sample for the year 2021)

Probe	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg FM)	Cs-137 (Bq/kg FM)
Heilerde (Löss)	Deutschland	380	< NWG*:0,2

* <NWG - kleiner als die Nachweisgrenze mit Angabe des Zahlenwertes für die Nachweisgrenze

Tabelle T II.84 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2021 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2021 - minimum, maximum, and mean values)

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	12	1,1	2,3		1,6	<1,8
	Co-60	20	20				<0,073	<0,071
	I-131	20	16	0,14	0,94		<0,11	<0,13
	Cs-137	20	20				<0,067	<0,069
	Sr-90	4	4				<0,1	<0,1
	U-234	4	4				<0,1	<0,1
	U-235	4	4				<0,1	<0,1
	U-238	4	4				<0,1	<0,1
Hamburg	K-40	4	3			1,7	<1,3	<1,4
	Co-60	4	4				<0,054	<0,067
	I-131	4	0	0,051	0,37	0,19	0,16	0,14
	Cs-137	4	4				<0,057	<0,065
	Sr-90	4	2	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0054
	U-234	4	0	5,7E-05	0,00023	0,00018	0,00022	9,2E-05
	U-235	4	3			1,8E-05	<2,8E-05	<3,4E-05
	U-238	4	1	6,1E-05	9,1E-05	7,7E-05	8,6E-05	6,3E-05
Niedersachsen	K-40	40	19	0,39	1,4	0,7	0,76	0,75
	Co-60	40	40				<0,033	<0,029
	I-131	40	31	0,041	0,3		<0,068	<0,078
	Cs-137	40	40				<0,03	<0,025
	Sr-90	2	2				<0,047	<0,054
	U-234	4	0	0,001	0,0043	0,0026	0,0025	0,0017
	U-235	4	4				<0,00077	<0,00079
	U-238	4	1	0,0013	0,0031	0,0021	0,0025	0,0014
Bremen	K-40	8	1	0,61	0,92	0,78	0,81	<0,68
	Co-60	8	8				<0,04	<0,024
	I-131	8	4	0,047	0,13	0,074	0,062	0,079
	Cs-137	8	8				<0,044	<0,024
	Sr-90	0	0					0,014
	U-234	2	0	0,00057	0,0023	0,0014	0,0014	0,0012
	U-235	2	2				<0,0025	<0,0024
	U-238	2	0	0,00035	0,0023	0,0013	0,0013	0,00099
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	29	0,61	1,3		<1,3	1,4
	Co-60	40	40				<0,066	<0,079
	I-131	39	28	0,068	0,83		<0,11	<0,12
	Cs-137	40	40				<0,074	<0,077
	Sr-90	4	1	0,0007	0,06	0,027	0,02	<0,044
	U-234	4	1	0,0022	0,013	0,0074	0,0071	0,0076
	U-235	4	3			0,002	<0,0024	<0,0029
	U-238	4	1	0,0018	0,0061	0,0043	0,005	0,0056
Hessen	K-40	20	14	0,38	0,84		<0,71	<0,77
	Co-60	20	20				<0,033	<0,035
	I-131	20	16	0,034	0,11		<0,061	<0,071
	Cs-137	20	20				<0,039	<0,04
	Sr-90	4	0	0,01	0,017	0,013	0,012	<0,011
	U-234	4	0	0,0041	0,024	0,013	0,012	0,02
	U-235	4	2	0,00037	0,00072	0,00055	<0,00059	0,0012
	U-238	4	0	0,0033	0,016	0,0092	0,0088	0,013
Rheinland-Pfalz	K-40	20	1	0,28	2,1	0,93	0,7	0,79
	Co-60	20	20				<0,012	<0,012
	I-131	20	10	0,013	1,1	0,21	<0,024	0,047
	Cs-137	20	20				<0,011	<0,011

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
	Sr-90	3	0	0,0011	0,0017	0,0014	0,0013	0,0015
	U-234	4	0	0,0067	0,018	0,011	0,0098	0,011
	U-235	4	4				<0,0015	<0,0015
	U-238	4	0	0,0073	0,017	0,011	0,0099	0,008
Baden-Württemberg	K-40	40	0	0,2	0,67	0,42	0,43	0,51
	Co-60	40	40				<0,0092	<0,009
	I-131	3	3				<0,45	<110
	Cs-137	40	40				<0,0087	<0,0087
	Sr-90	4	4				<0,004	<0,002
	U-234	4	0	0,0046	0,0096	0,0069	0,0067	0,0049
	U-235	4	3			0,0003	<0,00037	<0,00031
	U-238	4	0	0,0032	0,0073	0,0052	0,0052	0,0039
Bayern	K-40	41	39	0,61	1,0		<1,2	<1,3
	Co-60	41	41				<0,071	<0,074
	I-131	37	34	0,041	0,46		<0,14	0,2
	Cs-137	41	40			0,054	<0,073	<0,077
	Sr-90	3	0	0,0043	0,031	0,013	0,0045	<0,016
	U-234	4	0	0,003	0,0076	0,0052	0,0051	0,0087
	U-235	4	4				<0,0017	<0,0018
	U-238	4	0	0,002	0,0076	0,0047	0,0046	0,0056
Saarland	K-40	8	4	0,39	0,73	0,56	0,67	0,72
	Co-60	8	8				<0,016	<0,0082
	I-131	8	6	0,11	0,13		<0,23	<0,098
	Cs-137	8	8				<0,017	<0,0075
	Sr-90	4	3			0,026	<0,02	<0,019
	U-234	4	4				<0,0056	<0,0059
	U-235	4	4				<0,0036	<0,0034
	U-238	4	4				<0,0036	<0,0038
Berlin	K-40	4	0	0,79	0,98	0,87	0,85	0,94
	Co-60	4	4				<0,0045	<0,0051
	I-131	12	8	0,1	0,19		<0,21	0,12
	Cs-137	4	4				<0,0045	<0,005
	Sr-90	4	0	0,0017	0,0032	0,0025	0,0026	0,0028
	U-234	4	0	0,0014	0,0021	0,0018	0,0018	0,0015
	U-235	4	3			8,7E-05	8,7E-05	<6,1E-05
	U-238	4	0	0,00095	0,0022	0,0016	0,0016	0,0013
Brandenburg	K-40	32	11	0,69	2,3	1,0	1,0	1,0
	Co-60	32	32				<0,017	<0,016
	I-131	51	41	0,063	0,49		<0,18	0,1
	Cs-137	32	32				<0,014	<0,025
	Sr-90	12	1	0,0009	0,0042	0,0019	0,002	0,0019
	U-234	12	5	0,00022	0,00062	0,00035	<0,0003	<0,00029
	U-235	12	12				<0,00026	<0,00012
	U-238	12	6	0,00012	0,00049	0,00025	<0,00028	0,00031
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	19	0	0,52	1,3	0,89	0,95	1,1
	Co-60	19	19				<0,011	<0,014
	I-131	19	16	0,02	0,026		<0,029	<0,092
	Cs-137	19	19				<0,0098	<0,01
	Sr-90	4	3			0,011	<0,0043	<0,0062
	U-234	4	2	0,0067	0,0079	0,0073	<0,01	<0,0049
	U-235	4	4				<0,0051	<0,004
	U-238	4	2	0,0067	0,0069	0,0068	0,0068	<0,0045
Sachsen	K-40	20	14	0,73	5,0		<0,98	<0,97
	Co-60	20	20				<0,083	<0,083
	I-131	20	15	0,067	0,35		<0,13	<0,089
	Cs-137	20	20				<0,076	<0,074
	Sr-90	4	3			0,008	<0,013	<0,015
	U-234	4	1	0,0044	0,0088	0,0068	0,0058	<0,001

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
	U-235	4	4				<0,0016	<0,00089
	U-238	4	1	0,0048	0,01	0,007	0,0055	0,0016
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,21	1,1	0,61	0,61	0,64
	Co-60	20	20				<0,0086	<0,0086
	I-131	20	11	0,0081	0,11		<0,011	0,016
	Cs-137	20	20				<0,0076	<0,008
	Sr-90	4	0	0,0055	0,018	0,0095	0,0072	<0,004
	U-234	4	4				<0,00075	0,013
	U-235	4	4				<0,00041	<0,00062
	U-238	4	4				<0,0007	0,0044
Thüringen	K-40	20	18	0,79	1,4		<1,6	<1,8
	Co-60	20	20				<0,086	<0,088
	I-131	20	16	0,1	0,31		<0,099	<0,1
	Cs-137	20	20				<0,085	<0,088
	Sr-90	4	4				<0,0088	<0,011
	U-234	4	0	0,0063	0,057	0,027	0,022	0,033
	U-235	4	1	0,00074	0,0019	0,0013	0,0016	0,0018
	U-238	4	0	0,0027	0,032	0,015	0,012	0,018
Bundesrepublik Deutschland	K-40	356	166	0,2	5,0	0,8	<0,91	0,96
	Co-60	356	356				<0,034	<0,034
	I-131	341	255	0,0081	1,1		<0,097	<0,1
	Cs-137	356	355			0,054	<0,036	<0,033
	Sr-90	64	27	0,0007	0,06	0,008	<0,006	<0,0078
	U-234	70	21	5,7E-05	0,057	0,0068	0,0043	0,0028
	U-235	70	61	1,8E-05	0,002		<0,00082	<0,00093
	U-238	70	24	6,1E-05	0,032	0,0053	0,0031	<0,0019
Klärschlamm (Bq/kg TM)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	32	180	80	63	64
	Co-60	20	20				<1,1	<1,1
	I-131	20	3	2,3	330	56	15	16
	Cs-137	20	15	1,9	8,3		<1,8	<1,6
	Sr-90	4	2	0,4	0,58	0,49	<5,0	1,2
	U-234	4	0	7,2	11	9,6	10	12
	U-235	4	4				<5	<5,0
	U-238	4	0	6,2	9,5	8,5	9,1	10
Hamburg	K-40	9	0	91	510	260	120	200
	Co-60	9	9				<0,4	<1,2
	I-131	9	0	5,5	40	21	18	15
	Cs-137	9	4	0,37	0,59	0,48	0,59	<1,8
	Sr-90	4	0	0,78	1,0	0,87	0,83	1,6
	U-234	4	0	13	15	14	13	13
	U-235	5	0	0,51	5,0	1,4	0,57	0,56
	U-238	5	0	11	68	23	12	46
Niedersachsen	K-40	40	1	30	760	180	94	99
	Co-60	40	40				<1,6	<1,6
	I-131	40	4	1,1	260	45	18	15
	Cs-137	40	21	0,86	3,2		<1,6	1,6
	Sr-90	4	2	2,8	5,3	4,1	<4,0	<4,4
	U-234	4	0	13	33	24	24	26
	U-235	4	0	0,54	1,2	0,79	0,72	0,85
	U-238	4	0	11	25	19	19	19
Bremen	K-40	8	0	210	420	310	310	300
	Co-60	8	8				<1,9	<0,92
	I-131	8	0	7,3	60	34	39	39
	Cs-137	8	7			1,1	<2,2	<1,4
	Sr-90	0	0					1,5
	U-234	4	0	7,4	12	8,9	8,5	

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
	U-235	4	3			0,45	<0,69	
	U-238	4	0	5,8	10	7,9	7,8	
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	60	560	170	120	130
	Co-60	40	40				<0,37	<0,8
	I-131	38	2	6,1	140	35	28	32
	Cs-137	40	2	0,4	2,9	1,7	1,6	1,7
	Sr-90	4	1	0,13	3,7	1,9	1,8	5,1
	U-234	4	0	26	49	41	44	44
	U-235	4	0	1,2	2,2	1,6	1,5	1,6
	U-238	4	0	24	40	32	33	33
Hessen	K-40	20	0	97	250	140	130	120
	Co-60	20	20				<0,75	<0,7
	I-131	20	1	2,8	180	35	15	9,0
	Cs-137	20	8	0,71	3,6	1,9	<1,5	<1,5
	Sr-90	2	0	0,61	0,93	0,77	0,77	2,8
	U-234	4	0	38	170	100	100	100
	U-235	4	0	1,3	4,7	3,1	3,2	3,1
	U-238	4	0	29	110	71	71	72
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	99	250	170	170	150
	Co-60	20	20				<0,28	<0,19
	I-131	20	4	1,4	55	16	8,8	20
	Cs-137	20	4	0,62	3,8	1,9	1,6	1,3
	Sr-90	3	0	0,56	0,84	0,7	0,7	0,81
	U-234	4	0	47	100	72	71	57
	U-235	4	0	1,2	2,8	2,1	2,1	1,6
	U-238	4	0	36	65	49	48	36
Baden-Württemberg	K-40	40	0	62	350	170	150	140
	Co-60	40	40				<0,42	<0,49
	I-131	40	20	2,2	230	57	<15	37
	Cs-137	40	0	0,84	35	7,7	4,2	3,3
	Sr-90	0	0					<3,9
	U-234	0	0					30
	U-235	0	0					1,2
	U-238	0	0					26
Baden-Württemberg	Co-60	28	28				<0,42	<0,48
(West[3])	Cs-137	28	0	0,84	31	4,4	2,4	2,2
	Sr-90	0	0					<4,1
Baden-Württemberg	Co-60	12	12				<0,43	<0,58
(Ost[4])	Cs-137	12	0	4,1	35	15	16	17
	Sr-90	0	0					0,46
Bayern	K-40	41	0	60	1300	280	180	190
	Co-60	41	41				<1,1	<0,97
	I-131	35	6	3,0	290	47	<27	24
	Cs-137	41	4	1,6	28	5,2	3,3	3,0
	Sr-90	4	0	1,5	7,2	3,5	2,7	4,0
	U-234	4	0	37	240	130	120	99
	U-235	10	7	1,2	9,9		<6,1	3,5
	U-238	4	0	35	220	120	110	95
Bayern	Co-60	21	21				<1,1	<1,1
(Nord[3])	Cs-137	21	4	1,6	8,6	3,4	2,7	2,2
	Sr-90	2	0	3,0	7,2	5,1	5,1	4,5
Bayern	Co-60	20	20				<1,1	<0,87
(Süd[4])	Cs-137	20	0	1,6	28	6,8	5,0	4,9
	Sr-90	2	0	1,5	2,3	1,9	1,9	4,0
Saarland	K-40	7	0	93	260	160	100	110
	Co-60	7	7				<0,38	<0,35
	I-131	7	1	4,2	91	38	22	11

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel-/ Einzel-wert** [1]	**Median** [2]	**Median** [2]
	Cs-137	7	0	0,58	4,1	1,9	0,88	1,3
	Sr-90	4	1	0,91	8,2	4,0	1,8	4,4
	U-234	4	0	51	100	77	79	76
	U-235	4	0	1,4	5,3	3,0	2,7	2,7
	U-238	4	0	36	74	54	53	55
Berlin	K-40	12	0	48	86	64	64	64
	Co-60	12	12				<1,0	<1,0
	I-131	12	0	23	140	65	60	67
	Cs-137	12	7	0,36	1,2		0,95	<0,95
	Sr-90	2	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3
	U-234	2	0	9,7	13	11	11	13
	U-235	2	0	0,46	0,52	0,49	0,49	0,57
	U-238	2	0	8,2	11	9,4	9,4	12
Brandenburg	K-40	48	1	43	180	83	78	81
	Co-60	48	48				<0,3	<0,32
	I-131	48	0	1,8	150	56	51	63
	Cs-137	48	15	0,22	4,5	0,88	0,73	0,73
	Sr-90	10	1	0,56	1,7	1,4	1,4	1,1
	U-234	10	0	4,2	24	12	10	7,4
	U-235	10	6	0,42	0,89		0,87	0,7
	U-238	10	0	3,6	20	10	10	8,6
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	19	0	59	200	110	110	100
	Co-60	19	19				<0,43	<0,42
	I-131	18	3	1,3	130	48	37	37
	Cs-137	19	6	0,43	2,9	1,3	<1,2	0,57
	Sr-90	4	2	2,3	3,5	2,9	<2,5	2,9
	U-234	4	0	14	21	16	15	15
	U-235	4	3			4,2	<1,0	0,92
	U-238	4	0	13	17	15	15	15
Sachsen	K-40	20	0	71	230	130	120	120
	Co-60	20	20				<0,84	<0,8
	I-131	11	1	4,0	62	28	25	
	Cs-137	20	8	0,81	3,5	1,9	<1,5	1,7
	Sr-90	4	0	1,3	2,0	1,6	1,6	1,8
	U-234	4	0	59	130	91	90	66
	U-235	4	4				<2,2	2,4
	U-238	4	0	58	110	83	81	56
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	69	210	130	120	130
	Co-60	20	20				<0,47	<0,45
	I-131	20	1	0,28	120	22	7,4	7,2
	Cs-137	20	3	0,39	3,4	1,3	0,86	0,88
	Sr-90	4	0	0,53	1,9	0,98	0,74	1,5
	U-234	4	0	88	120	100	98	78
	U-235	13	0	1,4	8,8	4,3	3,6	2,8
	U-238	13	0	22	140	76	71	51
Thüringen	K-40	20	0	110	370	200	180	170
	Co-60	20	20				<0,55	<0,54
	I-131	20	5	1,5	130	39	13	22
	Cs-137	20	0	0,52	3,1	1,5	1,4	1,1
	Sr-90	4	0	0,6	0,74	0,67	0,67	0,84
	U-234	4	0	44	170	110	110	97
	U-235	4	0	1,6	5,0	3,3	3,2	2,4
	U-238	4	0	26	92	60	62	56
Bundesrepublik Deutschland	K-40	384	2	30	1300	160	120	120
	Co-60	384	384				<0,64	<0,65
	I-131	366	51	0,28	330	43	22	26
	Cs-137	384	104	0,22	35	2,9	1,6	1,5
	Sr-90	57	9	0,13	8,2	1,7	<1,4	1,5

Land	Nuklid	2021 Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert [1]	Maximalwert [1]	Mittel-/Einzelwert [1]	Median [2]	2020 Median [2]
	U-234	64	0	4,2	240	52	33	38
	U-235	80	27	0,42	9,9	2,7	2,1	1,7
	U-238	74	0	3,6	220	45	33	34
Bundesrepublik	Co-60	352	352				<0,61	<0,6
Deutschland	Cs-137	352	104	0,22	31	2,0	1,5	1,4
(Nord[3])	Sr-90	55	9	0,13	8,2	1,7	<1,3	1,5
Bundesrepublik	Co-60	32	32				<0,86	<0,75
Deutschland	Cs-137	32	0	1,6	35	10	6,1	6,9
(Süd[4])	Sr-90	2	0	1,5	2,3	1,9	1,9	0,55

[1] Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.

[2] Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

[3] Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

[4] Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

Tabelle T II.85 Überwachung von Abfällen
(Monitoring of wastes)

Land	Nuklid	2021 Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimalwert [1]	Maximalwert [1]	Mittel[1]-/Einzelwert	Median [2]	2020 Median [2]
Sickerwasser (Bq/l)								
alle Länder	H-3	63	13	1,2	190	25	14	17
	K-40	65	7	0,26	57	15	9,9	10
	Co-60	65	65				<0,032	<0,033
	I-131	55	55				<0,072	<0,07
	Cs-137	65	43	0,005	0,14		0,04	<0,042
Nord [3]	Cs-137	61	42	0,005	0,12			
Süd [4]	Cs-137	4	1	0,022	0,14			
Flugasche / Filterstaub (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	51	0	330	5200	1300	1100	1100
	Co-60	51	51				<0,37	<0,44
	I-131	51	34	0,2	42		<0,74	<1,0
	Cs-137	51	0	0,33	180	30	16	16
Nord [3]	Cs-137	44	0	0,33	110			
Süd [4]	Cs-137	7	0	33	180			
Schlacke (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	81	0	130	1200	300	280	280
	Co-60	81	81				<0,23	<0,23
	I-131	75	61	5,2	44		<0,36	<0,42
	Cs-137	81	5	0,11	19	2,1	1,4	1,4
Nord [3]	Cs-137	75	5	0,11	5,4			
Süd [4]	Cs-137	6	0	3,9	19			
feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)								
alle Länder	K-40	54	5	1,8	1700	520	260	320
	Co-60	54	54				<0,3	<0,32
	I-131	50	20	0,19	150	17	1,6	3,1
	Cs-137	54	16	0,065	52	12	1,8	2,3

		2021						2020
Land	**Nuklid**	**Anzahl gesamt**	**Anzahl <NWG**	**Minimal-wert** [1]	**Maximal-wert** [1]	**Mittel**[1]**-/ Einzelwert**	**Median** [2]	**Median** [2]
Nord [3]	Cs-137	51	16	0,065	51			
Süd [4]	Cs-137	3	0	22	52			
flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)								
alle Länder	K-40	54	5	1,8	1700	520	260	320
	Co-60	54	54				<0,3	<0,32
	I-131	50	20	0,19	150	17	1,6	3,1
	Cs-137	54	16	0,065	52	12	1,8	2,3
Nord [3]	Cs-137	51	16	0,065	51			
Süd [4]	Cs-137	3	0	22	52			
Kompost (Bq/kg TM)								
Alle Länder	K-40	76	0	160	690	470	480	510
	Co-60	76	76				<0,29	<0,29
	I-131	60	60				<0,42	<0,53
	Cs-137	76	0	1,5	23	5,1	4,1	4,3
Nord [3]	Cs-137	72	0	1,5	8,5			
Süd [4]	Cs-137	4	0	12	23			

1 Minimal- und Maximalwert beziehen sich auf tatsächliche Messwerte. Der aus dieser Datenbasis berechnete arithmetische Mittelwert wird nur angegeben, sofern mindestens 50 % der Ergebnisse tatsächliche Messwerte sind.

2 Der angegebene Median berücksichtigt das Messergebnis „<NWG“ so, als wäre ein tatsächlicher Messwert gleich der NWG erhalten worden.

3 Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel

4 Südlich bzw. östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel

III. Tabellen zur beruflichen Strahlenexposition
(Tables on occupational radiation exposure)

- in diesem Bereich gibt es keine Tabellen -

IV. Tabellen zur medizinischen Strahlenexposition
(Tables on radiation exposure from medical applications)

Tabelle T IV.1 Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen
(Ranges of effective doses for frequently applied x-ray diagnostic procedures)

Untersuchungsart	effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	<0,01
untere Extremitäten (Gliedmaßen)	0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	<0,01 - 0,03
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,01 - 0,1
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,3 - 0,5
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,4
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,3 - 0,8
Beckenübersicht	0,1 - 0,4
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,2 - 0,6
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	2 - 8
Koronarangiographie	3 - 8
PTCA (perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäßerweiterung)	5 - 14
Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein)	0,1 - 0,4
Becken-Bein-Arteriographie	3 - 9
CT-Untersuchungen	
Hirnschädel	1 - 2
Lendenwirbelsäule:	
LWS Bandscheibe	1 - 3
LWS Knochen	5 - 11
Brustkorb (Thorax)	4 - 7
Bauchraum (Abdomen plus Becken)	6-13

Tabelle T IV.2 Anzahl der im Jahr 2016 durchgeführten Strahlentherapien
(Number of radiation therapies performed in 2016)

EBM (ambulant, gesetzlich versichert)	368 000	79 %
GOÄ (ambulant, privat versichert)	53 000	11 %
OPS (Stationär, gesetzlich und privat versichert)	48 000	10 %
Summe	469 000	100 %

Tabelle T IV.3 Anzahl der im Jahr 2016 durchgeführten Strahlentherapien (differenziert)
(Number of radiation therapies performed in 2016) - differentiated

	Absolut	%-Anteil
Indikationsstellung/Diagnose		
Entzündliche Erkrankungen oder benigne Tumoren	**259 000**	55 %
Maligne Erkrankungen	**210 000**	45 %
Gesamt	**469 000**	100 %
Behandlungsanlass		
Palliativ intendierte Behandlung	**106 000**	23 %
Kurativ intendierte Behandlung	**363 000**	77 %
Gesamt	**469 000**	100 %
Therapieverfahren		
Mit Teletherapie erbrachte Strahlentherapien	**461 000**	98 %
Mit Brachytherapie erbrachte Strahlentherapien	**8 000**	2 %
Unbekannt	**<500**	0 %
Gesamt	**469 000**	100 %
Bestrahlungsmodalität		
Röntgenstrahlung	**141 500**	30 %
Megavoltstrahlentherapie (ultraharte Röntgenstrahlung)	**310 000**	66 %
Gammastrahlung	**6 000**	1 %
Elektronen	**2 500**	1 %
Protonen / Schwerionen	**1 500**	0 %
Nicht eindeutig ermittelbar (Kombinationstherapien)	**7 000**	2 %
Unbekannt	**500**	0 %
Gesamt	**469 000**	100 %
Techniken:		
Konventionelle Radiotherapie	**140 000**	30 %
3D-konformale Radiotherapie	**166 000**	35 %
Hochpräzisionstechnik (Intensitätsmodulierte sowie stereotaktische Radiotherapie)	**143 500**	31 %
Interstitielle Brachytherapie	**2 500**	1 %
Übrige Techniken	**16 500**	4 %
Unbekannt	**500**	0 %
Gesamt	**469 000**	**100 %**

Tabelle T IV.4 Anzahl der in 2016 durchgeführten Strahlentherapien nach demographischen Merkmalen
(Number of radiation therapies performed in 2016 by demographic characteristics)

		Geschlecht			Gesamt
	Altersgruppen	**männlich**	**weiblich**	**absolut**	**Anteil**
1	**0 bis 39 Jahre**	6 000	8 500	14 500	3 %
2	**40 bis 49 Jahre**	15 000	32 000	47 000	10 %
3	**50 bis 54 Jahre**	17 500	36 500	54 000	12 %
4	**55 bis 59 Jahre**	22 500	36 500	59 000	12 %
5	**60 bis 64 Jahre**	25 500	35 500	61 000	13 %
6	**65 bis 69 Jahre**	26 500	34 000	60 500	13 %
7	**70 bis 74 Jahre**	25 500	30 500	56 000	12 %
8	**75 bis 79 Jahre**	30 000	36 000	66 000	14 %
9	**über 80 Jahre**	21 500	29 500	51 000	11 %
	Gesamt	190 000	279 000	469 000	
	Anteil Geschlecht	**40 %**	**59 %**		**100 %**

Tabelle T IV.5 Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse im Jahr 2021 mit Abschlussmeldung
(Distribution of significant incidents in 2021 with final report)

Medizinisches Fachgebiet	Anzahl der Vorkommnisse
Röntgendiagnostik (einschließlich Röntgendurchleuchtung)	39
Interventionen (zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken)	3
Therapie mit ionisierender Strahlung und umschlossenen radioaktiven Stoffen	51
Nuklearmedizin (Diagnostik und Therapie)	7

V. Tabellen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung
(Tables on the handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

Tabelle T V.1 Einfuhr radioaktiver Stoffe nach Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Import of radioactive materials to Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	Gesamteinfuhr Radionuklide (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)
2010	578 964	32 783 390	33 362 734	6 204 450
2011	448 512	25 170 470	25 622 149	5 550 891
2012	289 541	48 678 600	48 968 143	4 701 992
2013	429 556	50 145 023	50 574 534	5 361 347
2014	273 682	61 174 877	61 448 525	3 976 324
2015	2 124 094	51 344 557	53 468 651	3 325 377
2016	3 920 877	114 183 613	118 129 212	4 698 422
2017	53 337	138 255 331	138 308 668	4 116 212
2018	1 995 553	76 556 076	78 551 629	4 182 210
Jahr	**Radionuklide ohne HRQ (GBq)**	**umschlossene hochradioaktive Quellen HRQ (GBq)**	**Gesamteinfuhr Radionuklide (GBq)**	**Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)**
2019	284 281	37 425 403	37 709 685	3 528 424
2020	283 996	78 030 569	78 314 565	4 317 212
2021	301 532	59 992 371	60 293 903	2 962 623

Tabelle T V.2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	umschlossene Quellen ab A1/100 (GBq)	Gesamtausfuhr Radionuklide (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)
2010	102 567	5 671 642	5 774 155	4 032 449
2011	115 285	2 053 722	2 168 993	3 338 873
2012	121 877	3 187 561	3 309 422	4 372 018
2013	106 189	4 518 028	4 624 175	1 683 737
2014	121 035	1 779 279	1 900 294	1 861 879
2015	95 633	1 862 494	1 958 127	1 187 779
2016	110 844	2 844 413	2 955 286	885 891
2017	73 987	9 858 401	9 932 388	941 521
2018	2 970 938	2 162 711	5 133 649	835 530
Jahr	**Radionuklide ohne HRQ (GBq)**	**umschlossene hochradioaktive Quellen HRQ (GBq)**	**Gesamtausfuhr Radionuklide (GBq)**	**Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (kg)**
2019	209 123	1 897 066	2 106 189	6 949 267
2020	396 084	1 915 912	2 311 996	6 562 399
2021	2 869 197	5 148 335	8 017 531	791 259

Tabelle T V.3 Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2021
(Import of open and sealed radionuclides (without HRQ) in the year 2021)

a)

Versenderland	Aktivität in GBq								
	H-3	C-14	P-32	P-33	S-35	Fe-55	Co-57	Ni-63	Ge-68+*
Australien			126,0						
Bahrain									
Belarus						203,5			
Brasilien									
Indien									0,9
Israel	43,1								
Japan		0,4						21,2	0,1
Kanada	817,0								5,6
Norwegen	640,0								
Oman									
Russische Föderation	181,0	429,2					38,9		1.049,5
Saudi-Arabien									
Schweiz	13.417,4	0,0					0,5		0,7
Singapur									0,6
Südafrika									34,0
Türkei									13,1
Usbekistan			2.331,0	444,0	407,0				
Vereinigte Staaten	4.973,5	137,2	0,0		0,6	0,2	111,7	1.008,8	238,2
Vereinigtes Königreich	0,0	98,3					0,0	5,5	
Volksrepublik China								34,4	
sonstige Länder								0,4	2,5
Summe	**20 072,0**	**665,1**	**2.457,0**	**444,0**	**407,6**	**203,7**	**151,0**	**1.070,2**	**1.345,2**

* „+“ kennzeichnet Mutternuklide, für die die in Tabelle 2 1 Anhang 4 StrlSchV gelisteten Tochternuklide vollständig durch das Mutternuklid abgedeckt sind

b)

Versenderland	Aktivität in GBq								
	Se-75	Kr-85	Mo-99+	I-125	I-131	Cs-137+	Pm-147	Ho-166	Lu-177
Australien									
Bahrain	109,5					0,4			
Belarus									
Brasilien	148,0								
Indien	3 574,1	66,3				208,8	78,3		
Israel	124,4								
Japan		95,5				1,3			
Kanada		0,0		10 878,0				3 122,6	52,0
Norwegen		3,0							3,6
Oman		118,8				1,3			
Russische Föderation		6 075,4		222,0					777,0
Saudi-Arabien	148,1	0,0							
Schweiz				8,4		0,0			
Singapur		92,5				39,6			
Südafrika	1 668,0	0,0			57 850,0				112 709,0
Türkei			16 150,0		15,2				21,1
Usbekistan		0,0		8 321,3					1 776,0
Vereinigte Staaten	1 384,2	37 180,5		0,5		14,7	337,0		6 536,3
Vereinigtes Königreich	1 275,1	0,0		1,2		0,0			
Volksrepublik China		111,0							74,0
sonstige Länder		46,3		0,0		72,6	93,5		
Summe	**8 431,4**	**43 789,2**	**16 150,0**	**19 431,4**	**57 865,2**	**338,7**	**508,8**	**3 122,6**	**121 949,0**

c)

Versenderland	Aktivität in GBq						Summe
	W-188+	Ir-192	Ac-225+	Am-241	sonstige Radionuklide	sonstige radioaktive Gemische	
Australien					1,0		127,0
Bahrain							109,9
Belarus							203,5
Brasilien							148,0
Indien				21,8	15,1		3 965,4
Israel							167,5
Japan				22,2	16,8		157,4
Kanada		43,0	1,7	0,0			14 919,8
Norwegen				0,0	36,5		683,1
Oman					0,4		120,5
Russische Föderation			454,7	37,0	47,4		9 312,0
Saudi-Arabien		0,1			0,9		149,1
Schweiz				0,0	20,4	604,7	14 052,2
Singapur				3,7	0,4		136,8
Südafrika	33,0				0,5		172 294,5
Türkei			0,1				16 199,4
Usbekistan					0,0		13 279,3
Vereinigte Staaten	1 133,0		10,3	21,0	149,8	73,5	53 310,8
Vereinigtes Königreich		109,5		0,0	0,1		1 489,6
Volksrepublik China		245,0		0,0			464,4
sonstige Länder		0,0		6,7	19,7		241,7
Summe	**1 166,0**	**397,5**	**466,7**	**112,4**	**308,9**	**678,2**	**301 531,8**

Tabelle T V.4 **Einfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2021**
(Import of sealed sources HRQ in the year 2021)

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137+	Ir-192	Summe
Ägypten				119,1	**119,1**
Algerien		533,3			**533,3**
Belarus	3 940,8				**3 940,8**
Indien		827,0			**827,0**
Japan	36,8				**36,8**
Kanada	44 665 100,0				**44 665 100,0**
Republik Korea	30,5				**30,5**
Russische Föderation	11 478 973,9	2 393 594,0		219 859,0	**14 092 426,9**
Schweiz		2 266,5		1 699,4	**3 965,9**
Serbien		350,0			**350,0**
Südafrika		4 097,0			**4 097,0**
Thailand	282 972,0		34 000,0		**316 972,0**
Vereinigte Staaten	889,0		4 024,0		**4 913,0**
Vereinigtes Königreich	540 000,0	1 053,0	69 600,0	2 247,9	**612 900,9**
Volksrepublik China		505,5	252 720,0	32 932,3	**286 157,8**
Summe	**56 971 943,0**	**2.403 226,3**	**360 344,0**	**256 857,8**	**59 992 371,2**

Tabelle T V.5 **Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2021**
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2021)

Versenderland	Einfuhr in kg				
	Transport- und Abschirmbehälter (abger. Uran)	sonstiges abger. Uran	Natururan	anger. Uran Anreicherungsgrad ≤ 10 %	Summe
Frankreich				35 182,3	**35 182,3**
Kanada	18,6		2 296 966,0		**2 296 984,6**
Niederlande				46 797,0	**46 797,0**
Russische Föderation	1 080,2			45 057,3	**46 137,5**
Schweden				36 909,4	**36 909,4**
USA		7,8	493 494,0	56,1	**493 557,9**
sonstige Länder	7 054,0				**7 054,0**
Summe in kg	**8 152,7**	**7,8**	**2 790 460,0**	**164 002,1**	**2 962 622,6**

Tabelle T V.6 **Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2021**
(Export of sealed and unsealed radionuclides (without HRQ) in the year 2021)

a)

Empfängerland	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Ge-68+	Se-75	Kr-85	Sr-90+	Y-90
Argentinien						1,9		146,2		
Australien						1,9	0,0		0,3	2,0
Bangladesch				0,0				0,0		
Brasilien		0,0		9,7	1,1	38,6		149,9	0,4	
Chile				0,2		3,0				
Dominik. Republik										
Hongkong						5,7			0,1	
Indien				115,2	25,5	52,9	2,7	479,2	3,7	
Israel				4,9	1,7	13,3		37,0		144,0
Japan		1,0		0,5	492,8	3,0		3 820,3	1,5	35,9
Kanada	46,6				8,4	4,5	0,1	7,4	1,9	10,4
Kasachstan						1,5				
Kenia										
Kolumbien								5,2	1,0	
Kuwait						1,9				
Malaysia				16,7		7,1		46,3	0,0	
Mauretanien										
Mexiko				43,3		1,8		3,0	0,1	
Neuseeland							0,0			
Norwegen				38,9	0,9	2,1	0,1	17,8	0,0	18,0
Oman					0,6	1,5		0,0	3,8	
Pakistan				1,0		7,6				3,0
Panama										
Peru				111,0	0,6				0,0	
Philippinen						1,9		37,0	0,1	

Empfänger-land	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Ge-68+	Se-75	Kr-85	Sr-90+	Y-90
Republik Korea				233,2		3,6		102,4	3,0	
Russische Föderation				3,0	7,6		20 946,0	125,1		
Saudi-Arabien				4,6		11,4		103,6		18,0
Schweiz	3 773,5	1,3	9 080,7	0,0	2,8	13,6	0,0	9,9	3,8	333,0
Serbien					4,3					
Singapur						4,4		92,5		16 372,0
Sri Lanka								0,0		
Südafrika					0,6	9,5		12,6		
Taiwan				86,1		5,8		280,5	0,0	
Thailand				7,8		3,4		72,2	1,1	
Türkei				3,9		41,9		270,5	1,5	142,0
Ukraine				0,1	1,1			18,5		
Uruguay						2,2				
Vereinigte Arabische Emirate						3,7		19,2		3,0
USA	224,9	108,4		351,3	0,6	265,4	0,0	5 541,4	109,8	59 975,8
Vereinigtes Königreich	0,2	422,7	11,4	8,0	431,6	38,1	5,1	87,7	1,6	283,5
Vietnam								92,5		
Volksrepublik China				181,1	4,4	53,9		19 761,2	40,4	577,1
sonstige Länder	0,0	0,0		45,2	11,5	15,1	0,0	55,3	0,1	39,0
Summe	**4 045,1**	**533,4**	**9 092,1**	**1 265,5**	**995,9**	**622,2**	**20 954,1**	**31 394,1**	**174,1**	**77 956,7**

b)

Empfänger-land	Aktivität in GBq									
	I-125	I-131	Cs-137+	Pm-147	Tb-161	Lu-177	Ac-225	Am-241	sonstige Radionukide	Summe
Argentinien			9,6			438,0				**595,7**
Australien	0,2		175,3			15 942,1	1,1		1,7	**16 124,6**
Bangladesch			186,1					6,7		**192,9**
Brasilien			50,4			5 369,3		18,4	2,4	**5 640,1**
Chile	4,6		98,2			1 767,2				**1 873,3**
Dominik. Republik			174,5							**174,5**
Hongkong	0,7	2 679,8	74,0			2 112,2			7,6	**4 880,2**
Indien			383,2	3,7		7 197,0	2,7	20,2	0,0	**8 286,0**
Israel	119,4	2 385,6	7,4			1 619,7		1,7	0,4	**4 335,0**
Japan	0,6			116,6		30,8		0,0	0,2	**4 503,1**
Kanada	0,0	27,0	6,0			6 149,9	61,6	0,0	3,7	**6 327,5**
Kasachstan			415,7							**417,2**
Kenia	37,6	306,0							0,0	**343,6**
Kolumbien		16,2				1 281,4	0,1			**1 303,9**

Empfänger-land	Aktivität in GBq									
	I-125	I-131	Cs-137+	Pm-147	Tb-161	Lu-177	Ac-225	Am-241	sons-tige Radio-nukide	Summe
Kuwait	4,8	748,6				379,0		0,0		**1 134,3**
Malaysia		5 254,4	4,4			104,0		0,0		**5 432,9**
Mauretanien		133,2								**133,2**
Mexiko			77,7			2 205,0				**2 330,9**
Neuseeland	0,0	782,2	15,1						1,5	**798,8**
Norwegen	24,3	1 796,6	501,7			1 582,5	0,1	0,0	122,6	**4 105,5**
Oman		732,8								**738,6**
Pakistan		4,9				799,0	0,0			**815,6**
Panama		1 189,1								**1 189,1**
Peru			118,7			180,0		0,0	0,0	**410,3**
Philippinen			0,6			736,0				**775,6**
Republik Korea	7,0	7 014,6	204,3			1 271,2	0,4	3,3	7,5	**8 850,5**
Russische Föderation	1 897,0							0,0	3,4	**22 982,0**
Saudi-Arabien		45,1	61,4			236,0		0,0	3,7	**483,9**
Schweiz	217,1	3,1	0,7		290,0	11 344,7	0,0	0,0	75,7	**25 149,9**
Serbien			14,8			1 118,9			0,2	**1 138,2**
Singapur	0,0	873,9				3 636,0	0,1			**20 978,9**
Sri Lanka		2 567,8						0,0		**2 567,8**
Südafrika	625,6	1,4	11,8			1 255,9	4,4	11,7	0,0	**1 933,5**
Taiwan			177,6			1,9			0,0	**551,9**
Thailand			0,4			1 310,9	0,2	0,0	0,0	**1 396,0**
Türkei	58,5		71,8			410,8			1,6	**1 002,4**
Ukraine			6,7					990,0		**1 016,3**
Uruguay						153,4				**155,6**
Vereinigte Arabische Emirate						240,8		0,0	0,0	**266,7**
USA	0,4	25,0	254,1	194,3		9 070,8	26,2	1,5	16,3	**76 166,0**
Vereinigtes Königreich	88,2	2 594 164,3	169,5			3 002,2	0,1	70,5	15,7	**2 598 800,4**
Vietnam			126,8							**219,3**
Volksrepub-lik China	0,0	15,5	2 758,2			8 611,3	22,5	0,0	12,4	**32 038,0**
sonstige Länder	15,7	117,4	220,4			108,0		8,9	0,3	**636,9**
Summe	**3 102,1**	**2 620 884,4**	**6 377,2**	**314,5**	**290,0**	**89 666,0**	**119,5**	**1 132,8**	**276,9**	**2 869 196,6**

Tabelle T V.7 **Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2021**
(Export of sealed radiation sources HRQ in the year 2021)

Empfängerland	Aktivität in GBq					
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Am-241	Summe
Ägypten	79,1			1 850,0		1 929,1
Algerien		5 301,0		7 060,0		12 361,0
Angola		2 478,0				2 478,0
Argentinien	78,4	6 570,0				6 648,4
Australien			3 330,0			3 330,0
Bangladesch	159,4					159,4
Brasilien		2 860,0				2 860,0
Dominikanische Republik	713,0					713,0
Indien	147,8	121 564,0				121 711,8
Islamische Rep. Iran	157,1					157,1
Israel		5 266,0				5 266,0
Japan	245,8		1 850,0			2 095,8
Kanada				1 998,0		1 998,0
Kasachstan	82,4		185,0			267,4
Malaysia	157,1					157,1
Mongolei			111,0			111,0
Pakistan					222,0	222,0
Philippinen	236,3					236,3
Republik Korea	150,3	2 848,0			222,0	3 220,3
Russische Föderation	1 146,0	11 806,0	79 270,0			92 222,0
Saudi-Arabien		15 694,0				15 694,0
Schweiz		6 486,4		9 450,2		15 936,6
Serbien		8 774,0	98 250,0			107 024,0
Südafrika	154,0	115 242,0				115 396,0
Thailand	276,6					276,6
Vereinigte Arabische Emirate			71 960,0			71 960,0
Vereinigtes Königreich	3 582 000,0	12 458,0				3 594 458,0
Vietnam			111,0			111,0
Volksrepublik China		38 070,0	207 670,0	722 865,0		968 605,0
sonstige Länder	730,1					730,1
Summe	**3 586 513,2**	**355 417,4**	**462 737,0**	**743 223,2**	**444,0**	**5 148 334,8**

Tabelle T V.8 **Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2021**
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2021)

Empfängerland	Ausfuhr in kg						
	Transport- und Abschirmbehälter (abger. Uran)	sonstiges abger. Uran	Natururan	anger. Uran Anreicherungsgrad ≤ 10 %	anger. Uran Anreicherungsgrad ≤ 20 %	Plutonium	Summe
Belgien				27 943,8			27 943,8
Brasilien	50,0			1 072,7			1 122,7
Finnland				42 670,4			42 670,4
Frankreich				111 956,2			111 956,2
Kanada	18,6		353,9				372,5
Kasachstan				2 683,1			2 683,1
Niederlande				10 259,1			10 259,1
Republik Korea				17 993,4			17 993,4
Russische Föderation	1 176,4			38,4			1 214,8
Schweden				86 221,5			86 221,5
Schweiz	44,4			26 019,7	0,0		26 064,2
Spanien				36 001,5			36 001,5
USA		145,7	53,4	356 313,7		0,0	356 512,8
Vereinigtes Königreich	10,1	10,9		39 106,4			39 127,4
Volksrepublik China	1 973,7			26 630,6			28 604,2
sonstige Länder	2 511,3						2 511,3
Summe	**5 784,4**	**156,6**	**407,3**	**784 910,4**	**0,0**	**0,0**	**791 258,8**

Tabelle T V.9 **Gesamtzahlen der Anmeldungen und Genehmigungen im Jahr 2021**
(Total number of applications and permits in the year 2021)

	registriert	erteilt	genutzt
Anmeldungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 13 StrlSchV			
Einfuhr	3 703		
Ausfuhr	15 487		
Genehmigungen für unbestrahlte Kernbrennstoffe gemäß § 3 AtG			
Einfuhr		18	14
Ausfuhr		51	37
Genehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 12 StrlSchV			
Einfuhr		41	36
Ausfuhr		76	74
Genehmigungen für Konsumgüter gemäß § 42 StrlSchG			
Ein und Ausfuhr		7	

Tabelle T V.10 Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of reported shipments of nuclear fuels – for various modes and types of transport)

Anzahl der Inlandtransporte	2021	2020
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	0
Straße / unbestrahltes Material	15	22
Straße / bestrahltes Material	0	2
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
Binnenwasserstraße / unbestrahltes Material	0	0
Binnenwasserstraße / bestrahltes Material	0	0
Binnenwasserstraße / Reststoffe und Abfall	0	0
insgesamt	15	24
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte		
Luft / unbestrahltes Material	0	0
Luft / bestrahltes Material	0	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0	0
See / unbestrahltes Material	17	15
See / bestrahltes Material	0	0
See / Reststoffe und Abfall	0	1
Schiene / unbestrahltes Material	0	0
Schiene / bestrahltes Material	0	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0	1
Straße / unbestrahltes Material	288	238
Straße / bestrahltes Material	79	83
Straße / Reststoffe und Abfall	0	0
insgesamt	384	338

Tabelle T V.11 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen / Transporte mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads / transports containing radioactive materials)

Jahr	Anzahl Wagenladungen	Anzahl der Transporte
1999	204 [a]	
2000	258 [a]	
2001	336	
2002	433	
2003	552	
2004	509	
2005	610	
2006	536	
2007	528	
2008	481	
2009	405	116
2010	416	102
2011	434	129
2012	451	134
2013	352	132
2014	294	102
2015	329	5
2016	327	101
2017	279	80
2018	217	86
2019	255	56
2020	161	27
2021	60	25

a geringe Anzahl überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle T V.12 Anzahl der Beförderungen radioaktiver Stoffe (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports of radioaktive materials (railway) in respect of their legal basis)

Rechtliche Grundlage	Genehmigungsbehörde	Anzahl Transporte		Anzahl Wagenladungen	
		2021	2020	2021	2020
AtG § 4	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
AtG § 23 Abs. 2	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	-	-	-	-
StrlSchG § 27	Eisenbahn-Bundesamt (EBA)	25	27	60	161

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads)

Art der beförderten Stoffe	UN-Nummer*	Anzahl der Wagen	
		2021	2020
Kernbrennstoffe			
verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen, High Aktive Waste (HAW)	3328	-	6
unbestrahltes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U_3O_8	3331	-	-
sonstige radioaktive Stoffe			
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF_6)	2978	-	120
Natururan in Form von Uranoxid (U_3O_8)	2912	16	4
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen			
- in Typ (BU)-Behältern	2916	-	5
- SCO in Industrieversandstücken	2913	2	-
- Industrieverpackungen	3321	42	26
- in Typ A-Versandstücken	2915	-	-
freigestellte Versandstücke			
- als leere Verpackung	2908	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	2910	-	-
Summe		**60**	**161**

* Nummer zur Stoffkennzeichnung nach Gefahrgutrecht

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported)

Art der beförderten Stoffe	beförderte Gesamtaktivität	
	2021 (TBq)	2020 (TBq)
Kernbrennstoffe		
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen, High Aktive Waste (HAW)	-	1 960,96
unbestrahltes, angereichertes Uran (< 1 % U-235) als U_3O_8	-	-
sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung bzw. abgereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF_6)	-	59,66
Natururan in Form von Uranoxid (U_3O_8)	14,4	5,16
Rückstände/Abfälle aus kerntechnischen Anlagen		
- in Typ (BU)-Behältern	-	1 350
- SCO in Industrieversandstücken	-	-
- Industrieverpackungen	9,6	7,15
- in Typ A-Versandstücken	-	-
freigestellte Versandstücke		
- als leere Verpackung	-	-
- als begrenzte Stoffmenge	-	-
Summe	**24,0**	**3 382,93**

Tabelle T V.15 Anteil der überprüften Beförderungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel
(Contingent of reviewed transports based on types of transport and detected defects)

Transportart	Wagen		überprüfte Wagen		Beanstandungen	
	2021	2020	2021	2020	2021	2020
sonstige radioaktive Stoffe	60	161	28	61	3	2
Kernbrennstoffe	-	-	-	-	-	-

Tabelle T V.16 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2021)
(Survey of the number of licences according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2021)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	475	370	724	61
Bayern	221	140	517	97
Berlin	174	224	237	3
Brandenburg	36	56	128	51
Bremen	21	13	37	9
Hamburg	39	35	79	29
Hessen	182	103	342	30
Mecklenburg-Vorpommern	26	47	77	7
Niedersachsen	209	219	510	85
Nordrhein-Westfalen	550	327	921	87
Rheinland-Pfalz	80	122	200	26
Saarland	34	21	38	7
Sachsen	43	105	240	10
Sachsen-Anhalt	49	25	188	18
Schleswig-Holstein	71	72	105	41
Thüringen	63	23	128	105
Summe	**2 273**	**1 902**	**4 471**	**666**

* Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 12, Absatz1 Nummer 3 StrlSchG sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.17 **Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2021)**
(Survey of the number of licences according to § 12 paragraph 1, point 3 StrlSchG relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2021)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	Forschung und Lehre ohne Anwendung am Menschen	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung
Baden-Württemberg	219	148	549	39
Bayern	61	45	481	15
Berlin	9	15	24	12
Brandenburg	9	31	105	13
Bremen	9	7	33	4
Hamburg	12	13	55	4
Hessen	47	29	203	7
Mecklenburg-Vorp.	10	28	63	2
Niedersachsen	44	74	397	18
Nordrhein-Westf.	242	209	745	85
Rheinland-Pfalz	19	59	127	17
Saarland	9	6	33	1
Sachsen	16	60	222	8
Sachsen-Anhalt	11	9	177	13
Schleswig-Holstein	13	10	76	7
Thüringen	12	5	117	10
Summe	**742**	**748**	**3 407**	**255**

* Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 12, Absatz1 Nummer 3 StrlSchG sind nicht berücksichtigt

Tabelle T V.18 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG (Stand: 31.12.2021)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG - as at December 31, 2021)

Land	Zahl der Genehmigungen nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG			
	Anwendung am Menschen	ohne Anwendung am Menschen (Forschung und Lehre)	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	100	6	16	1
Bayern	111	14	33	0
Berlin	44	16	1	0
Brandenburg	13	1	1	0
Bremen	6	0	0	0
Hamburg	25	4	2	5
Hessen	37	4	4	0
Mecklenburg-Vorp.	11	2	0	0
Niedersachsen	59	14	10	2
Nordrhein-Westfalen	221	25	20	0
Rheinland-Pfalz	34	6	1	0
Saarland	11	0	1	0
Sachsen	29	18	7	0
Sachsen-Anhalt	16	1	6	0
Schleswig-Holstein	21	1	1	0
Thüringen	36	3	5	0
Summe	**774**	**115**	**108**	**8**

* einschließlich in Verbindung mit nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG erteilten Genehmigungen

Tabelle T V.19 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences)

Land	Am 31.12.2021 gültige Genehmigungen nach:					
	§ 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG (Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)*	§ 25 StrlSchG (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 27 StrlSchG (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 40 StrlSchG (ausschließlich Genehmigungen für den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Baden-Württemberg	1 630	123 (5)	332	26	2	6
Bayern	975	158 (9)	301	58	10	6
Berlin	638	61 (5)	219	45	1	2
Brandenburg	271	15 (1)	74	16	0	0
Bremen	80	6 (0)	44	4	0	0
Hamburg	182	36 (4)	116	4	0	0
Hessen	657	45 (4)	139	15	0	0
Mecklenburg-Vorp.	157	13 (2)	62	4	0	0
Niedersachsen	1 023	85 (0)	209	40	0	2
Nordrhein-Westf.	1 885	266 (9)	614	91	2	9
Rheinland-Pfalz	428	41 (2)	155	28	0	0
Saarland	100	12 (0)	12	14	0	0
Sachsen	398	54 (9)	136	25	0	2
Sachsen-Anhalt	280	23 (0)	37	10	0	1
Schleswig-Holstein	289	23 (0)	110	8	1	1
Thüringen	319	44 (2)	42	7	0	0
Summe	**9 312**	**1 005 (52)**	**2 602**	**395**	**16**	**29**

* Errichtungsgenehmigungen nach § 10 StrlSchG in Klammern

Tabelle T V.20 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2021 erstatteten Anzeigen
(Survey of the number of notifications in the year 2021)

Land	Zahl der erstatteten Anzeigen	
	Anlagen	BAZ
	§ 17 StrlSchG (anzeigebedürftiger Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen)	§ 208 Absatz 3 StrlSchG (Verwendung und Lagerung bestimmter BAZ-Vorrichtungen nach StrlSchV 1989)
Baden-Württemberg	42	530
Bayern	19	590
Berlin	2	500
Brandenburg	0	136
Bremen	1	0
Hamburg	1	168
Hessen	6	k. A.
Mecklenburg-Vorp.	0	0
Niedersachsen	1	1 586
Nordrhein-Westfalen	9	2 634
Rheinland-Pfalz	0	535
Saarland	0	95
Sachsen	11	71
Sachsen-Anhalt	0	13
Schleswig-Holstein	0	168
Thüringen	1	0
Summe	**93**	**7 026**

k.A. keine Angaben

Tabelle T V.21 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 89 StrlSchV im Jahr 2021

(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2021)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Anzahl HRQ	Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate	Anzahl undichter HRQ
Baden-Württemberg	1 857	434	0	0
Bayern	2 392	99	0	0
Berlin	231	76	0	0
Brandenburg	411	6	0	0
Bremen	76	16	0	0
Hamburg	415	207	1	0
Hessen	380	18	0	0
Mecklenburg-Vorp.	238	6	0	0
Niedersachsen	1 848	230	3 (Kr-85, Cs-137, Ra-226)	0
Nordrhein-Westfalen	3 109	459	1	0
Rheinland-Pfalz	217	20	0	0
Saarland	79	1	0	0
Sachsen	1 077	300	2 x Co-60	2
Sachsen-Anhalt	193	14	0	0
Schleswig-Holstein	294	40	0	0
Thüringen	71	9	1 x Cs-137	0
Summe	**12 888**	**1 935**	**8**	**2**

Tabelle T V.22 **Im Jahr 2021 erstattete Anmeldungen nach § 145 Absatz 2 StrlSchG und nach § 159 Absatz 2 StrlSchG**
Notifications submitted under § 145 (2) and § 159 (2) StrlSchG - year 2021

Land	Am 31.12.2021 erstattete Anmeldungen nach:	
	§ 145 Absatz 2 StrlSchG (Altlastensanierung)	**§ 159 Absatz 2 StrlSchG (sonstige bestehende Expositionssituation)**
Baden-Württemberg	0	0
Bayern	0	0
Berlin	0	0
Brandenburg	0	0
Bremen	0	0
Hamburg	0	0
Hessen	0	0
Mecklenburg-Vorp.	0	0
Niedersachsen	0	0
Nordrhein-Westfalen	0	0
Rheinland-Pfalz	0	0
Saarland	0	0
Sachsen	1	0
Sachsen-Anhalt	0	0
Schleswig-Holstein	0	0
Thüringen	0	0
Summe	**1**	**0**

k.A. keine Angabe

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2021

(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2021)

Land			Teleradiologie			
	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nr. 2 StrlSchG genehmigten RöE für die Behandlung von Menschen	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Anzahl genehmigter RöE für die Teleradiologie nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nummer 3 StrlSchG	Teleradiologie mit Ausdehnung auf reguläre Dienstzeit *	Anzahl der RöE im Rahmen der Früherkennung gemäß § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG i.V. m. § 19 Absatz 2 Nummer 4 StrlSchG	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG angezeigten RöE
Baden-Württemberg	44	328	92	54	75	3 982
Bayern	19	407	146	50	79	5 506
Berlin	13	155	22	3	18	2 167
Brandenburg	6	120	80	60	16	818
Bremen	1	16	1	1	10	332
Hamburg	1	41	22	0	5	1 035
Hessen	20	79	52	23	12	2 376
Mecklenburg-Vorpommern	5	53	30	13	22	683
Niedersachsen	15	227	74	19	66	3 024
Nordrhein-Westfalen	80	897	209	16	158	7 694
Rheinland-Pfalz	13	147	62	14	21	1 761
Saarland	0	21	15	4	6	555
Sachsen	10	113	74	20	39	1 689
Sachsen-Anhalt	8	70	48	15	15	1 057
Schleswig-Holstein	3	80	21	5	13	1 109
Thüringen	13	63	37	4	16	1 277
Summe	**251**	**2 817**	**985**	**301**	**571**	**35 065**

* Erteilung auf Grund eines besonderen Bedürfnisses nach § 14 Absatz 2 Satz 3 StrlSchG über Nacht-, Wochenend- und Feiertagsdienst hinaus

Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2021
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2021)

Land	Zahnmedizin		Anwendung am Tier in der Tierheilkunde	
	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 Buchst. b StrlSchG angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 19 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG angezeigten RöE
Baden-Württemberg	702	13 051	383	659
Bayern	144	16 689	507	1 037
Berlin	44	4 784	77	380
Brandenburg	60	2 010	114	197
Bremen	5	688	11	36
Hamburg	6	2 606	45	96
Hessen	96	7 114	193	576
Mecklenburg-Vorp.	3	1 936	47	117
Niedersachsen	134	8 174	336	921
Nordrhein-Westfalen	1 356	17 094	736	1 160
Rheinland-Pfalz	25	4 143	114	353
Saarland	0	934	7	99
Sachsen	27	5 137	125	265
Sachsen-Anhalt	3	2 700	44	170
Schleswig-Holstein	34	3 300	181	287
Thüringen	2	2 507	49	156
Summe	**2 641**	**92 867**	**2 969**	**6 509**

Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2021
(Survey on the granted and registered X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2021)

Land	Gesamtzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 StrlSchG genehmigten RöE	Anzahl der nach § 12 Absatz 1 Nummer 4 i.V.m. § 19 Absatz 2 Nummer 1 StrlSchG genehmigten RöE *	Gesamtzahl der angezeigten RöE nach § 19 Absatz 1 Nummer. 1 Buchst. a StrlSchG i.V.m. § 18 Absatz 1 Nummer 1 Buchst. c StrlSchG **	Gesamtanzahl der angezeigten RöE nach § 19 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG ***	Gesamtzahl der nach § 12 Abs. 1 Nummer 5 StrlSchG genehmigten Störstrahler)
Baden-Württemberg	1 989	115	939	1 021	287
Bayern	2 222	528	1 066	747	330
Berlin	615	118	434	220	121
Brandenburg	293	91	238	86	21
Bremen	136	44	102	35	10
Hamburg	330	141	300	86	38
Hessen	925	70	444	377	161
Mecklenburg-Vorp.	161	31	53	34	30
Niedersachsen	1 165	155	637	545	55
Nordrhein-Westfalen	3 207	530	1 372	1 059	192
Rheinland-Pfalz	571	83	263	200	60
Saarland	124	32	70	18	52
Sachsen	694	161	499	191	145
Sachsen-Anhalt	301	95	90	88	49
Schleswig-Holstein	358	38	160	162	24
Thüringen	302	48	272	154	22
Summe	**13 393**	**2 280**	**6 939**	**5 023**	**1 597**

* Für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse in der Werkstoffprüfung

** Bauartzugelassene Röntgenstrahler und Verwendung von med. RöE außerhalb der Anwendung am Menschen bzw. Tier in der Tierheilkunde

*** Basis-, Hoch- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen

Tabelle T V.26 Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006
(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006)

Stand	Genehmigungsinhaber	Behörden	Strahlenquellen	Meldungen
Ende 2006	321	43	1 740	3 139
Ende 2007	453	47	7 626	16 863
Ende 2008	540	47	13 800	32 600
Ende 2009	580	49	17 300	49 200
Ende 2010	590	49	20 100	63 000
Ende 2011	630	50	23 500	79 000
Ende 2012	646	60	27 200	97 200
Ende 2013	657	64	31 000	115 300
Ende 2014	667	73	34 500	134 000
Ende 2015	684	73	40 000	153 000
Ende 2016	693	73	42 000	170 000
Ende 2017	702	73	45 500	190 000
Ende 2018	712	74	49 200	210 000
Ende 2019	727	80	53 200	225 000
Ende 2020	732	82	57 300	246 000
Ende 2021	735	81	60 300	262 000

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2021
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2021)

Kategorie	Einheit	Endlagerziel Konrad	anderes Endlager
Rohabfälle (RA)	[t]	8 746	5
vorbehandelte Abfälle (VA)	[t]	12 481	21
Abfallprodukte in Innenbehältern (P1)	[m^3]	13 210	144
produktkontrollierte Abfallprodukte (P2)	[m^3]	4 768	0
Abfallprodukte in Konradbehältern (G1)	[m^3]	109 457	1
produktkontrollierte Abfallgebinde (G2)	[m^3]	2 936	0
Summe	[t] [m^3]	**21 227** **130 371**	**26** **145**

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2021
(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2021)

Abfallverursacher	RA [t]	VA [t]	P1 [m^3]	G1 [m^3]	P2 [m^3]	G2 [m^3]
Forschungseinrichtungen	1 485	5 923	1.908	41 853	1 747	0
kerntechnische Industrie	174	13	236	7 924	78	2 921
Kernkraftwerke*	6 148	5 939	8 230	43 845	2 470	15
Landessammelstellen	726	422	2 397	912	107	0
Wiederaufarbeitung (WAK)	219	205	582	14 925	365	0
Summe	**8 751**	**12 502**	**13 354**	**109 458**	**4 768**	**2 936**

* in Betrieb befindliche, dauerhaft abgeschaltete, in Stilllegung befindliche und zurückgebaute Kernkraftwerke

Tabelle T V.29 Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2021
(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2021

Verursachergruppe	Volumen in m^3	
	radioaktive Abfälle	
	2021	2020
Forschungseinrichtungen	1	4
kerntechnische Industrie	0	0
Kernkraftwerke	0	0
stillgelegte Kernkraftwerke	0	0
Landessammelstellen	2	2
Wiederaufbereitung europäisches Ausland (HAW) und WAK/VEK	568	570
Summe	**571**	**576**

Tabelle T V.30 Bedeutsame Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (z. B. Beschleuniger), bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen sowie Abhandenkommen und Fund von radioaktiven Stoffen

(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of facilities for the generation of ionising radiation (i. e. accelerators) and X-ray devices and during transport of radioactive material as well as losses and findings of radioactive material)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
2020 (Nachtrag)	erhöhte Strahlenexposition eines Mitarbeiters bei der Herstellung von PET-Nukliden an einem Zyklotron	keine Hinweise auf nicht ordnungsgemäßes Verhalten des Mitarbeiters, Ursache unbekannt	Gesamtdosis von 2020 betrug 30,5 mSv (Hinweise auf mögliche Überschätzung der Dosis durch Fehlmessung)	ärztliche Überwachung, zukünftig verkürzte halbjährliche ärztliche Überwachung; Weiterbeschäftigung des Mitarbeiters in der Qualitätskontrolle
18.08.2020 (Nachtrag)	Fund von sechs Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 37 kBq) in einem Privathaushalt	Unkenntnis über die Radioaktivität der aus dem Ausland eingeführten Ionisationsrauchmelder	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.01.2021	Fund eines Elektrobauteils mit offenen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 471 kBq) im Metallschrott bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.01.2021	Fund von drei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 33,3 kBq) auf einer Deponie	Abgabe der Ionisationsrauchmelder an eine Deponie durch Privatperson	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
08.01.2021	Fund einer Flasche mit offenen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 401 kBq; Ra-228, 267 kBq) bei einem Müllverwerter	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
09.01. - 12.01.2021	Emission radioaktiver Stoffe oberhalb zulässiger Werte (I-131, 0,97 GBq)	Steuerungsdefekt an der Abklinganlage einer nuklearmedizinischen Therapiestation	Radioaktiv belastete Ausscheidungen gelangten ins Abwasser, keine Belastung oberhalb des Grenzwertes	Erstellung eines Konzeptes zur Überwachung des Ausfalls der Abklinganlage
15.01.2021	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 33,3 kBq) in einem Privathaushalt	unbekannt	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
21.01.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 500 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Entsorgung über die Landessammelstelle
21.01.2021	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Metallteils (Dosisleistung an der LKW-Heckklappe 1 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und Sicherstellung, Überprüfung durch Sachverständigen, anschließend ordnungsgemäße Entsorgung
27.01.2021	Fund von drei Anzeigeinstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche 34 µSv/h) in einer Schrottladung	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
01.02.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 500 kBq) bei einer privaten Haushaltsauflösung	Unkenntnis	keine	Abholung, Sicherung und Entsorgung durch die Landesbehörde
11.02.2021	Fund eines Fläschchens und von Spritzen mit offenen radioaktiven Stoffen (Tc-99m, Mo-99m, Dosisleistung je ca. 5 µSv) im Gewerbemüll	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung; nach Abklingen konventionelle Entsorgung Überprüfung der Praxis durch zuständige Behörde
18.02.2021	Fund eines radioaktiven Strahlers (Ra-226, 222 kBq) bei Aufräumarbeiten in einem Hochschullabor	unterlassene Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
21.02.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 6,3 MBq) bei der Bestandsaufnahme in einem Museum	unterlassene Entsorgung	keine	Ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
22.02.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 2,4 MBq) bei der Auflösung eines Privathaushaltes	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
03.03.2021	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226) bei einer Privatperson	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
08.03. - 07.04.2021	Erhöhte Strahlenexposition einer Mitarbeiterin der Radiologie	keine Hinweise auf nicht ordnungsgemäßes Verhalten der Mitarbeiterin; Ursache unbekannt	Ganzkörperdosis im Zeitraum vom März - April 2021 betrug 2,9 mSv	systematische Untersuchung des Vorkommnisses, erneute Unterweisung bzgl. der Aufbewahrung von Dosimetern
08.03.2021	Fund von 13 Mineralien und drei Fläschchen mit radioaktiven Stoffen (Thoriumnitrat, ca. 400 Bq; Uranylnitrat, ca. 1500 kBq; Uranylacetat, ca. 750 kBq) in einer Apotheke	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
09.03.2021	Zerstörung einer Troxlersonde (Cs-137, 296 MBq)	Überrollen mit einer Walze auf einer Baustelle (menschliches Versagen)	keine; Strahler selbst blieb unversehrt	Sicherstellung der Strahlenquelle und Abgabe zur Entsorgung, Ausstattung der Isotopensonden zur besseren Sichtbarkeit mit Blinklichtern
11.03.2021	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Elektromotors (Dosisleistung an der Oberfläche 108 µSv/h) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
12.03.2021	Emission radioaktiver Stoffe (F-18, 8 GBq) in die Umwelt aus einer Produktionsfirma für Radiotracer	Emission der radioaktiven Stoffe durch Nichterkennung der erschöpften Kapazität der Abluftverpressungsanlage wegen eines technischen Fehlers	max. Aktivitätskonzentration beim Ereignis 16400 Bq/m^3/Tag, Mittelwert der Aktivitätskonzentration 40 Bq/m^3/Tag	Überprüfung der analogen Füllstandsanzeige an der Verpressungsanlage, Prüfung der Systemkommunikation für die Abluftverpressungsanlagensteuerung nach Stromausfall
12.03.2021	Fund von zwei Flugzeuginstrumenten mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 31 kBq und 35 kBq) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
18.03.2021	Fund von drei Behältern mit radioaktiven Stoffen (Th-228, 300 kBq) in einem Päckchen beim Zoll aus dem Ausland	illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
23.03.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hygienematerial (Lu-177, 32 MBq) bei einer Abfallbehandlungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	nach Abklinglagerung konventionelle Entsorgung
25.03.2021	Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Metallteilen (Co-60; Ra-226, Dosisleistung an Oberfläche 1,5 µSv/h) aus dem Ausland bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.03.2021	Fund eines Fluginstruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, abgeschätzt 1,5 MBq)	Rücksendung eines ins Ausland zu versendenden Pakets nach Feststellung des radioaktiven Stoffs durch den Zoll	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
05.04.2021	Versehentliche Strahlenexposition einer Mitarbeiterin durch Anwesenheit in einem CT-Untersuchungsraum bei einem Klinikum	Umpositionieren eines EKG-Kabels am Patienten während eingeschalteter Röntgeneinrichtung	abgeschätzte Dosis: 0,11 mSv	Untersuchung mit Hilfe der zuständigen Medizinphysikexpertin; Auswertung des Dosimeters
07.04.2021	Entweichen von radioaktivem Gas (Kr-85, 375 kBq) aus einem Labor in die Atmosphäre	Undichtheit bei umschlossenen radioaktiven Stoffen durch Fertigungsfehler	keine	
07.04.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 0,9 MBq) bei einer Privatperson	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.04.2021	Installation radioaktiver Präparate mit höherer Aktivität als angenommen (Cs-137, je 3,33 MBq)	Lieferung von Cs-137-Quellen mit 10-fach höherer Aktivität	keine	Ausbau und Zwischenlagerung der Strahler, Rückgabe an die Lieferfirma

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
13.04.2021	Fund von 200 - 300 mit natürlichen radioaktiven Stoffen leicht kontaminierten Blechen (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche 0,3 µSv/h) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	gründliche Dekontamination der Bleche vor Weiterveräußerung
20.04.2021	Fund eines Glasbehälters mit offenen radioaktiven Stoffen (Th-232, 13,5 kBq; Th-230, 97 kBq; U-238, 700 Bq) bei einer Privatperson	illegaler Besitz radioaktiver Stoffe	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
23.04.2021	Fund von Rohren mit radioaktiven Verkrustungen (U-238; Th-232, Dosisleistung an Oberfläche 1,32 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
26.04.2021	Fund eines Behälters mit Urangestein (Natururan, Dosisleistung an der Behälteroberfläche 0,08 µSv/h) in einer Privatgarage	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.04.2021	Fund eines Messinstruments mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 1 MBq) auf einem Schrottplatz	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
30.04.2021	Fund von zwei Manometern mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, je 500 kBq) bei Aufräumarbeiten auf einem Firmengelände	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
01.05.2021	Verlust eines Versandstücks mit radioaktiven Stoffen (I-125, 330 kBq) auf einem Flug ins Ausland	unbekannt	unbekannt	Information der Wasserschutzpolizei und des Luftfahrtbundesamts
04.05.2021	Fund eines offenen radioaktiven Stoffes (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche 48,3 µSv/h) bei einer Firma zur Abfallverwertung	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
07.05. - 25.08.2021	zeitweiliger Verlust eines Abschirmbehälters mit einer Strahlenquelle (Cs-137, 19,15 MBq) bei einer Firma	angenommener Verlust des Strahlers aufgrund mangelnder Kontrolle	keine	Einleitung polizeilicher Ermittlungen; späteres Wiederauffinden des Abschirmbehälters mit Strahlenquelle; ordnungsgemäße Entsorgung der Strahlenquelle
07.05.2021	Strahlenexposition von drei beruflich strahlenexponierten Personen durch ein mobiles C-Bogengerät	ungewollter Betrieb des C-Bogens nach Auftreten eines Kurzschlusses in einem zuvor durchtrennten Verbindungskabel des Handschalters	keine	keine

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
12.05.2021	Verlust einer umschlossenen Strahlenquelle (Cs-137, 129 MBq) in einem Bohrloch	Gestängebruch bei Dichtemessungen auf einem ehemaligen Tagebaugelände	keine	keine, Bergung der Quelle nach Prüfung des Auftraggebers technisch unmöglich
19.05.2021	Fund einer Radiumtrinkkur (Ra-226, 1,6 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
24.05.2021	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Metallteils (Dosisleistung an der Oberfläche 5,2 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.05.2021	Fund eines Funkgerätes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 150 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
28.05.2021	Verlust umschlossener radioaktiver Stoffe durch Entwenden von Fahrzeugen mit Tritium-Sonden	Diebstahl radioaktiver Stoffe	unbekannt	Sicherstellung der Fahrzeuge mit den Tritium-Sonden durch die Polizei
28.05.2021	Fund von 16 Gitterschauzeichen und elektronischen Bauteilen mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, 215 kBq) bei einem Metallrecyclingbetrieb	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
09.06.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Grubberzinkens (Co-60, 0,8 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
17.06.2021	Fund einer Glasflasche und eines Glasgebindes mit Natururan (U-238+, Uranoxid 5,6 µSv/h, Uranylnitrat 1 µSv/h) bei einem Schadstoffmobil	irrtümliche Annahme von radioaktiven Stoffen im Rahmen der Schadstoffsammlung einer Stadtreinigung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle, Instruktion der Mitarbeiter
22.06.2021	Fund einer Glasflasche mit radioaktivem Leuchtstoff (Ra-226, 226 kBq) bei einer Abfallverwertungsfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über Landessammelstelle; polizeiliche Ermittlungen
23.06.2021	Fund von fünf radioaktiv kontaminierten Grubberzinken (Co-60, je 0,8 MBq) auf einem Metallrecyclinghof	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
02.07.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schrottstücks (Dosisleistung an der Oberfläche 0,33 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.07.2021	Zerstörung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq)	Überrollen mit einer Walze auf einer Baustelle	keine, Strahler selbst blieb unversehrt	Sicherstellung der Messsonde und Übergabe an die Betreiberfirma

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
05.07.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 2 MBq) in einem Privathaushalt	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
11.07.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schrottstücks (Ra-226, Dosisleistung 15 µSv/h) in einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.07.2021	Verlust eines Neutronenmessgeräts mit einer Strahlenquelle (Cm-244, 12 kBq) aus einem Isotopenlabor	versehentliche Entsorgung bei Aufräumarbeiten	keine	Meldung an die zuständige Landesbehörde
21.07.2021	Abhandenkommen eines Röntgenfluoreszenzanalysators bei einer Firma	Diebstahl radioaktiver Stoffe	keine, da Gerät ohne Akku entwendet wurde und passwortgeschützt ist	polizeiliche Ermittlungen
23.07.2021	Fund radioaktiver Stoffe (I-131, 1 MBq) in Lebensmittelabfällen auf einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	ordnungsgemäße Weiterverarbeitung bzw. Entsorgung
26.07.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Inkontinenzmaterial (Lu-177, 20 MBq) im Hausmüll auf einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, nach Abklingen konventionelle Entsorgung
27.07.2021	Fund eines Rohres mit radioaktiven Ablagerungen (Dosisleistung an der Oberfläche 0,1 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.08.2021	Fund eines Probenröhrchens mit radioaktiven Stoffen (Th-232, Dosisleistung am Objekt 2,4 µSv/h) im Nachlass einer Privatperson	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
10.08.2021	Fund eines Bohrgestänges mit radioaktiven Anhaftungen (Ra-226, Dosisleistung am Bohrgestänge 0,52 µSv/h) im Mischschrott	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung; ordnungsgemäße Lagerung und Entsorgung
11.08.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Blechteils (Dosisleistung an der Oberfläche 3,5 µSv/h) bei einem Recyclingunternehmen	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
13.08.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Inkontinenzmaterial (Lu-177, 12 MBq) im Hausmüll bei einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, nach Abklingen konventionelle Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
18.08.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohres (Ra-226, Dosisleistung am Objekt 0,81 µSv/h) in einer Schrottlieferung bei einem Stahlwerk	unbekannt	keine	Separierung; ordnungsgemäße Lagerung und Entsorgung
20.08.2021	Strahlenexposition einer Person bei einer Schweißnahtprüfung in einem Industriebetrieb	unbemerkter Aufenthalt der Person in einem Röntgenraum	effektive Dosis von 1,52 mSv	Planung einer zusätzlichen Personenüberwachung für den Röntgenraum (z. B. per Bewegungsmelder)
22.08. - 21.09.2021	Strahlenexposition einer Mitarbeiterin während einer komplexen Koronarangiographie	zusätzlicher Aufenthalt wegen Reanimation eines Patienten während der Untersuchung	Ganzkörperdosis betrug im Zeitraum 2,7 mSv	Anschaffung eines Thoraxkompressionssystems, Vorschreiben des Tragen von sofort ablesbaren Personendosimetern für Reanimierende
01.09.2021	Strahlenexposition einer Person im Herzkatheterlabor eines Klinikums	unbemerkter Aufenthalt der Person im Röntgenraum während des Funktionstests der Röntgenanlage	effektive Dosis < 1 mSv	Klärung der Verantwortlichkeiten, Prüfung der Unterweisungen
14.09.2021	Fund von radioaktiv kontaminierten Metallteilen (Ra-226, Dosisleistung 6,3 µSv/h) auf einem Schrottplatz	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
15.09.2021	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 333 kBq) bei Bauarbeiten in einer Behörde	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
16.09.2021	Fund einer Strahlenquelle (Eu-152, 6,3 GBq) aus dem Ausland bei einem Rohstoffhandel	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, ordnungsgemäße Lagerung bis zur Entscheidung über die zukünftige Verwendung des Strahlers
27.09.2021	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 1 MBq) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
30.09.2021	Fund eines Radium-Emanationsbechers (Ra-226, 80 kBq) bei Aufräumarbeiten in einem Privathaushalt	Unkenntnis	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
01.10.2021	Strahlenexposition eines Mitarbeiters einer Forschungseinrichtung	unbeabsichtigter Betrieb einer Röntgenröhre durch fehlende bzw. ungenügende sicherheitstechnische Vorrichtungen	Dosis wurde mit 4 mSv abgeschätzt	Organisatorische und sicherheitstechnische Maßnahmen
05.10.2021	Fund von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 33 kBq und 40 kBq) in Elektronikabfällen aus dem Ausland bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
13.10.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schrottstücks (Dosisleistung an der Oberfläche ca. 0,03 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Zwischenlagerung zur anschließenden radiologischen Bewertung durch einen Gutachter
13.10.2021	Fund von drei Strahlenquellen (Sr-90, 15 kBq und 2 kBq; Am-241, 30 kBq) und eines Fläschchens mit radioaktiven Stoffen (Thorium) in einem Privathaushalt	illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	eine	Sicherstellung der radioaktiven Stoffe im Rahmen einer polizeilichen Razzia mit Verhaftung der Person; Abgabe der radioaktiven Stoffe an die Landessammelstelle zur ordnungsgemäßen Entsorgung
13.10.2021	Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallplatte (Ra-226, Dosisleistung an der Oberfläche 64 µSv/h) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
15.10.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Gestein und weiteren Gegenständen (Ra-226, 3,3 kBq; Cs-137) beim Aufräumen eines Chemielabors	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.10.2021	Fund von zwei Fläschchen und Laborgeräten mit radioaktiven Stoffen (Ni-63, ca. 2,1 TBq; Ba-133; Cs-137) sowie einer Strahlenquelle (Pu-238, 1,11 GBq) bei Privatpersonen	Diebstahl radioaktiver Stoffe aus einer Produktionsfirma und absichtliche Ausbringung derselben im öffentlichen Raum	unbekannt	Sicherstellung der gefundenen radioaktiven Stoffe; Verhaftung der Person, Erhöhung der Sicherungsmaßnahmen in der Firma
04.11.2021	Fund von Flugzeugarmaturen und Kompassen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, Dosisleistung am Objekt 5,8 µSv/h) auf einem Militärgelände	unterlassene Entsorgung	keine	Entsorgung über die Zentrale Sammelstelle für radioaktive Abfälle
04.11.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Inkontinenzmaterial (Lu-177, Dosisleistung 1,0 µSv/h) auf einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	Abklinglagerung und anschließende ordnungsgemäße Entsorgung
04.11.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Schrottstücks (Ra-226) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung; Zwischenlagerung zur radiologischen Bewertung durch einen Gutachter
08.11.2021	Fund von drei Glasfläschchen mit radioaktiven Folien eines Elektroneneinfangdetektors (H-3, je 9,25 GBq) in einem Privathaushalt	unterlassene Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
12.11.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Ra-226, 5,3 MBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.11.2021	Fund einer Dose mit einem radioaktiven Strahler (Ra-226, 90 kBq) in einem Privathaushalt	Unkenntnis	keine	Ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
16.11.2021	Fund eines Funkgeräts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 10 kBq) bei einem Schrotthändler	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
17.11.2021	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 37 kBq) in einem Privathaushalt	Unkenntnis	keine	Abholung; Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
22.11.2021	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 1,5 MBq) auf einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
23.11.2021	Fund der Strahlenquelle eines Radium-Emanators (Ra-226, 959 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
06.12.2021	Kontamination eines Ausgusses außerhalb des Kontrollbereichs eines Klinikums mit radioaktiv kontaminierter Flüssigkeit (Lu-177, 133 MBq; Lu-177m, 16,3 kBq)	Unterlassung der ordnungsgemäßen Entsorgung eines Katheters	keine	Dekontamination des Ausgusses, erneute Unterweisung des betroffenen Personals
06.12.2021	Fund radioaktiv kontaminierter Schrottstücke (Dosisleistung am Objekt 1,3 µSv/h) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung; Zwischenlagerung zur weiteren Bewertung durch eine Fachfirma
07.12.2021	Feststellung von Beschädigungen an einem vertragsgemäß aus dem Ausland zurückgenommenen Strahlers (Co-60, 41 MBq)	Feststellung eines 5 mm großen Loches in der Strahlerhülle	keine bekannt bei dem Nutzer aus dem Ausland	Zwischenlagerung des Strahlers in einer heißen Zelle bis zur ordnungsgemäßen Entsorgung
08.12.2021	Kontamination einer Mitarbeiterin während der Injektion eines radioaktiven Arzneimittels (Tc-99m) in der Nuklearmedizin	allgemeines menschliches Versagen	Handdosis von 517 mSv	erneute Besprechung und Übung der korrekten Handhabung
08.12.2021	Emission radioaktiver Stoffe oberhalb zulässiger Werte (I-131, 2,3 GBq) in die Kanalisation	Ausfall der Anlagensteuerung der Abklinganlage einer nuklearmedizinischen Therapiestation infolge einer Notstromübung	keine	Prüfung des gesamten Systems unter Einbeziehung einer Fachfirma; Vorhalten weiterer Ersatzteile; zukünftige Netztrennung der Anlage bei Notstromübungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
09.12.2021	Fund eines Glasfläschchens mit radioaktiven Stoffen (Th-232, Dosisleistung am Objekt 13,6 µSv/h) auf einer Deponie	unzulässige Entsorgung	keine	Abholung, Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
12.12.2021	Fund einer Strahlenquelle in einem Bleibehälter (Ra-226, 2,22 MBq) bei Umbauarbeiten eines Gebäudes	Sonstiges	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
13.12.2021	Fund eines Messgerätes mit drei radioaktiv kontaminierten Stabilisatorröhren (Ra-226, 172 kBq) bei einer Recyclingfirma	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung über die Landessammelstelle
19.12.2021	Fehlende Zu- und Fortluft in den Lagerräumen für Abklingabfälle und für natürliche radioaktive Stoffe in einer Landessammelstelle	Ausfall der Lüftungsanlage aufgrund eines defekten Umformers	keine	keine Durchführung von Tätigkeiten bis zur Reparatur der Lüftungsanlage
21.12.2021	Fund von radioaktiven Stoffen (I-131, Dosisleistung am Objekt 1 µSv/h) im Hausmüll in einem Müllheizkraftwerk	unzulässige Entsorgung, vermutlich von Ausscheidungen von mit I-131 behandelten Patienten	keine	Separierung, Zwischenlagerung, nach Abklingen konventionelle Entsorgung
22.12.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Inkontinenzmaterial (Lu-177, Dosisleistung am Objekt 0,3 µSv/h) im Hausmüll	unzulässige Entsorgung	keine	nach Abklinglagerung konventionelle Entsorgung
26.12.2021	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Co-60, Dosisleistung an der Oberfläche 12,2 µSv/h) bei einem Stahlwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.12.2021	Fund von radioaktiv kontaminiertem Inkontinenzmaterial (Lu-177, 70 MBq) im Hausmüll bei einem Müllheizkraftwerk	unzulässige Entsorgung	keine	Separierung, Zwischenlagerung, nach Abklingen konventionelle Entsorgung

VI. Tabellen zur nichtionisierenden Strahlung
(Tables on non-ionising radiation)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones)

		SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“			SAR-Werte für den Anwendungsfall „Handy körpernah betrieben“		
betrachtete Modelle		**Anzahl**	**SAR-Wert W/kg**	**bis 0,5 W/kg (strahlungs-arm*)**	**Anzahl**	**SAR-Wert W/kg**	**bis 0,5 W/kg (Messabstand 0,5 cm)****
Smartphones	**nur aktuell erhältliche**	376	0,17 bis 1,82	33 % der Modelle	292	0,46 bis 1,9	1 % der Modelle
	aktuelle und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle	1 642	0,05 bis 1,86	37,4 % der Modelle	639	0,36 bis 1,99	1,3 % der Modelle
Klassische Mobiltelefone und Smartpho-nes	**nur aktuell erhältliche**	593	0,01 bis 1,82	36,6 % der Modelle	417	0,29 bis 1,9	1,7 % der Modelle
	aktuelle und nicht mehr in Produktion befindliche Auslaufmodelle	3 468	0,01 bis 1,94	29,5 % der Modelle	813	0,03 bis 1,99	0,8 % der Modelle

* „strahlungsarm“ gemäß seit Juli 2017 geltendem Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für den Anwendungsfall „Handy am Kopf“, SAR ≤0,5 W/kg

** Abschätzung, wie viele Geräte das seit Juli 2017 geltende Strahlenschutzkriterium des Umweltzeichens für den Anwendungsfall „Handy körpernah betrieben“ einhalten

VII. Abkürzungen und Glossar
(List of abbreviations and glossary)

Tabelle T VII.1 Abkürzungen
(Abbreviations)

Abkürzung *(Abbreviation)*	***Bedeutung*** *(Meaning)*
A	Ampere
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell *Atmospheric Radionuclide Transport Model*
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen *Positions prescribed for doctors and dentists*
AMG	Arzneimittelgesetz *Medical Preparations Act*
AtAV	Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung *Waste Shipment Regulation*
AtG	Atomgesetz *Atomic Energy Act*
AVR	Atomversuchsreaktor *Nuclear test reactor*
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift *General Administrative Provisions*
B	magnetische Flussdichte *Magnetic flux density*
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung *Federal Office of Economics and Export Control*
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben *Federal Agency for Digital Radio of Security Authorities and Organisations*
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder *Regulation on verification procedure for limitation of electromagnetic fields*
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte *Federal Institute for Drugs and Medical Devices*
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde *Federal Institute of Hydrology*
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz *Federal Office for Radiation Protection*
BGBl	Bundesgesetzblatt *Federal Law Gazette*
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe *Federal Institute for Geosciences and Natural Resources*
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung *Federal Company for Radioactive Waste Disposal*
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung *Federal Immission Control Ordinance*
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung *Federal Ministry of Education and Research*
BMG	Bundesministerium für Gesundheit *Federal Ministry of Health*
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety*
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur *Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure*

Abkürzung *(Abbreviation)*	***Bedeutung*** *(Meaning)*
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie *Federal Ministry of Economic Affairs and Energy*
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben *Security authorities and organisations*
BNetzA	Bundesnetzagentur *Federal Network Agency*
Bq	Becquerel
Bq/m^3	Becquerel pro Kubikmeter *Becquerel per cubic meter*
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie *Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography*
/d×p	pro Tag und Person *per day and person*
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm *German Mobile Telecommunication Research Programme*
DNS	Desoxyribonukleinsäure (engl. DNA) *Deoxyribonucleic acid*
DRW	Diagnostische Referenzwerte *Diagnostic reference levels*
DWD	Deutscher Wetterdienst *German Meteorological Service*
DWR	Druckwasserreaktor *Pressurized Water Reactor*
E	elektrische Feldstärke *electric field strength*
EAS	elektronische Artikel-Sicherung *electronic article surveillance*
EBM	einheitlicher Bewertungsmaßstab *uniform standard of assessment*
EMF	elektromagnetische Felder *electromagnetic fields*
EU	Europäische Union *European Union*
EEG	Elektroenzephalogramm *Electroencephalogram*
E_{ery}	Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke *erythemal irradiance*
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft *European Atomic Energy Community*
EUREF	Europäische Referenzorganisation für qualitätsgesichertes Brustscreening und Diagnoseleistungen *European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services*
FFS	Fischereiforschungsschiff *Fisheries Research Vessel*
FM	Feuchtmasse *Wet weight*
GGF	Gleichgewichtsfaktor *equilibrium factor*
GKV	gesetzliche Krankenversicherung *legal medical insurance*
GoÄ	Gebührenordnung Ärzte *schedule of fees*
GSM	Globales Mobilfunksystem *Global System for Mobile Communications*
FZ	Forschungszentrum

Abkürzung ***(Abbreviation)***	***Bedeutung*** ***(Meaning)***
	Research Centre
Gα	Gesamt-Alpha-Aktivität *Total Alpha Activity*
Gβ	Gesamt-Beta-Aktivität *Total Beta Activity*
H	magnetische Feldstärke *magnetic field strength*
hED	Halbstunden-Erythemgewichtete UV-Dosiswerte *Halfhour-erythema-weighted UV dose values*
HF	hochfrequente elektromagnetische Strahlung *high frequently electromagnetic radiation*
HTR	Hochtemperaturreaktor *High Temperature Reactor*
HWZ	Halbwertszeit *Halflife*
Hz	Hertz
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation *International Atomic Energy Agency IAEA*
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung *International Agency for Research on Cancer*
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung *International Commission on Non-Ionising Radiation Protection*
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission *International Commission on Radiological Protection*
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem *Integrated Measuring and Information System*
IR	Infrarot-Strahlung Wellenlänge 780 nm - 1 mm *Infrared Radiation wave length 780 nm - 1 mm*
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr *Annual Intake of Activity*
FZ	Kernforschungsanlage *Nuclear Research Facility*
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung *National Association of Statutory Health Insurance Physicians*
KEMF	*Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder* *Competence Center Electromagnetic Fields*
KFZ	Kernforschungszentrum *Nuclear Research Centre*
KKW	Kernkraftwerk *Nuclear Power Plant*
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage *Compact Sodium cooled nuclear plant*
KTA	Kerntechnischer Ausschuss *Nuclear Safety Standards Commission*
KVB	Kassenärztliche Bundesvereinigung *German Association of Statutory Health Insurance Physicians*
LET	Linearer Energietransfer *Linear energy transfer*
LTE	*Long Term Evolution*
m^3	Kubikmeter *Cubic metre*
MED	minimale erythematogene Dosis für Hautrötung *minimal dose for erythema induction*
MRI	Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel *Federal Research Institute of Nutritron and Food*
MRT	Magnetresonanztomographie

Abkürzung ***(Abbreviation)***	***Bedeutung*** ***(Meaning)***
	Magnetic Resonance Tomography
MSP	Mammographie-Screening-Programm *Mammography Screening Programme*
mSv	Millisievert
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor *Multipurpose research reactor*
NF	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung *low freuquently elektromagnetic radiation*
NIR	nichtionisierende Strahlung *non-ionising radiation*
NGO	*non-governmental organisation*
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen *Act on Non-Ionising Radiation Protection When Applying to Humans*
NISV	Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen *Ordinance on Protection against the Harmful Effects of Non-Ionising Radiation When Applying to Humans*
NWG	Nachweisgrenze, siehe auch Grundlagenbericht, Kapitel II- 2 Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren *Detection limit*
nSv	Nanosievert *Nanosievert*
ODL	Ortsdosisleistung *Ambient Dose Rate*
PAS	*Public Available Specification*
PET	Positronen-Emissions-Tomographie *Positron Emission Tomography*
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt *National Metrology Institute*
PTCA	Perkutane transluminale koronare Angioplastie *Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty*
PKV	Verband der Privaten Krankenversicherung *Private Health Insurances*
Rβ	Rest-Beta-Aktivität *Residual beta activity*
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen *Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities*
RMP	Routinemessprogramm *Routine Measuring Program*
RöV	Röntgenverordnung *X-ray Ordinance*
RTS	Runder Tisch Solarien *Roundtable solaria*
RFID	*Radio Frequency Identification*
S	Leistungsflussdichte *Power flux density*
SAR	Spezifische Absorptionsrate *Specific absorption rate*
SCO	*oberflächenkontaminierte Objekte* *surface contaminated objects*
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor *Sodium-cooled reactor*
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie *Single Photon Emission Computed Tomography*
SSK	Strahlenschutzkommission

Abkürzung ***(Abbreviation)***	***Bedeutung*** ***(Meaning)***
	German Commission on Radiological Protection
SSR	Strahlenschutzregister *radiation protection register*
StrlSchG	*Strahlenschutzgesetz* *Radiation Protection Act*
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung *Radiation Protection Ordinance*
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz *Precautionary Radiation Protection Act*
SWR	Siedewasserreaktor *Boiling Water Reactor*
Sv	Sievert *Sievert*
T	Tesla
TETRA-BOS	*Terrestrial Trunked Radio - Digitaler BOS-Funk*
TBL	Transportbehälterlager *Transport Container Repository*
TM	Trockenmasse *Dry weight*
UBA	Umweltbundesamt *Federal Environment Agency*
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System*
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung *United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*
UV	Ultraviolette Strahlung Wellenlänge 100 - 400 nm *Ultraviolet Radiation wavelength 100 - 400 nm*
UVSV	UV-Schutzverordnung *UV protective ordinance*
V	Volt
VO	Verordnung *Ordinance*
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz *Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection*
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut *Johann Heinrich von Thünen Institute*
W	Watt
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage *Reprocessing Plant*
WBA	Wasserbehandlungsanlage *Water Treatment Plant*
WHO	Weltgesundheitsorganisation *World Health Organization*
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart *Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor*
Z_0	Feldwellenwiderstand des leeren Raums *Field characteristic impedance*
ZdB	Zentralstelle des Bundes *Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity*

Tabelle T VII.2 Glossar
(Glossary, German only)

Begriff	Bedeutung
Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis.
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst bzw. verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS)	Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten.
Athermische Effekte	eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen (oder Positronen) besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Bioturbation	Bioturbation ist das Durchwühlen und Durchmischen (Turbation) von Böden oder Sedimenten durch Lebewesen. Sie gehört zu den Translokationsprozessen.
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen (s. a. Teletherapie)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet.

Begriff	Bedeutung
Bystander-Effekt	Der Begriff „Bystander-Effekt“ beschreibt die Beobachtung, dass nicht nur Zellen, die von Strahlung getroffen werden, also Energiedepositionen erhalten, Schäden aufweisen, sondern dass zusätzlich auch in nicht getroffenen Zellen, in den sog. „bystander cells“ ebenfalls Schäden gefunden werden.
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch).
Diagnostischer Referenzwert (DRW)	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen.
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht.
Dosimetrie	Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosis	siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für z. B. die betroffenen Organe, die Strahlungsart, die nuklidspezifischen Eigenschaften und die Art der Exposition berücksichtigt. Beispielsweise kann durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids der Wert der jeweils betrachteten Dosis errechnet werden. Der Dosisfaktor wird auch als Dosiskoeffizient bezeichnet.
effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor.
elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m).
elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C).
elektrostatisches Feld	elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung; die Einheit ist Volt (V)
elektrischer Strom	die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung; die Einheit ist Ampere (A)

Begriff	Bedeutung
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden.
Elektrosensitivität	besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung.
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement, die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
Erkennungsgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Erkennungsgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), die mit einem Messwert verglichen wird, um zu entscheiden, ob bei dieser Messung ein Beitrag dieser Größe vorliegt oder lediglich Nulleffekt gemessen wurde. Angaben zur Berechnung der Erkennungsgrenzen können z. B. den Messanleitungen der Leitstellen und der Norm DIN 25482 10 entnommen werden.
Erythem	Sonnenbrand
Erythemwirksame (sonnenbrandwirksame) Bestrahlungsstärke	Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{ery} beschreibt die biologische Wirksamkeit der UV-Strahlung, einen Sonnenbrand zu erzeugen. Sie errechnet sich aus einem physikalischen UV-Spektrum. welches mit der biologischen Wirkungsfunktion eine Erythems verknüpft wird. Der durch 40 geteilte Zahlenwert von E_{Ery} ergibt den UV-Index.
Fall-Kontroll-Studie	In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird.
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontale Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung

Begriff	Bedeutung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis; 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Hall-Sonde	Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder.
Hochfrequenz	hochfrequente elektromagnetische Felder; hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarotstrahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm - 1 mm
Ingestion	allgemein: Nahrungsaufnahme speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	allgemein: Einatmung von Gasen speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	allgemein: Aufnahme in den Körper speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
ionisierende Strahlung	elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kohortenstudie	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht.
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.
Kontamination	speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
kosmische Strahlung	sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Energietransfer (LET) ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 - 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit.
LNT-Hypothese	Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar.
Machbarkeitsstudie	in einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes; die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)

Begriff	Bedeutung
magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt; die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
magnetische Induktion	magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche; die Einheit ist Tesla (T)
Medianwert	derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
Nachweisgrenze	In der Kernstrahlungsmesstechnik ist die Nachweisgrenze ein spezieller, berechneter Wert einer Größe (z. B. Aktivität, Aktivitätskonzentration, spezifische Aktivität), der mit einem vorgegebenen Richtwert (zum Teil als geforderte Nachweisgrenze bezeichnet) verglichen werden soll, um zu entscheiden, ob ein Messverfahren für einen bestimmten Messzweck geeignet ist.
Nahfeldexposition	räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
nichtionisierende Strahlung	elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition.
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm.
Perzentil	statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95 % Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Qualitätskorrigiertes Lebensjahr (QALY)	Ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr (englisch quality adjusted life year oder QALY) ist eine Kennzahl für die Bewertung eines Lebensjahres in Relation zur Gesundheit. Ein QALY von 1 bedeutet ein Jahr in voller Gesundheit, während ein QALY von 0 einem Versterben entspricht. QALY ist damit ein Nutzwert für ein Leben(-sjahr). Das QALY ist die meistgenutzte Kennzahl in der gesundheitsökonomischen Evaluation (de.wikipedia.org/wiki/Qualitätskorrigiertes_Lebensjahr)
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben.
radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
radioaktives Gleichgewicht	Einige primordiale Isotope des Uran und Thorium zerfallen nicht direkt in stabile Elemente, sondern in Nuklide, die wieder radioaktiv sind. Sie bilden Zerfallsketten. Wenn die Halbwertszeit des Tochterproduktes kürzer ist als die des Mutternuklids, nähert sich dessen Aktivität im Laufe der Zeit an die des Mutternuklids an. Schließlich zerfallen im ungestörten Gestein pro Zeiteinheit genauso viele Atome des Tochernuklids, wie nachgeliefert werden. Die Aktivitäten der beiden Radionuklide befinden sich im radioaktiven Gleichgewicht.
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden

Begriff	Bedeutung
Radioiod	radioaktive Iodisotope
Radionuklide	instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Retina	Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Sendeleistung	die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt.
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1.000 Millisievert (mSv) = 1.000.000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung; die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
stochastisch	zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)
Strahlenbelastung	siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s.a. Brachytherapie)
terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium (H-3)	radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UFOPLAN	Umweltforschungsplan / Ressortforschungsplan des BMUB zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung von Fachaufgaben
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung.
UV-Strahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm - 400 nm
Vorfluter	Natürliches oder künstliches Gewässer (Wasserlauf), der Wasser und Abwasser aufnimmt und weiterleitet
Wirbelstrom	durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

VIII. Physikalische Einheiten
(Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

Tabelle T VIII.1 Physikalische Einheiten - Basiseinheiten
(Physical units - basic units)

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

Tabelle T VIII.2 Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie
(Physical units - SI units applied in radiology)

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 10^{10}Bq * 1 Bq = 2,7 10^{-11}Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 10^{-4} C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 10^{-4} A/kg * = 0,258 mA/kg *

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet

Tabelle T VIII.3 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
(Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hekto	h	10^{2}
Deka	da	10^{1}

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	µ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle T VIII.4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	**V/m** (Volt pro Meter)	
magnetische Feldstärke	H	**A/m** (Ampere pro Meter)	
magnetische Flussdichte	B	**Vs/m**^{2} (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) 1 Vs/m^2 = 1 T gebräuchlich: 1 µT veraltet: G (Gauss)	B = µ • H = μ_0 • μ_r • H * für Luft und organische Materialien gilt: B (µT) = 1,256 • H (A/m) 1 G = 10^{-4} T = 100 µT
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
elektrische Feldstärke	E	**V/m** (Volt pro Meter)	E = Z_0 • H dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
magnetische Feldstärke	H	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	**W/m^2** (Watt pro Quadratmeter)	S = E • H = Z_0 • H^2 = E^2/Z_0 (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	**W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	
* dabei ist µ die Permeabilitätskonstante, μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums			

Tabelle T VIII.5 Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ε, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
9	Fluor	F-18	1,83 h	β^+
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1{,}28 \times 10^9$ a	$\beta^-, \varepsilon, \beta^+, \gamma$
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-, γ
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ε, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ε, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-,γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ε, γ
		Co-58	70,9 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	244 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ε, γ
36	Krypton	Kr-85	10,8 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 m	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,18 m	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4{,}8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64,1 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^- , γ
42	Molybdän	Mo-99	66,0 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2{,}1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,0 h	Iγ
44	Ruthenium	Ru-103	39,4 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	$\varepsilon,$
47	Silber	Ag-108m	418 a	ε, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		Ag-110m	250 d	$\beta^-, \gamma, I\gamma$
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ε
49	Indium	In-111	2,81 d	ε, γ
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	$I\gamma$
53	Iod	I-123	13,2 h	ε, γ
		I-125	59,4 d	ε, γ
		I-129	$1{,}57 \times 10^7$ a	β^-, γ
		I-131	8,02 d	β^-, γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	$I\gamma$
		Xe-133	5,25 d	β^-, γ
		Xe-133m	2,19 d	$I\gamma$
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^-, γ
		Xe-135m	15,3 m	$I\gamma, \beta^-$
		Xe-137	3,83 m	β^-, γ
		Xe-138	14,1 m	β^-, γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^-, γ, β^+
		Cs-137	30,2 a	β^-, γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^-, γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^-, γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^-, γ
		Ce-144	285 d	β^-, γ
61	Promethium	Pm-147	2,62 a	β^-, γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	$\varepsilon, \beta^+, \beta^-, \gamma$
		Eu-154	8,8 a	$\beta^-, \varepsilon, \gamma$
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ε, γ
71	Lutetium	Lu-177	6,647 d	β^-, γ
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^-, γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	$\beta^-, \varepsilon, \gamma$
81	Thallium	Tl-201	73,1 h	ε, γ
82	Blei	Pb-210	22,3 a	β^-, γ, α
		Pb-214	26,8 m	β^-, γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 m	β^-, α, γ
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 µs	α
		Po-218	3,05 m	α
86	Radon	Rn-219	3,96 s	α, γ
		Rn-220	55,6 s	α
		Rn-222	3,83 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
		Ra-226	1600 a	α, γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium**	Th-228	1,91 a	α, γ
		Th-230	$7{,}54 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1{,}41 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^-, γ
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^-, γ
92	Uran***	U-233	$1{,}59 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2{,}46 \times 10^5$ a	α
		U-235	$7{,}04 \times 10^8$ a	α, γ
		U-238	$4{,}47 \times 10^9$ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,36 d	β^-, γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α
		Pu-239 *)	$2{,}41 \times 10^4$ a	α
		Pu-240 *)	6563 a	α
		Pu-241	14,4 a	β^-, α
95	Americium	Am-241	432 a	α, γ
96	Curium	Cm-242	163 d	α
		Cm-244	18,1 a	α

µs = Mikrosekunden	ε = Elektroneneinfang
s = Sekunden	γ = Gammastrahlung
m = Minuten	Iγ = Isomerenzerfall
h = Stunden	β^+ = Positronen
d = Tage	β^- = Elektronen
a = Jahre	α = Helium-Kerne

+) entnommen aus:
Magill J, Pfennig G, Galy J: Karlsruher Nuklidkarte. European communities, EUR22276EN, 7. Auflage, 2006

* Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-(239+240)) der beiden Radionuklide Pu -239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphas-pektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann

** Bei natürlichem Thorium (Thnat) handelt es sich fast nur um das Isotop Th-232, das die längste Halbwertszeit besitzt. Th-228, 227Th, Th-230, Th-231 und Th-234 kommen nur in Spuren vor

*** In natürlichem Uran (Natururan, Unat) finden sich die Isotope -238 zu 99,27 %, U-235 zu 0,72 %, U-234 zu 0,0055 % und U-236 in Spuren

TABELLENVERZEICHNIS

I. TABELLEN ZUR NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(TABLES ON NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Tabelle T I.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2021 - Values measured by the Wismut GmbH) 144

Tabelle T I.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH) 144

Tabelle T I.3 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters during the period from 1998 to 2021 – Values measured by the Wismut GmbH) 145

Tabelle T I.4 Flüssige Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Liquid discharge of radioactive substances into surface waters for the years 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH) 146

Tabelle T I.5 Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen
(Calculation of authorised limits for liquid discharges) 146

Tabelle T I.6 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2020/2021 und Sommer 2021; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - winter 2020/2021 and summer 2021 - Values measured by the Wismut GmbH) 147

Tabelle T I.7 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2021 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities - mean values 1991 - 2021 and range of variation of the mean values for the individual years - Values measured by the Wismut GmbH) 147

Tabelle T I.8 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 2020 und 2021 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2020 and 2021 - Values measured by the Wismut GmbH) 148

Tabelle T I.9 Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen
(Results of radionuclide assessments by building material categories) 149

II. TABELLEN ZUR KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(TABLES ON ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Tabelle T II.1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany) 150

Tabelle T II.2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in Germany) 151

Tabelle T II.3 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Deutschland
(Interim storage facilities of spent nuclear fuels in Germany) 152

Tabelle T II.4 Schachtanlage Asse II und Endlager Morsleben für radioaktive Abfälle in Deutschland
(Asse II mine and the Morsleben radioactive waste repository in Germany) 153

Tabelle T II.5 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border) 153

Tabelle T II.6 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 *(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021)* 154

Tabelle T II.7 Aktivitätsableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 *(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021)* 155

Tabelle T II.8 Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2021 (I-131: Tabelle T II.6) *(Discharges of radioactive particulates with exhaust air from nuclear power plants in the year 2021 - I-131: Table T II.6)* 156

Tabelle T II.9 Aktivitätsableitung von radioaktiven Edelgasen, I-131 und an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden (ohne I-131, einschließlich Strontiumisotope und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in den Jahren 2011 bis 2021 *(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and radioactive particulates (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 2011 to 2021)* 159

Tabelle T II.10 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren und Forschungsreaktoren von Universitäten im Jahr 2021 *(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres and research reactors from universities in the year 2021)* 160

Tabelle T II.11 Aktivitätsableitung alphastrahlender radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben *(Discharges of alpha emitting radioactive substances with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels)* 160

Tabelle T II.12 Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II und dem Endlager Morsleben *(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine II and the radioactive waste repository Morsleben)* 161

Tabelle T II.13 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in Deutschland im Jahr 2021 (Summenwerte, H-3 und Alphastrahler) *(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2021 - summation values, H-3 and alpha sources)* 162

Tabelle T II.14 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren *(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres)* 163

Tabelle T II.15 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben *(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants)* 163

Tabelle T II.16 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den End- und Zwischenlagern *(Discharges of radioactive substances with waste water from the radioactive waste repositories Morsleben und Lubmin)* 163

Tabelle T II.17 Exposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft *(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)* 164

Tabelle T II.18 Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser *(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants due to the discharge of radioactive substances with waste water)* 165

Tabelle T II.19 Exposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft *(Radiation exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)* 166

Tabelle T II.20 Exposition in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Exposures in the surroundings of research centres due to the discharge of radioactive substances with waste water) *166*

Tabelle T II.21 Exposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water) *167*

Tabelle T II.22 Exposition in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Direktstrahlung*
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels due to direct radiation) *167*

Tabelle T II.23 Exposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben, der Schachtanlage Asse II und des Zwischenlagers Nord durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the final repositories due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water) *168*

Tabelle T II.24 Strahlenexposition durch Direktstrahlung* aus zentralen Zwischenlagern
(Radiation exposure due to direct radiation from interim storage facilities) *169*

Tabelle T II.25 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(Activity concentrations of individual nuclides in ground-level air) *169*

Tabelle T II.26 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag
(Deposition of individual nuclides with precipitation) *171*

Tabelle T II.27 Obergrenzen für die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktstrahlung aus kerntechnischen Anlagen
(Upper limits of the exposure of members of the public due to direct radiation of nuclear facilities) 173

Tabelle T II.28 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous I-131) *174*

Tabelle T II.29 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60) *175*

Tabelle T II.30 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors) *176*

Tabelle T II.31 Deposition mit dem Niederschlag bezogen auf Co-60
(Deposition of radioactivity related to Co-60) *177*

Tabelle T II.32 Übersicht über die für 2021 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrlSchG und REI mit den jeweiligen maximalen gemessenen Werten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten
(Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2021, in accordance with the StrlSchG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times) *178*

Tabelle T II.33 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrlSchG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrlSchG) *179*

Tabelle T II.34 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrlSchG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrlSchG) *183*

Tabelle T II.35 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of water bodies in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI) 186

Tabelle T II.36 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil) *193*

Tabelle T II.37 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil) 194

Tabelle T II.38 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil) 196

Tabelle T II.39 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation) 196

Tabelle T II.40 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production) 198

Tabelle T II.41 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten
(Radioactive contamination of imported feedstuffs) 199

Tabelle T II.42 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)
(Radioactive contamination of plants - indicators) 200

Tabelle T II.43 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of the soil in the vicinity of nuclear facilities) 200

Tabelle T II.44 Spezifische Aktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Specific activity of vegetation in the vicinity of nuclear facilities) 203

Tabelle T II.45 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland
(General monitoring of groundwater and drinking water in Germany) 206

Tabelle T II.46 Umgebungsüberwachung von Anlagen nach Atomgesetz in Deutschland (Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of facilities - according to the Atomic Energy Act groundwater and drinking water) 207

Tabelle T II.47 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk) 208

Tabelle T II.48 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten im Jahr 2021
(Range of radioactive contamination of milk and milk products in the year 2021) 209

Tabelle T II.49 Radioaktive Kontamination der Milch in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk in the vicinity of nuclear power plants) 209

Tabelle T II.50 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish) 212

Tabelle T II.51 Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen
(Cs-137 activity in trout and carp) 212

Tabelle T II.52 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nord- und Ostsee
(Specific Cs-137 activity in fish, crustaceans and molluscs from the North Sea and the Baltic Sea) 213

Tabelle T II.53 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products) 213

Tabelle T II.54 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen aus dem Pazifik
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans, molluscs and fishery products from the Pacific Ocean) 213

Tabelle T II.55 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren
(Specific Sr-90 activity in fish, crustaceans and molluscs) 214

Tabelle T II.56 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Fischen, Krusten- und Schalentieren aus verschiedenen Meeresgebieten
(Specific radionuclide activities in fish, crustaceans and molluscs from different marine areas) . . 214

Tabelle T II.57 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten von Wasserpflanzen aus verschiedenen Meeresgebieten
(Specific radionuclide activities in aquatic plants from different marine areas) 215

Tabelle T II.58 Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Anlagen nach Atomgesetz
(Activity in fish and aquatic plants - within the framework of ambient surveillance for facilities according to the Atomic Energy Act) 215

Tabelle T II.59 Weizen, Inland
(Wheat, domestic production) 217

Tabelle T II.60 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import) 218

Tabelle T II.61 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import) 218

Tabelle T II.62 Kalbfleisch, Inland
(Veal, domestic production) 218

Tabelle T II.63 Rindfleisch, Inland
(Beef, domestic production) 219

Tabelle T II.64 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production) 220

Tabelle T II.65 Sonstiges Fleisch, Inland und Einfuhr
(Other meat, domestic production and import) 221

Tabelle T II.66 Wild, Inland und Einfuhr
(Game, domestic production and import) 223

Tabelle T II.67 Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production) 223

Tabelle T II.68 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import) 224

Tabelle T II.69 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import) 224

Tabelle T II.70 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import) 225

Tabelle T II.71 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import) 226

Tabelle T II.72 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production) 226

Tabelle T II.73 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet) 228

Tabelle T II.74 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food) 229

Tabelle T II.75 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables) . . . 230

Tabelle T II.76 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals) . . 232

Tabelle T II.77 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit) 234

Tabelle T II.78 Radioaktivität der pflanzlichen Lebensmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes) 236

Tabelle T II.79 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in ausgewählten Arzneimittelpflanzen für das Jahr 2021
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in selected medicine plants for the year 2021) 237

Tabelle T II.80 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Bitterkleeblättern für die Jahre 2005 bis 2020 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in bogbean leaves for the years 2005 - 2020 and indication of their country of origin) 238

Tabelle T II.81 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Islandmoos für die Jahre 2000 bis 2021 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in iceland moss for the years 2000 - 2021 and indication of their country of origin) 238

Tabelle T II.82 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Trockenmasse - in Gänsefingerkraut für die Jahre 2000 bis 2021 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean values for specific activities of Cs-137 and K-40 in silverweed herb for the years 2000 - 2021 and indication of their country of origin) 239

Tabelle T II.83 Spezifische Aktivitäten von Cs-137 und K-40 - bezogen auf Frischmasse - in der ausgewählten Sonderprobe für das Jahr 2021
(Specific activities of Cs-137 and K-40 in a selected special sample for the year 2021) . . . 239

Tabelle T II.84 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2021 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2021 - minimum, maximum, and mean values) 240

Tabelle T II.85 Überwachung von Abfällen
(Monitoring of wastes) 245

III. TABELLEN ZUR BERUFLICHEN STRAHLENEXPOSITION
(TABLES ON OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE)

IV. TABELLEN ZUR MEDIZINISCHEN STRAHLENEXPOSITION
(TABLES ON RADIATION EXPOSURE FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Tabelle T IV.1 Typische Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenmaßnahmen
(Ranges of effective doses for frequently applied x-ray diagnostic procedures) 248

Tabelle T IV.2 Anzahl der im Jahr 2016 durchgeführten Strahlentherapien
(Number of radiation therapies performed in 2016) 248

Tabelle T IV.3 Anzahl der im Jahr 2016 durchgeführten Strahlentherapien (differenziert)
(Number of radiation therapies performed in 2016) - differentiated 249

Tabelle T IV.4 Anzahl der in 2016 durchgeführten Strahlentherapien nach demographischen Merkmalen
(Number of radiation therapies performed in 2016 by demographic characteristics) 250

Tabelle T IV.5 Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse im Jahr 2021 mit Abschlussmeldung
(Distribution of significant incidents in 2021 with final report) 250

V. TABELLEN ZUM UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG
(TABLES ON THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)

Tabelle T V.1 Einfuhr radioaktiver Stoffe nach Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Import of radioactive materials to Germany - without radioactive waste) 251

Tabelle T V.2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from Germany - without radioactive waste) 251

Tabelle T V.3 Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2021
(Import of open and sealed radionuclides (without HRQ) in the year 2021) 252

Tabelle T V.4 Einfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2021
(Import of sealed sources HRQ in the year 2021) 255

Tabelle T V.5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2021
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2021) 256

Tabelle T V.6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne HRQ) im Jahr 2021
(Export of sealed and unsealed radionuclides (without HRQ) in the year 2021) 256

Tabelle T V.7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen HRQ im Jahr 2021
(Export of sealed radiation sources HRQ in the year 2021) 259

Tabelle T V.8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2021
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2021) 260

Tabelle T V.9 Gesamtzahlen der Anmeldungen und Genehmigungen im Jahr 2021
(Total number of applications and permits in the year 2021) 260

Tabelle T V.10 Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of reported shipments of nuclear fuels – for various modes and types of transport) 261

Tabelle T V.11 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen / Transporte mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads / transports containing radioactive materials) . . 262

Tabelle T V.12 Anzahl der Beförderungen radioaktiver Stoffe (Bahn) in Abhängigkeit von der rechtlichen Grundlage
(Number of transports of radioaktive materials (railway) in respect of their legal basis) 262

Tabelle T V.13 Wagenladungssendungen
(Truck-loads) 263

Tabelle T V.14 Beförderte Gesamtaktivität
(Total activity transported) 263

Tabelle T V.15 Anteil der überprüften Beförderungen, bezogen auf Transportarten, sowie festgestellte Mängel
(Contingent of reviewed transports based on types of transport and detected defects) 264

Tabelle T V.16 Übersicht über die Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 StrlSchG zum Umgang mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2021)
(Survey of the number of licences according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG relating to the handling of radioactive substances - as at December 31, 2021) 264

Tabelle T V.17 Zahl der Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2021)
(Survey of the number of licences according to § 12 paragraph 1, point 3 StrlSchG relating to the handling of sealed radioactive sources only - as at December 31, 2021) 265

Tabelle T V.18 Übersicht über die Zahl der Anlagen mit Genehmigungen* nach § 12 Absatz 1 Nummer 1 und § 10 StrlSchG (Stand: 31.12.2021)
(Survey of the number of licencees according to § 12 paragraph 1, point 1 StrlSchG - as at December 31, 2021) 266

Tabelle T V.19 Übersicht über gültige Genehmigungen
(Survey of current licences) 267

Tabelle T V.20 Übersicht über die Zahl der im Jahr 2021 erstatteten Anzeigen
(Survey of the number of notifications in the year 2021) 268

Tabelle T V.21 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen nach § 89 StrlSchV im Jahr 2021
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2021) 269

Tabelle T V.22 Im Jahr 2021 erstattete Anmeldungen nach § 145 Absatz 2 StrlSchG und nach § 159 Absatz 2 StrlSchG
Notifications submitted under § 145 (2) and § 159 (2) StrlSchG - year 2021 270

Tabelle T V.23 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin im Jahr 2021
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine in 2021) 271

Tabelle T V.24 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Zahnmedizin und Tiermedizin im Jahr 2021
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in dentistry and veterinary medicine in 2021) 272

Tabelle T V.25 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik/Nichtmedizin im Jahr 2021
(Survey on the granted and registered X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological/non-medical areas in 2021) 273

Tabelle T V.26 Übersicht über die Entwicklung der Daten im HRQ-Register seit dem Jahr 2006
(Survey on the development of data in the HASS-register since the year 2006) 274

Tabelle T V.27 Übersicht über die Mengen (Massen und Volumina) vernachlässigbar Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2021
(Survey of quantities (masses and volumes) of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2021) 274

Tabelle T V.28 Übersicht über den Bestand radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2021
(Survey on the stock of radioactive wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2021) 274

Tabelle T V.29 Übersicht über den Bestand an Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen - ohne bestrahlte BE - nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2021
(Survey on the stock of radioactive heat generating wastes - without irradiated BE - according to groups of waste producers on 31 December 2021 275

Tabelle T V.30 Bedeutsame Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (z. B. Beschleuniger), bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen sowie Abhandenkommen und Fund von radioaktiven Stoffen
(Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of facilities for the generation of ionising radiation (i. e. accelerators) and X-ray devices and during transport of radioactive material as well as losses and findings of radioactive material) 276

VI. TABELLEN ZUR NICHTIONISIERENDEN STRAHLUNG
(TABLES ON NON-IONISING RADIATION)

Tabelle T VI.1 SAR-Werte für Mobiltelefone
(SAR values for mobile phones) 286

VII. ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR
(LIST OF ABBREVIATIONS AND GLOSSARY)

Tabelle T VII.1 Abkürzungen
(Abbreviations) 287

Tabelle T VII.2 Glossar
(Glossary, German only) 292

VIII. PHYSIKALISCHE EINHEITEN
(PHYSICAL UNITS)

Tabelle T VIII.1 Physikalische Einheiten - Basiseinheiten
(Physical units - basic units) 298

Tabelle T VIII.2 Physikalische Einheiten - SI-Einheiten in der Radiologie
(Physical units - SI units applied in radiology) 299

Tabelle T VIII.3 Präfixe für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten
(Prefixes) 299

Tabelle T VIII.4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation) 300

Tabelle T VIII.5 Liste ausgewählter Radionuklide
(List of selected radionuclides) 301