

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2018

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Auftrag	5
I. Ausgewählte Themen im Strahlenschutz im Berichtsjahr	5
1. Medizin und beruflicher Strahlenschutz	5
2. Notfallschutz	6
3. Beratungsergebnisse der Strahlenschutzkommission (SSK)	6
3.1 Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen	6
3.2 Ausfallkonzepte in der Medizinischen Strahlentherapie	7
3.3 Grundlagen zur Begründung von Grenzwerten für beruflich strahlenexponierte Personen	7
3.4 Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod	7
3.5 Festlegung von Reaktionsschwellen und Toleranzgrenzen für die Prüfung des Gesamtsystems bei der perkutanen Strahlentherapie mit Photonen und Elektronen	8
4. CONCERT: gemeinsames Europäisches Forschungsprogramm zum Strahlenschutz	8
5. Digitalisierung (5G-Strategie der Bundesregierung)	9
6. Stromnetzausbau	9
II. Natürliche Strahlenexposition	10
1. Arten natürlicher Strahlenquellen	10
2. Beiträge zur Strahlenexposition	10
2.1 Kosmische und terrestrische Strahlung	10
2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien, Industrieprodukten und im Bergbau	11

	Seite
2.3 Nahrungsmittel und Trinkwasser	13
2.4 Radon in Gebäuden	13
3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition	13
3.1 Äußere und innere Strahlenexposition	13
3.2 Baumaterialien	14
3.3 Radon	14
III. Zivilisatorische Strahlenexposition	15
1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe	15
1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe	15
1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition	17
2. Sonstige kerntechnische Anlagen	21
2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager	21
2.2 Endlager	23
3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen	24
4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut	24
5. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität	26
6. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Industrie und Technik sowie im Haushalt	27
6.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	27
6.2 Hochradioaktive Strahlenquellen	27
6.3 Störstrahler	27
6.4 Konsumgüter und sonstige Anwendungen	27
7. Fall-out durch Kernkraftwerksunfälle und durch Kernwaffenversuche ...	28
7.1 Tschernobyl	28
7.2 Fukushima	29
7.3 Kernwaffenversuche	29
IV. Berufliche Strahlenexposition	29
1. Zivilisatorische Strahlenquellen	29
1.1 Personendosisüberwachung	29
1.2 Beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen	31
1.3 Inkorporationsüberwachung	31
2. Natürliche Strahlenquellen	32
2.1 Flugpersonal	32
2.2 Arbeitsplätze mit erhöhter Radonexposition (Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder und Sanierungsbetriebe)	32
3. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	33

	Seite
V. Medizinische Strahlenexposition	33
1. Röntgendiagnostik	34
2. Nuklearmedizinische Diagnostik	37
3. Strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexposition ...	39
VI. Nichtionisierende Strahlung	39
1. Elektromagnetische Felder	39
2. Optische Strahlung	42
2.1 Solares UV-Monitoring	42
2.2 Forschung	44
2.3 Rechtliche Regelungen	44
2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen	44
Anhang	
Verwendete Abkürzungen	46
Erläuterung wichtiger Fachausdrücke	48
Stichwortverzeichnis	56

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2018 (Berichtsjahr: 1. Januar bis 31. Dezember 2018)

Wesentliche Ergebnisse im Berichtsjahr bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung:

- Die berechnete Gesamtexposition beträgt 3,8 mSv pro Person und Jahr wie im Vorjahr.

Medizinische Strahlenexposition:

- Die mittlere Anzahl der Computertomographien pro Einwohner und Jahr hat zwischen 2007 und 2016 um 40 % zugenommen. Die Anzahl der Magnetresonanztomographie-Untersuchungen (MRT), bei der keine ionisierende Strahlung verwendet wird, nahm im gleichen Zeitraum um etwa 65 % zu.
- Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch medizinische Strahlenexposition bildgebender Verfahren beträgt ca. 1,6 mSv (Daten für das Jahr 2016).

Berufliche Strahlenexposition:

- Die mittlere Jahresdosis exponierter Personen liegt bei 0,46 mSv (Vorjahr: 0,45 mSv).

Strahlenexposition des Flugpersonals:

- Die mittlere Jahresdosis beträgt 2,0 mSv (Vorjahr: 2,1 mSv).
- Die höchste Jahresdosis des fliegenden Personals liegt bei 6,2 mSv (Vorjahr: 5,9 mSv).

Register hochradioaktiver Strahlenquellen:

- Inzwischen sind 712 Genehmigungsinhaber (Vorjahr: 702) zu verzeichnen. 74 Bundes- und Landesbehörden haben Zugang zum Register.

Schachanlage Asse:

- Bei der Ermittlung der Strahlenexposition ergeben sich für das Berichtsjahr effektive Jahresdosen von 0,2 µSv für Erwachsene und 0,8 µSv für Säuglinge (Vorjahr 0,2 µSv bzw. 1 µSv).

Kernkraftwerksunfälle:

- Tschernobyl: Jährlich nehmen die Cäsium-137-Inventare aus dem Unfall um 2 bis 3 % in Boden und Nahrungsmitteln ab; die Kontamination von Wild und Pilzen ist jedoch immer noch vergleichsweise hoch, Überschreitungen der Grenzwerte gibt es bei Wildschweinfleisch in Einzelfällen.
- Fukushima: Im Berichtsjahr wurden in Deutschland keine Radionuklidaktivitäten aus dem Unfall gemessen.

Elektromagnetische Felder:

- Ein Schwerpunkt der Forschungs- und Kommunikationsaktivitäten von BMU und BfS liegt aktuell beim Ausbau der Stromnetze. Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen beantworten zu können, führen BMU und BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ mit insgesamt acht Themenfeldern und 36 einzelnen Forschungsvorhaben durch. Einige dieser Forschungsvorhaben wurden bereits im Rahmen des Ressortforschungsplans begonnen bzw. sind beendet.

Optische Strahlung:

- Die Verwendung optischer Strahlung außerhalb der Medizin wurde in einem Forschungsvorhaben untersucht. Ein Arbeitsschwerpunkt lag 2018 auf der Erarbeitung der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei Anwendungen am Menschen (NiSV), die am 31. Dezember 2020 in Kraft tritt.
- Der UV-Index erreichte im Juni im Norden und in der Mitte Deutschlands im Juni und Juli Werte von 7 bis 8, im Süden von 8 bis 9 und im alpinen Hochgebirgsraum Werte von 9 bis 10.

Alle im Text verwendeten Abkürzungen und Fachausdrücke sind im Anhang erklärt. Grundsätzliche Zusammenhänge von Strahlendosis und Strahlenwirkung sowie die Definition nichtionisierender Strahlung und ihrer Wirkungsmechanismen finden sich in den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und nukleare Sicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Auftrag

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 sieht in § 164 Absatz 2 die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)¹ an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Änderungen in diesem Bereich gegenüber den Vorjahren. Dazu werden die erhobenen Daten im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als Zentralstelle des Bundes (ZdB) nach § 163 Absatz 1 StrSchG zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§ 164 Absatz 1 StrlSchG). Die §§ 161 bis 165 StrlSchG sind am 1. Oktober 2017 in Kraft getreten (Artikel 32 Absatz 1 Satz 2 des Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017). Der vorliegende Bericht berücksichtigt jedoch auch die Daten zur Umweltradioaktivität, die zuvor auf Grundlage der inhaltsgleichen Vorgängervorschriften der §§ 2 bis 5 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom Bund und den Ländern erhoben und vom BfS im integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert worden sind. Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Alle Angaben beziehen sich auf das Berichtsjahr 1. Januar bis 31. Dezember 2018, sofern nichts anderes angegeben ist. Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen (Zugriff über www.bfs.de/DE/mediathek/berichte/umweltradioaktivitaet/umweltradioaktivitaet.html).

I. Ausgewählte Themen im Strahlenschutz im Berichtsjahr

1. Medizin und beruflicher Strahlenschutz

Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin

Durch die zunehmende und immer komplexer werdende Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der medizinischen Diagnostik und Therapie steigt nicht nur die Strahlenexposition der Bevölkerung insgesamt, sondern es nimmt gleichzeitig auch das Risiko von unbeabsichtigten oder fehlerhaften Expositionen zu. Diese können auf Grund technischer Mängel, aber auch auf Grund menschlichen Versagens vorkommen. Mit Wirkung zum 31. Dezember 2018 hat das neue StrlSchG in § 90 die Pflichten, Aufgaben und Befugnisse bei Vorkommnissen neu geregelt.

Damit aus bedeutsamen Vorkommnissen Lehren für die Zukunft gezogen werden können, sieht das neue Strahlenschutzgesetz zukünftig ein zentrales Meldesystem für derartige Vorkommnisse in der Medizin vor. Ziel ist es, Meldungen über bedeutsame Vorkommnisse bundeseinheitlich zu sammeln, auszuwerten und an andere Anwen- der weiterzugeben, um vergleichbare Vorkommnisse in anderen Einrichtungen zu vermeiden.

Strahlenschutzregister

Das Strahlenschutzregister erfasst (ab 31. Dezember 2018 nach § 170 StrlSchG) Daten über berufliche Strahlenexpositionen zum Zweck der Grenzwertüberwachung und der dauerhaften Nachvollziehbarkeit beruflicher Expositionen. Weitere Aufgaben sind die systematische Auswertung der Expositionsdaten für wissenschaftliche Zwecke und die Erteilung von Auskünften über die erfassten Daten an zuständige Behörden, Unfallversicherungen, Strahlenschutzverantwortliche und an die Betroffenen selbst. Im Rahmen dieser Aufgaben werden jährlich ca. 3,5 Millionen Dosis- und Strahlenpassmeldungen von insgesamt ca. 100 verschiedenen Messstellen und Behörden aus ganz Deutschland im Strahlenschutzregister des BfS zentral und personenbezogen zusammengefasst.

Um Zuordnungsfehler auf Grund von Personenverwechslungen zu vermeiden, sieht das neue Strahlenschutzgesetz in § 170 StrlSchG unter anderem die Einführung eindeutiger Personenkennzeichen im Strahlenschutzregister vor, die über die gesamte Berufslebensdauer, auch bei einem Namens- oder Arbeitgeberwechsel, erhalten bleiben.

Die eindeutige Kennnummer (genannt: Strahlenschutzregisternummer, kurz: SSR-Nummer) wird vom Bundesamt für Strahlenschutz seit 31. Dezember 2018 auf Antrag vergeben. Dazu wurden entsprechende Konzepte und IT-Anwendungen entwickelt, wobei neben der organisatorischen und technischen Umsetzbarkeit insbesondere datenschutzrechtliche Aspekte zu berücksichtigen waren. So wird die SSR-Nummer durch eine nicht rückführbare Verschlüsselung aus der Sozialversicherungsnummer (§ 147 SGB VI) und den Personendaten des zu überwachen-

¹ im Gesetz noch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

den Beschäftigten abgeleitet. Die Beantragung der SSR-Nummer und die Übertragung der dafür nötigen Personendaten für beruflich exponierte Personen soll durch den Strahlenschutzverantwortlichen bzw. den entsprechenden Verpflichteten oder Verantwortlichen des Beschäftigungsbetriebs oder eine von ihm autorisierte Person erfolgen.

Neben der Einführung der SSR-Nummer ergeben sich auf Grundlage des neuen Strahlenschutzrechtes weitere relevante Änderungen hinsichtlich der an das Strahlenschutzregister zu übermittelnden Daten. Hierbei sind insbesondere die Angabe der Kategorien beruflich exponierter Personen nach § 71 StrlSchV und Änderungen hinsichtlich der Tätigkeits- und Betriebskategorien zu nennen.

Alle wichtigen Informationen zur Beantragung der SSR-Nummer und zu den Änderungen bei den an das Strahlenschutzregister zu übermittelnden Daten sind auf folgender Internetseite zusammengefasst: www.bfs.de/ssr.

2. Notfallschutz

Kommt es in Deutschland oder im benachbarten Ausland zu einer Notfallsituation, bei der von radioaktiven Stoffen in die Umwelt gelangen können, sollen die Behörden und Organisationen in Bund und Ländern ihre Schutzmaßnahmen künftig enger aufeinander abstimmen.

Das neue Strahlenschutzgesetz sieht daher abgestimmte Notfallpläne zwischen Bund und Ländern vor, die auf sogenannten Referenzszenarien basieren. Diese decken sowohl Kernkraftwerksunfälle und andere überregionale Notfälle als auch Ereignisse mit eher regionalen oder lokalen Auswirkungen ab, etwa Transportunfälle.

Das BMU richtet ein radiologisches Lagezentrum ein, das im Notfall eine deutschlandweit gültige radiologische Lagebewertung vornimmt, die zum einen die aktuelle Situation und vermutete künftige Entwicklung beschreibt und zum anderen das Erreichen von Eingreifrichtwerten für Katastrophenschutzmaßnahmen für betroffene Gebiete enthält. Das Radiologische Lagezentrum des Bundes setzt sich aus einer Kopfstelle beim BMU, dem BfS und dem Notfallzentrum der GRS zusammen.

Bei einem überregionalen Notfall soll das radiologische Lagezentrum des Bundes eine deutschlandweit gültigen Lagebewertung vornehmen. In einem für alle Behörden des Bundes und der Länder maßgeblichen radiologischen Lagebild ist zum einen die aktuelle Situation und die zu erwartende künftige Entwicklung zu beschreiben und zum anderen darzustellen, in welchen Teilen des Bundesgebietes die radiologischen Kriterien für die Angemessenheit bestimmter Schutzmaßnahmen überschritten sind oder künftig überschritten werden können.

3. Beratungsergebnisse der Strahlenschutzkommission (SSK)

3.1 Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen

Der mit Abstand größte Teil der zivilisatorischen Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung wird durch Untersuchungen mittels Röntgenstrahlung verursacht. Eine Reduktion der Strahlenexposition des Patienten, insbesondere außerhalb der zu untersuchenden Körperbereiche, kann unter anderem durch den sachgerechten Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln erreicht werden. Allerdings kann ein übermäßiger Einsatz wenig effizienter Schutzmittel oder die falsche Anwendung von Schutzmitteln die Akzeptanz sowohl bei dem an der Anwendung beteiligten medizinischen Personal als auch bei den Patienten verringern und somit einem optimalen Strahlenschutz entgegenwirken.

Das Bundesumweltministerium hatte daher am 16. Dezember 2011 um eine Empfehlung der SSK zu der Frage gebeten, welche Patienten-Strahlenschutzmittel für die verschiedenen in der Röntgendiagnostik angewendeten Verfahren eingesetzt werden sollten. Dabei sollte der Maßstab für den sinnvollen Einsatz von Patienten-Strahlenschutzmitteln sein, ob es unter Berücksichtigung des Standes der Technik mit angemessenem Aufwand möglich ist, die Strahlenexposition zu reduzieren.

In der Empfehlung wird die Anwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei verschiedenen Untersuchungstechniken (Projektionsradiographie und Computertomographie) und die damit erzielbare mögliche Dosisreduktion dargestellt und begründet. Zudem werden fachliche Grundlagen, beispielsweise Hinweise zur Einstelltechnik, Patientenlagerung und die richtige Anwendung der bezeichneten Patienten-Strahlenschutzmittel in den jeweiligen Untersuchungssituationen, vermittelt und Bezug zu den gesetzlichen Regelungen genommen.

Zur Dosisreduktion bei der Anwendung von Röntgenstrahlung im Rahmen der bildgestützten Strahlentherapie ist die Empfehlung der SSK „Strahlenhygienische Anforderungen an IGRT (image guided radiotherapy/bildgeführte Strahlentherapie)“ aus dem Jahr 2010 zu berücksichtigen.²

3.2 Ausfallkonzepte in der Medizinischen Strahlentherapie

Im Rahmen einer therapeutischen Bestrahlung wird die Gesamtdosis in der Regel in einzelne Fraktionen aufgeteilt, die über einen im Bestrahlungsplan festgelegten Zeitraum appliziert werden. Mit dieser Vorgehensweise kann die strahlenbiologisch unterschiedliche Reparaturkapazität von Tumorzellen und gesunden Körperzellen so ausgenutzt werden, dass das im bestrahlten Volumen liegende Normalgewebe geschont wird. Wird die geplante Gesamtbehandlungszeit durch Unterbrechungen wie z. B. durch Geräteausfälle verlängert, kann sich dies negativ auf das Behandlungsziel auswirken.

Im Genehmigungsverfahren zum Betrieb einer Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlen oder einer Bestrahlungseinrichtung für medizinische Strahlenanwendungen muss der Antragssteller deshalb darlegen, wie im Falle eines technischen Ausfalls der Anlage eine geeignete Weiterbehandlung von Patienten ermöglicht wird, um das angestrebte Behandlungsziel zu erreichen.

Um angemessene Ausfallkonzepte im untergesetzlichen Regelwerk verankern zu können, hatte das Bundesumweltministerium die SSK um eine Empfehlung zu detaillierteren, auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen gegründeten Anforderungen an diese Ausfallkonzepte gebeten.³

3.3 Grundlagen zur Begründung von Grenzwerten für beruflich strahlenexponierte Personen

Generell basiert das Strahlenschutzsystem auf den drei Grundsätzen Rechtfertigung, Optimierung und Anwendung von Dosisgrenzwerten. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Bundesumweltministerium am 19. März 2014 die SSK, sich mit den fachlichen Grundlagen für die Begründung der Grenz- und Richtwerte für beruflich strahlenexponierte Personen zu befassen.

Als Ergebnis eines ausschussübergreifenden Abstimmungsprozesses hat die Strahlenschutzkommission empfohlen:

- weitergehende Anstrengungen zur Vereinheitlichung der Konzepte zur Ableitung von Grenzwerten sowie zur Festlegung von Verfahren zur Abschätzung und Bewertung von gesundheitlichen Risiken an unterschiedlichen Arbeitsplätzen zu unternehmen
- das Konzept der Begrenzung der Berufslebensdosis in Deutschland zu erhalten und die Diskussion über die Höhe des Werts der Berufslebensdosis weiterzuführen
- eine internationale Diskussion des Grenzwertes von 100 mSv für einen Zeitraum von fünf Jahren anzustoßen
- Anstrengungen zu unternehmen, um die bestehenden Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Risiken ionisierender Strahlung weiter zu verringern und
- in Übereinstimmung mit der früheren Empfehlung der Risikokommission zur „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland (2003) die „Transparenz der Abschätzungs- und Entscheidungsverfahren durch effektive Formen der Dokumentation und Risikokommunikation zu ergänzen“.⁴

3.4 Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem Notfall mit Freisetzung von radioaktivem Jod

Auf Grundlage der Erfahrungen aus dem Reaktorunfall in Fukushima und der aktuellen Leitlinie der WHO zur Jodblockade der Schilddrüse (im Folgenden Jodblockade genannt) hat das Bundesumweltministerium die Strahlenschutzkommission (SSK) um Überprüfung der zuletzt 2011 veröffentlichten Merkblätter zur „Verwendung von Jodtabletten zur Jodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall“ (die sog. Jodmerkblätter) gebeten.

Die Überprüfung ergab sowohl im Merkblatt für Ärzte und Apotheker als auch im Merkblatt für die Bevölkerung insgesamt nur geringfügigen Bedarf an inhaltlichen Änderungen. Die Merkblätter wurden aber mit dem Ziel der

² veröffentlicht im BAnz AT 18.06.2019 B3, urn:nbn:de:101:1-2019061715554185512745

³ Bekanntmachung im BAnz AT 01.04.2019 B3

⁴ Bekanntmachung im BAnz AT 14.11.2019 B5

besseren Verständlichkeit und der umfassenderen Information über das Schutzkonzept redaktionell überarbeitet und ergänzt.

Ziel der Jodblockade in Form der Einnahme von hohen Dosen stabilen Jods (wissenschaftliche Schreibweise Iod) in der Größenordnung des 100- bis 1000fachen der täglichen Nahrungszufuhr ist in erster Linie die Verhinderung von strahleninduziertem Schilddrüsenkrebs bei besonders vulnerablen Gruppen der Bevölkerung (Ungeborene, Kinder und Jugendliche). Schwangere und Stillende zählen auch zur Gruppe der besonders vulnerablen Personen, da über sie die Ungeborenen und die Säuglinge geschützt werden.

Den für die Planung der Jodblockade zuständigen Behörden wird nachdrücklich empfohlen, die Ärzte und Apotheker in potenziellen Verteilungsgebieten vorab mit den Jodmerkblättern und Informationen über die Jodblockade zu versorgen, z. B. durch Hinweise auf die Internetseite www.jodblockade.de. Es wird weiterhin empfohlen, das Thema Jodblockade im Rahmen der ärztlichen Fortbildung zu behandeln.⁵

3.5 Festlegung von Reaktionsschwellen und Toleranzgrenzen für die Prüfung des Gesamtsystems bei der perkutanen Strahlentherapie mit Photonen und Elektronen

Die SSK hatte in ihrer Empfehlung aus dem Jahr 2010 „Physikalisch-technische Qualitätssicherung in der Strahlentherapie - Vorschläge zur Prüfung des gesamten Behandlungssystems“ empfohlen, Festlegungen von verbindlichen Toleranzwerten zu treffen. Da bisher keine verbindlichen Toleranzwerte für die dosimetrische und geometrische Unsicherheit sowohl der Einzelkomponenten als auch des Gesamtsystems in der Strahlentherapie vorliegen, sollten herstellerunabhängige Toleranzwerte und Reaktionsschwellen in Abhängigkeit von der jeweiligen therapeutischen Maßnahme für das Gesamtsystem erarbeitet werden.

In der Stellungnahme werden Toleranzgrenzen für dosimetrische und geometrische Bestrahlungsparameter angegeben, deren Einhaltung nach gegenwärtigem Wissensstand eine optimale strahlentherapeutische Behandlung gewährleistet. Zur Differenzierung der sich aus der medizinischen Indikation ergebenden Präzisionsanforderungen werden für die verschiedenen therapeutischen Maßnahmen vier Indikationsklassen vorgeschlagen. Aus den Toleranzgrenzen und den bekannten Unsicherheiten der einzelnen Glieder der strahlentherapeutischen Kette werden geometrische und dosimetrische Reaktionsschwellen abgeleitet, bei deren Überschreitung Untersuchungen zur Abklärung eingeleitet und geeignete Überprüfungs- und Korrekturmaßnahmen ergriffen werden sollen. Sie dienen zum Schutz vor Übertretungen von Toleranzgrenzen und zur Optimierung des Strahlenschutzes.

Die Empfehlung befasst sich mit den Toleranzen für strahlentherapeutische perkutane Behandlungen mit Photonen und Elektronen. Für die Anwendung von Protonen und Schwerionen zur Strahlenbehandlung kann das grundlegende Konzept dieser Stellungnahme genutzt werden, allerdings sind besondere Aspekte zu berücksichtigen, die nicht Gegenstand dieser Stellungnahme sind.⁶

4. CONCERT: gemeinsames Europäisches Forschungsprogramm zum Strahlenschutz

Das „European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research“ wird als europäisches Forschungsprogramm unter der Bezeichnung CONCERT durchgeführt. CONCERT koordiniert die Forschung im Bereich Strahlenschutz in Europa und in den Mitgliedstaaten der EU über ein gemeinsames Forschungsprogramm. Die Finanzierung erfolgt durch EU und Mitgliedstaaten gemeinsam (Co-Funding 70/30 Prozent).

Partnerinstitutionen aus nahezu allen EU-Ländern sowie Norwegen und der Schweiz haben sich zusammengeschlossen, um ihre Kompetenzen und Forschungsaktivitäten zu bündeln und so den Strahlenschutz in allen Anwendungsbereichen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Industrie und Forschung zu verbessern. Die EU unterstützt das bisher größte Strahlenschutz-Forschungsprogramm in Europa mit knapp 20 Millionen Euro, verteilt über 5 Jahre (1. Juni 2015 bis 31. Mai 2020).

Mit Beginn des Berichtsjahres starteten die finanzierten sechs Projekte der zweiten öffentlichen Ausschreibung. Die drei Projekte, die im Rahmen der ersten öffentlichen Ausschreibung von CONCERT finanziert wurden, legten bereits den ersten Zwischenbericht vor mit der Beschreibung der Tätigkeiten aller Konsortialpartner und der bisher erreichten Ergebnisse bzw. Beiträge zur Entwicklung der Strahlenschutzforschung in Europa. Die jeweiligen Zwischenberichte wurden durch externe Expert*innen geprüft.

⁵ veröffentlicht im BAnz AT 07.05.2019 B4, urn:nbn:de:101:1-2019050811554539502723

⁶ veröffentlicht im BAnz AT 10.08.2018 B3, urn:nbn:de:101:1-2018082008585109229422

Um die Multidisziplinarität und Integration der europäischen Forschungsgemeinschaft im Bereich der Strahlenschutzforschung weiter zu stärken, wurde zusätzlich zu den unten aufgeführten strategischen Forschungsagenden der Forschungsplattformen und mit Unterstützung von CONCERT eine strategische Forschungsagenda für sozial- und geisteswissenschaftliche Aspekte des Strahlenschutzes (SSH) entwickelt und die Bildung einer Forschungsplattform für Sozial- und Geisteswissenschaften angeregt.

Ziel von CONCERT ist es, basierend auf den aktuellen strategischen Forschungsagenden (Strategic Research Agenda, SRA) der europäischen Forschungsplattformen MELODI (Strahlenwirkungen und -risiken), ALLIANCE (Radioökologie), NERIS (nuklearer und radiologischer Notfallschutz), EURADOS (Strahlendosimetrie) und EURAMED (medizinischer Strahlenschutz) langfristig ein gemeinsames europäisches Programm für Strahlenschutzforschung in Europa zu etablieren. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS sind an den Arbeiten dieser Forschungsplattformen seit vielen Jahren aktiv beteiligt und haben insbesondere durch Leitung und Mitarbeit in den entsprechenden Arbeitsgruppen die strategische Ausrichtung der Forschungsprogramme entscheidend mitgeprägt.

CONCERT führt die erforderlichen wissenschaftlichen Expertisen unter anderem aus den Gebieten Strahlenbiologie, Biophysik, Epidemiologie, Radioökologie, Dosimetrie und Modell-/Prognoseentwicklung auf europäischem Niveau zusammen und integriert sie in gemeinsamen Forschungsvorhaben. Die Forschung muss darauf ausgerichtet sein, den Strahlenschutz in Europa zu verbessern, offene Fragen zu beantworten, Unsicherheiten zu verringern und die Umsetzung der Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz in nationale gesetzliche Regelungen wissenschaftlich zu unterstützen sowie die Grundlagen für zukünftige gesetzliche Regelungen im Strahlenschutz zu erarbeiten.

Durch CONCERT wird die Zusammenarbeit mit anderen europäischen Institutionen im Bereich der Forschungsförderung vertieft und Deutschland nimmt entscheidenden Einfluss auf die inhaltliche Gestaltung der zukünftigen europäischen Forschungslandschaft im Bereich Strahlenschutz. Das BfS koordiniert CONCERT.

5. Digitalisierung (5G-Strategie der Bundesregierung)

Die Einführung des neuen Mobilfunkstandards 5G wird den Trend zur Vernetzung technischer Geräte fortsetzen und weiter beschleunigen. Auch die Zahl der Sendeanlagen und Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugen, nimmt damit zu. Die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen sind laut Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch für 5G weitestgehend aussagekräftig.

Grundsätzlich zu berücksichtigen sind zwei Aspekte: die technischen Voraussetzungen – wie zum Beispiel Mobilfunksendeanlagen und Endgeräte – sowie die steigenden Datenübertragungsmengen. Viele technische Aspekte von 5G sind mit denen bisheriger Mobilfunkstandards vergleichbar. Erkenntnisse aus Studien, in denen mögliche Gesundheitswirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks (zu Tetra-Signalen, 2G, 3G und 4G) untersucht wurden, können daher zu einem großen Teil auf 5G übertragen werden.

Dort hat sich gezeigt: Wenn die Grenzwerte eingehalten werden, sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitsrelevanten Wirkungen zu erwarten. In Bezug auf die mit 5G geplante Nutzung zusätzlicher Frequenzbänder im Zenti- und Millimeterwellenlängenbereich liegen allerdings erst wenige Untersuchungsergebnisse vor. Das BfS hat entsprechende Forschungsvorhaben initiiert, um die Datenlage zu verbessern.

6. Stromnetzausbau

Beim Stromnetzausbau werden auch Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) errichtet. In der Umgebung der Leitungen treten statische Magnetfelder auf. Für statische Magnetfelder wurde in der 26. Bundesimmissionschutzverordnung (26. BImSchV) ein Grenzwert von 500 μT für die magnetische Flussdichte festgelegt. Zudem sind bei der Einrichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

Die zusätzlichen statischen Magnetfelder in der Nähe von HGÜ-Trassen werden voraussichtlich in der Größenordnung der Feldstärken des natürlichen Erdmagnetfeldes liegen. Angesichts des aktuellen Kenntnisstandes zu wesentlich stärkeren Feldern der Magnetresonanztomographie ist keine Beeinträchtigung der Bevölkerung und der Umwelt zu erwarten.

Im Gegensatz zu Wechselstromfreileitungen treten in der Nähe von HGÜ-Freileitungen auch statische elektrische Felder auf, die bisher wenig erforscht sind. Es wird auch verstärkt zur Ionisierung von Luftpartikeln kommen. Beide Phänomene müssen in naher Zukunft verstärkt erforscht werden.

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. Von 35 geplanten Projekten in acht Themenfeldern laufen sieben und drei sind abgeschlossen (Stand Ende 2018). Die Beschreibung des Forschungsprogramms kann auf der Seite des BfS eingesehen werden: www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

II. Natürliche Strahlenexposition

1. Arten natürlicher Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es wird zwischen der äußeren und der inneren Strahlenexposition des Menschen unterschieden.

Äußere Strahlenexposition

Zur äußeren Strahlenexposition trägt neben der aus dem Weltall stammenden kosmischen Strahlung die Gammastrahlung bei, die von den in Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht und als terrestrische Strahlung bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um Radionuklide aus der Uran-238-, der Uran-235- und der Thorium-232-Zerfallsreihe sowie das Einzelnuclid Kalium-40. Diese natürlichen radioaktiven Bestandteile des Bodens gelangen über die Nahrungskette und das Wasser letztlich in den menschlichen Organismus und tragen somit auch zur inneren Strahlenexposition bei.

Innere Strahlenexposition

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion von Nahrungsmitteln und Inhalation luftgetragener natürlicher Radioaktivität resultiert eine innere Strahlenexposition. Die Inhalation von Radon-222, das ein gasförmiges Zerfallsprodukt aus der Uran-238-Zerfallsreihe ist, liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition (**Abbildung II. 2-1**). Verantwortlich dafür sind seine kurzlebigen Zerfallsprodukte. Der Beitrag, der durch die Inhalation von Radon-220 (Thoron) und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte zustande kommt, ist dagegen unter den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen gering.

2. Beiträge zur Strahlenexposition

2.1 Kosmische und terrestrische Strahlung

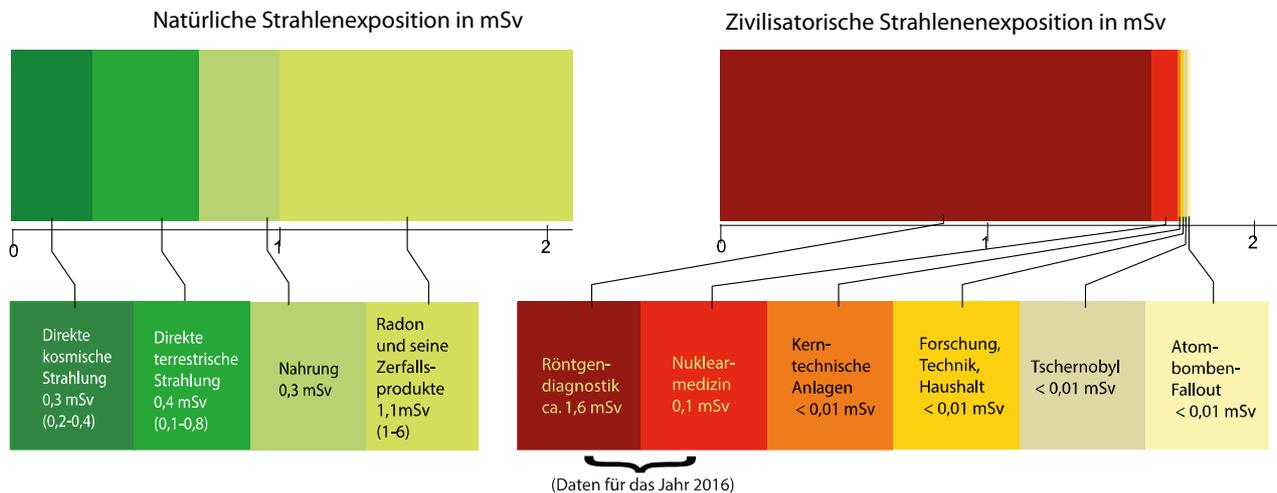
Die Strahlung, die die Erdatmosphäre aus dem Kosmos trifft (hauptsächlich Protonen), löst sekundäre kosmische Teilchen- und Gammastrahlung aus. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,24 mSv und nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1 500 m Höhenzunahme). Die Neutronenkomponente der sekundären kosmischen Strahlung verursacht in Höhe des Meeresspiegels nur eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,03 mSv. Die Dosisrate der Neutronenkomponente steigt mit zunehmender Höhe jedoch stark an und beträgt in üblichen Reiseflughöhen das Tausendfache. Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis aus der kosmischen Strahlung an der Erdoberfläche etwa 0,3 mSv (**Abbildung II. 2-1**).

Die durch die terrestrischen Radionuklide verursachte äußere Strahlenexposition ist auf den Gehalt der Böden, der Gesteine und vor allem der Baumaterialien an den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumzerfallsreihe sowie an Kalium-40 zurückzuführen. Im Freien auf nicht versiegelten Flächen ist sie vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu ca. 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden dort für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung 57 nSv/h bestimmt (Photonen-Äquivalentdosisleistung, Nanosievert pro Stunde, siehe Anhang). Höhere Werte, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

Abbildung II. 2-2 zeigt als Maß für die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien die Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe in der Bundesrepublik Deutschland. Abgesehen von den unterschiedlichen Gehalten an terrestrischen Radionukliden spiegelt sie auch die mit der Höhe zunehmende kosmische Strahlung wider. Die terrestrische Strahlung trägt im Mittel 40 nSv/h, die kosmische Strahlung 32 nSv/h zur effektiven Dosis bei. Bei einem mittleren Aufenthalt von 5 Stunden pro Tag im Freien ergibt die Summe dieser beiden Werte pro Jahr im Mittel 0,13 mSv.

Abbildung II.2-1

Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2018, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)



In urbanen Gebieten wird die terrestrische Strahlung im Freien überwiegend durch den Gehalt an Radionukliden in den Materialien verursacht, die zum Straßen- und Häuserbau verwendet worden sind und nur zu einem geringen Teil durch den Radionuklidgehalt in Böden oder Gesteinen.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition durch den Gehalt an Radionukliden in den verwendeten Baustoffen bestimmt (Abschnitt II.3.2). Bei einem Wertebereich von 20 bis 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h. Dies entspricht einer effektiven Dosis von 56 nSv/h (die verschiedenen Dosisgrößen sind im Anhang kurz erläutert). Zusammen mit der kosmischen Komponente von 26 nSv/h ergibt dies bei einem mittleren Aufenthalt von 19 Stunden pro Tag in Gebäuden pro Jahr im Mittel 0,57 mSv. Addiert man zu diesem Wert die Strahlenexposition im Freien (0,13 mSv), erhält man als Mittelwert 0,7 mSv für die gesamte äußere Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen. Dazu tragen die Radionuklide im Boden und in Baumaterialien 0,4 mSv bis 0,5 mSv und die kosmische Strahlung 0,3 mSv bei (Abbildung II. 2-1).

2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien, Industrieprodukten und im Bergbau

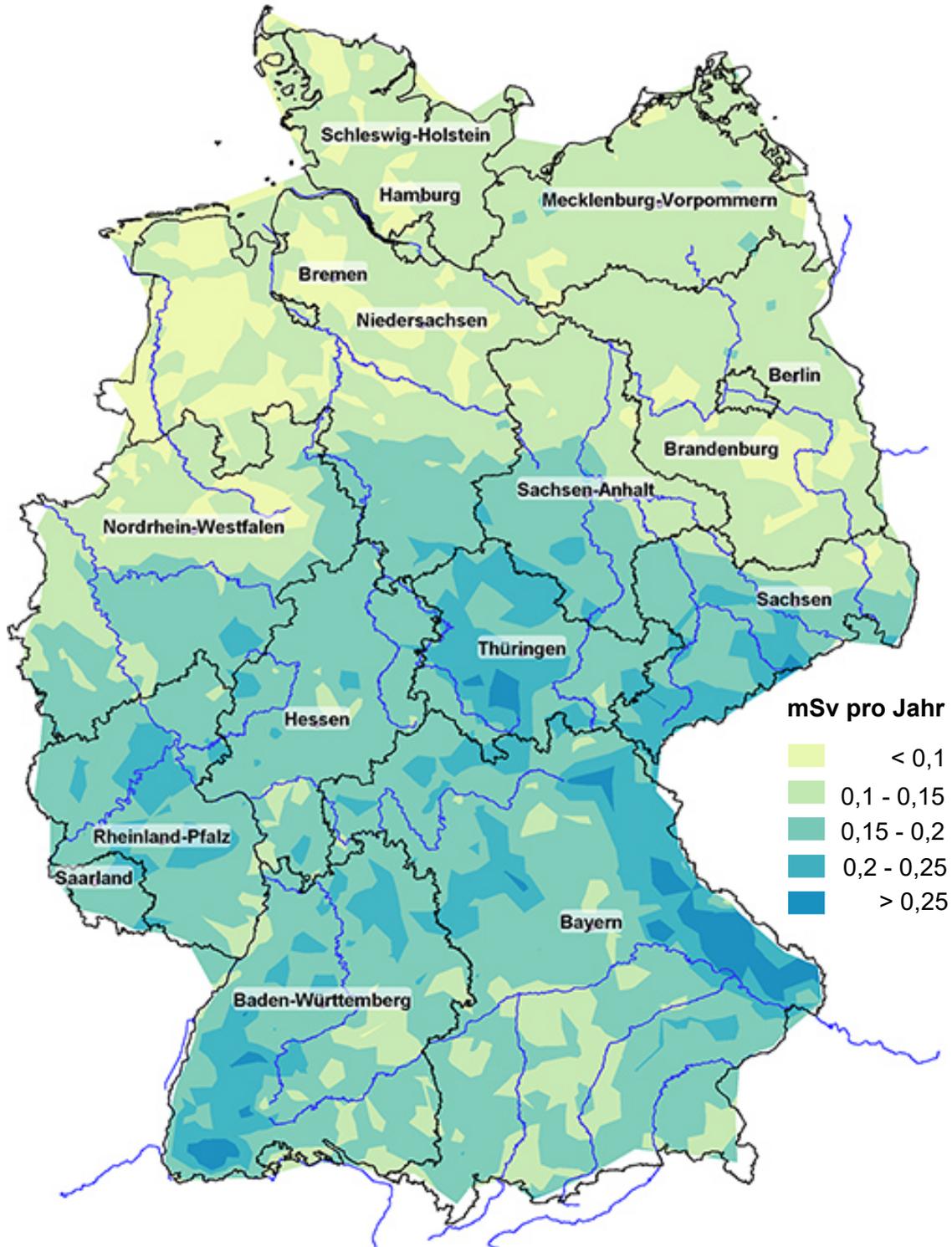
Wegen des hohen Dosisbeitrags (siehe Abschnitt I.1) ist das durch radioaktiven Zerfall aus Ra-226 entstehende Rn-222 aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen mineralischen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentration in Wohnungen (siehe Abschnitt II.2.4) sind.

Vor dem Hintergrund der neuen Euratom-Grundnormen zum Strahlenschutz und den Regelungen zu der von Baustoffen ausgehenden Gammastrahlung wurde in einem Projekt in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V. (bbs) die Radionuklidkonzentration und Radonexhalation von über 100 in Deutschland aktuell üblichen, repräsentativen Innenraumprodukten untersucht. Die Spannweite der Ergebnisse der massenspezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (www.bfs.de/DE/mediathek/berichte/umweltradioaktivitaet/umweltradioaktivitaet.html) zusammengefasst.

Örtlich können auch Hinterlassenschaften des Bergbaus und der Industrie, die erhöhte Gehalte an Radionukliden der Uran-Radium-Zerfallsreihe – in einigen Fällen auch der Thorium-Zerfallsreihe – aufweisen, zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide beitragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Hinterlassenschaften des ehemaligen Uranbergbaus und der -verarbeitung in Sachsen und Thüringen, bei denen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durchgeführt werden. Über die dabei unvermeidlichen Ableitungen natürlicher Radionuklide, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden erfolgen, und die dadurch verursachten Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt III.4.

Abbildung II.2-2

**Externe Strahlenexposition im Freien im Jahr 2018 in Deutschland
beim Aufenthalt von täglich 5 Stunden
(abgeleitet aus der Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe)**



0 50 100 150km

Daten aus dem Messnetz des Bundes (IMIS)
Bundesamt für Strahlenschutz

2.3 Nahrungsmittel und Trinkwasser

Die innere Strahlenexposition durch Ingestion von Nahrungsmitteln wird überwiegend durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, der zu einem bestimmten Anteil aus Kalium-40 besteht. Er ist auf Grund spezieller biologischer Regelmechanismen weitgehend konstant und variiert kaum mit der Nahrungsaufnahme. Der durchschnittliche Kalium-40-Gehalt im Körper eines Erwachsenen beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis in Höhe von 0,17 mSv.

Für die übrigen Radionuklide hängt die innere Strahlenexposition von der Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung ab und wird entsprechend ermittelt. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2008⁷ abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt. Um eine genauere Dosisabschätzung durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung in Deutschland zu erhalten, beteiligt sich das BfS gegenwärtig an der vom BfR durchgeführten ersten deutschen MEAL-Studie. Die Studie ist auf sieben Jahre angelegt (2014 bis 2021) und bildet 90 % der in Deutschland verzehrten Lebensmittel ab. Im Trinkwasserbereich führte das BfS von 2003 bis 2008 eine Studie zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in Deutschland durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser durch. Aus den Daten der Studie wurden auf Grundlage der damals gültigen Fassung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001, siehe Anhang) mittlere Werte der Strahlenexposition (Ingestionsdosis) für den Erwachsenen von etwa 0,009 mSv pro Jahr und für den Säugling von etwa 0,05 mSv pro Jahr berechnet. Weitere Ergebnisse dieses Messprogramms finden sich im Parlamentsbericht für das Jahr 2009 und im Abschlussbericht⁸.

2.4 Radon in Gebäuden

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m³. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte in Räumen von bis zu 10 000 Bq/m³ festgestellt. Statistisch zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 16 % pro 100 Bq/m³. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und die Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist.

Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft sind grundsätzlich zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Ab dem Inkrafttreten des modernisierten Strahlenschutzrechts am 31.12.2018 sind Maßnahmen zum Schutz vor Radon bei Neubauten verbindlich geregelt. Bei der Bauausführung ist besonderes Augenmerk auf die konvektionsdichte Verbindung der einzelnen Elemente des Feuchteschutzes sowie die fachgerechte Abdichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen zu legen.

Ausführlicheres Datenmaterial auch in Form von Tabellen ist den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (www.bfs.de/DE/mediathek/berichte/umweltradioaktivitaet/umweltradioaktivitaet.html) zu entnehmen.

3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition

3.1 Äußere und innere Strahlenexposition

Wie im [Abschnitt II.2.1](#) dargestellt, beträgt der Mittelwert für die äußere Strahlenexposition mit Beiträgen für den Aufenthalt im Freien und in Häusern 0,7 mSv pro Jahr. Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. In der Summe ergibt sich in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. [Abbildung II. 2-1](#) zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis

⁷ United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I, www.unscear.org/unscear/en/publications.html

⁸ 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

der Bevölkerung. In Anbetracht der Variationsbreite der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis im Mittel in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR- Report 2008⁷ wird für die durchschnittlichen Verhältnisse weltweit ein Wert von 2,4 mSv angegeben.

Vor allem das Rn-222, das aus dem Baugrund in die Gebäude gelangt, und die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien sind Ursachen der bereits genannten Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition. Weitere Informationen dazu und auch zu den Möglichkeiten, die dadurch verursachten Strahlenexpositionen zu begrenzen, werden in den folgenden Abschnitten, [Abschnitt II.3.2](#) und [Abschnitt II.3.3](#), gegeben.

3.2 Baumaterialien

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.

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/m³ liegt. 20 Bq/m³ 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.

Die Ergebnisse des aktuellen Untersuchungsprogramms des BfS zur Radioaktivität von Baustoffen für Innenräume in Deutschland haben gezeigt, dass deren Beitrag zur externen Strahlenexposition in der Regel deutlich kleiner ist als der von der EU dafür vorgesehene Bewertungsmaßstab von 1 mSv pro Jahr. Wie aus früheren Messungen bekannt zeigen Gips, Kalksandstein, Porenbeton, Mörtel, Putz und Estriche ausnahmslos niedrige spezifische Aktivitäten für die relevanten Radionuklide. Etwas höhere Werte sind erwartungsgemäß bei Baustoffen auf Basis von Ton (Ziegel) und bei Leichtbeton infolge des Einsatzes von Bims beobachtet worden. Für diese sind in Einzelfällen auch Strahlenexpositionen von über 1 mSv/a nicht ausgeschlossen.

In Übereinstimmung mit den Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes werden künftig auch in Deutschland Regelungen getroffen, um nicht nur die Strahlenexposition durch Zusätze bestimmter industrieller Rückstände auf Werte unterhalb 1 mSv/a, sondern auch den Beitrag bereits natürlicherweise in den Ausgangsstoffen vorhandener Radioaktivität zu begrenzen.

3.3 Radon

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen. Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauproduktrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wurde die Radonabgabe von in Deutschland aktuell üblichen Produkten in einem Projekt untersucht.

Generell von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Innenräumen ist in Deutschland das in Wasser gelöste Radon, welches bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird.

Das aus den epidemiologischen Studien abgeleitete zusätzliche Lebenszeitrisiko in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken, beträgt im Alter von 75 Jahren $0,6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m³ Radonkonzentration, d. h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. $15 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m³ für Raucher. Das Risiko für Ex-Raucher in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit bis zum 75. Lebensjahr an Lungenkrebs zu erkranken liegt dazwischen und verringert sich mit zunehmender Abstinenzdauer. Die Radonkonzentration, die mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisiko von 1 pro 100 oder 1 pro 1 000 einhergeht, beträgt für kontinuierliche Raucher (eine Schachtel Zigaretten pro Tag) dementsprechend 67 Bq/m³ bzw. 6,7 Bq/m³ für kontinuierliche Raucher (1 Schachtel pro Tag) und 1 670 Bq/m³ bzw. 167 Bq/m³ für lebenslange Nichtraucher.

III. Zivilisatorische Strahlenexposition

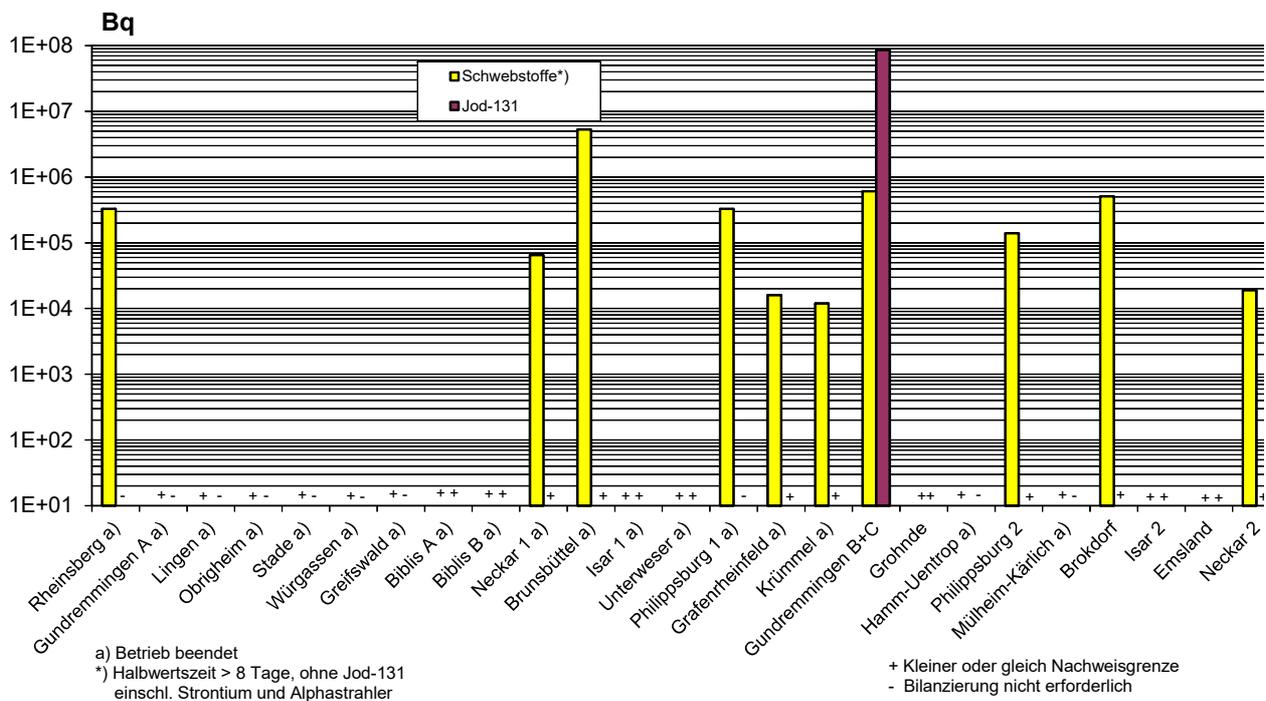
1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe

Ausführlicheres Datenmaterial auch in Form von Tabellen ist den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen. Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachanlage Asse II für das Jahr 2018 sind dort getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2018 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden (Kernkraftwerke: Abbildungen III. 1-1, III. 1-2 und III. 1-3; Forschungszentren: Abbildungen III. 1-4 und III. 1-5; Morsleben und Asse: Abbildung III. 2-2).

Abbildung III.1-1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018
Schwebstoffe und Jod-131**



Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in [Abschnitt III.1.2](#) zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt (siehe Übersicht in den Jahresberichten des BMU zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“⁹. Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden im Strahlenschutzbericht des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/strahlenschutzberichte/).

⁹ ec.europa.eu/energy/en/radiation-protection-publications

Abbildung III.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2018
(C-14)O₂, Tritium und Edelgase**

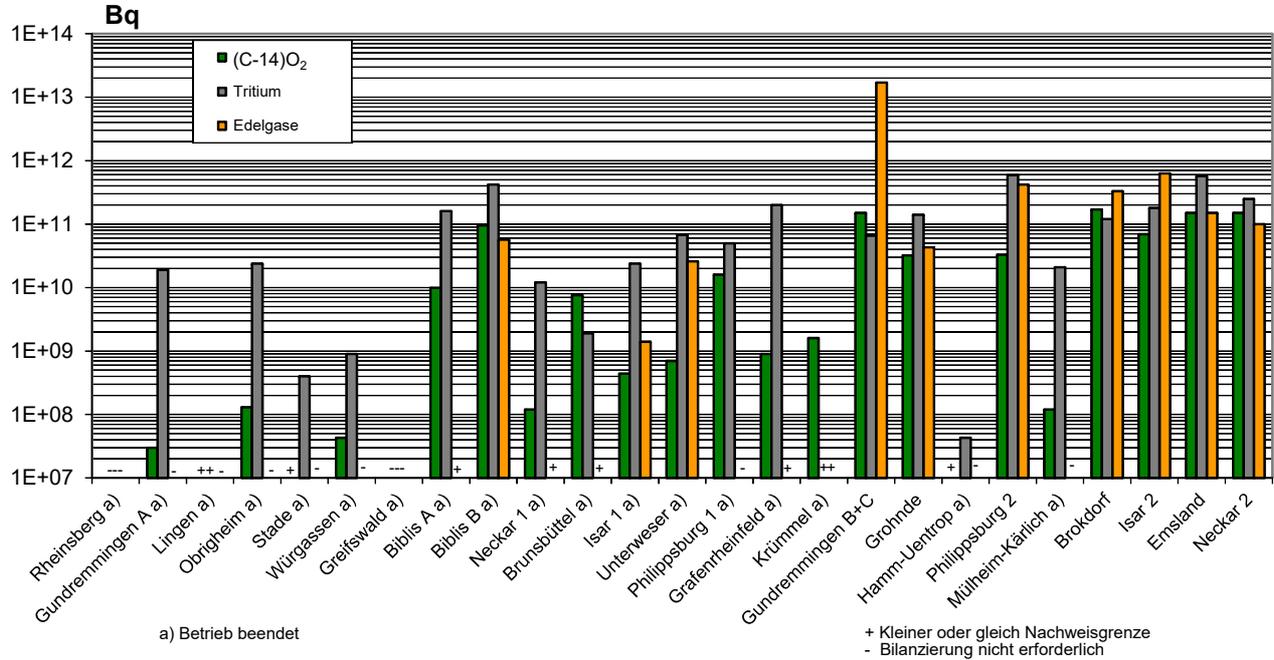
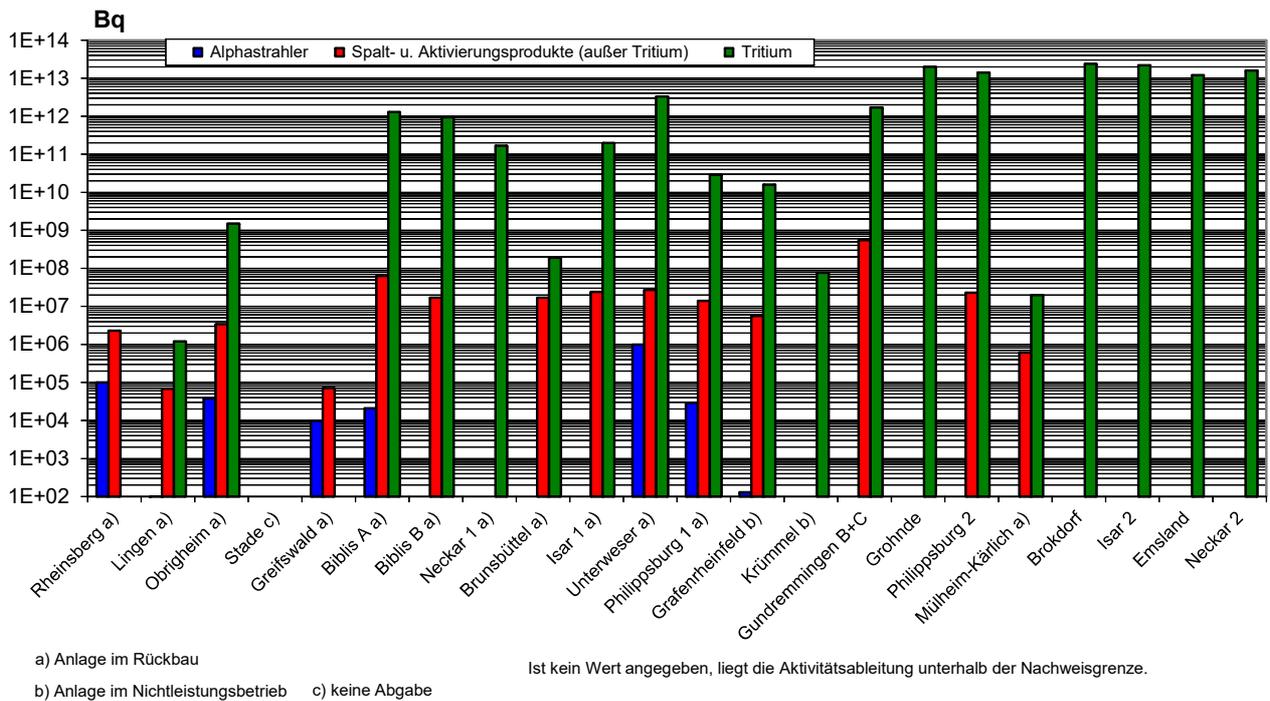


Abbildung III.1-3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2018
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

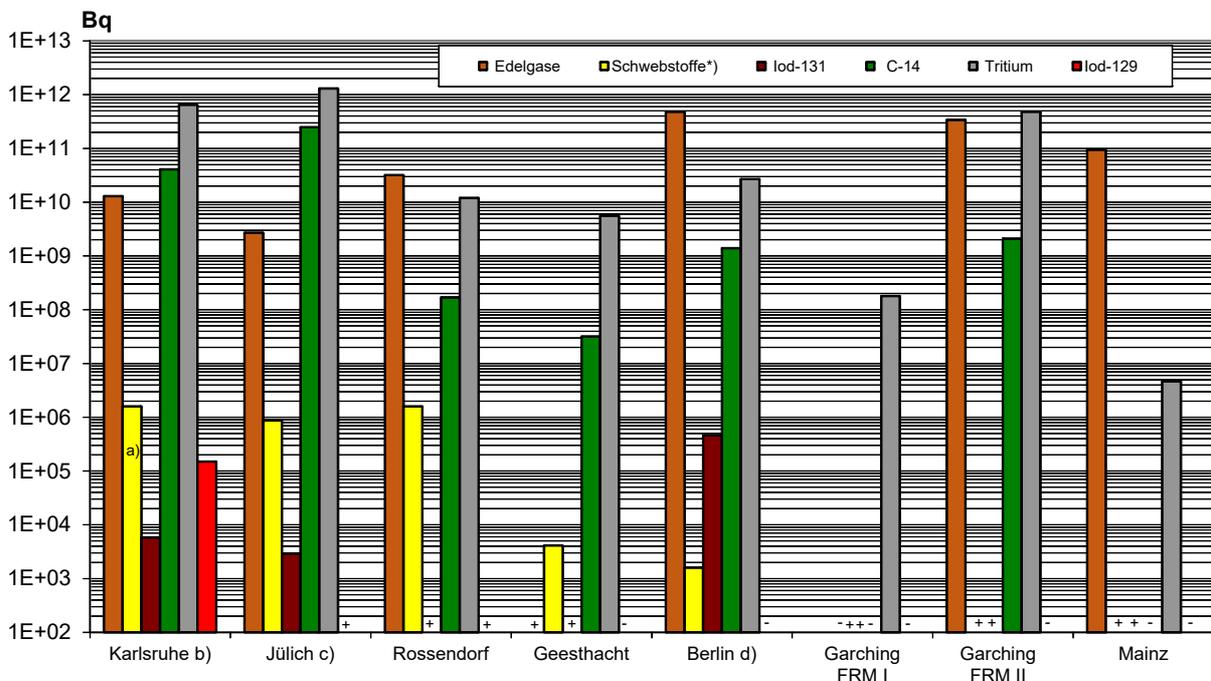


Die für das Jahr 2018 ermittelten Daten über die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt. Beim Endlager Morsleben und bei der Schachtanlage Asse II wurde für die Fortluft das Partikelmodell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell) zur Ausbreitungsrechnung sowie das verbesserte Modul DARTM zur Dosisberechnung verwendet.

C-14 (Kohlenstoff-14) wird in [Abbildung III. 1-2](#) als chemische Verbindung Kohlenstoffdioxid angegeben, hauptsächlich, weil Kohlenstoffdioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders aus 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 2018 beträgt an den in [Abbildung III. 1-2](#) aufgeführten Standorten etwa $2,0 \cdot 10^{12}$ Bq.

Abbildung III.1-4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2018 Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, C-14, Tritium und Edelgase



a) davon Alphastrahler: $1,3 \cdot 10^5$ Bq
 b) einschließlich Wiederaufbereitungsanlage
 c) einschließlich Versuchsreaktor AVR
 d) einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

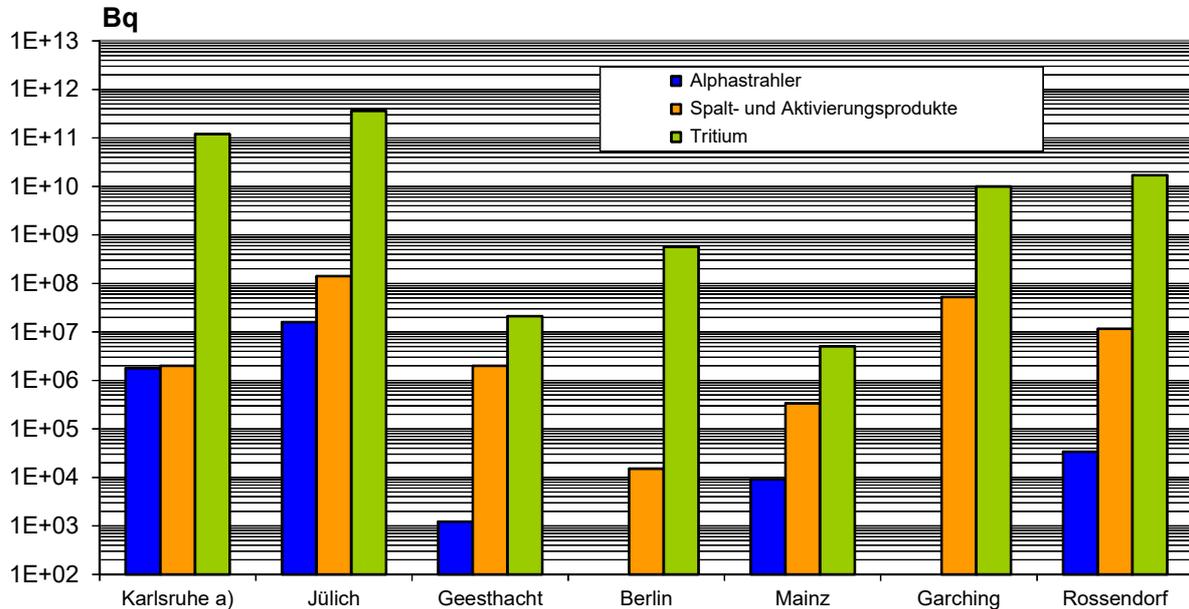
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
 + kleiner oder gleich Nachweisgrenze
 - Bilanzierung nicht erforderlich

1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Abbildungen [III. 1-6](#), [1-7](#), [1-8](#) und [III. 2-3](#) angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen sowie für das Endlager Morsleben und die Schachtanlage Asse stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Absatz 2 StrlSchV 2001 für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001, Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen 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 durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Nach der Strahlenschutzverord-

Abbildung III.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2018
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**



a) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze.

nung (StrlSchV2001) darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv, die Schilddrüsendosis höchstens 900 µSv und die Knochenoberflächendosis höchstens 1 800 µSv pro Jahr betragen.

Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Kernkraftwerke

Abbildung III. 1-6 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Als größter berechneter Wert der effektiven Dosis für Erwachsene ergibt sich 1 µSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV 2001) sowie für Kleinkinder 2 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV 2001) jeweils bei den Standorten Neckarwestheim und Biblis. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 2 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV 2001) ebenfalls für Neckarwestheim und Biblis sowie für Gundremmingen. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil etwas angestiegen.

Forschungszentren

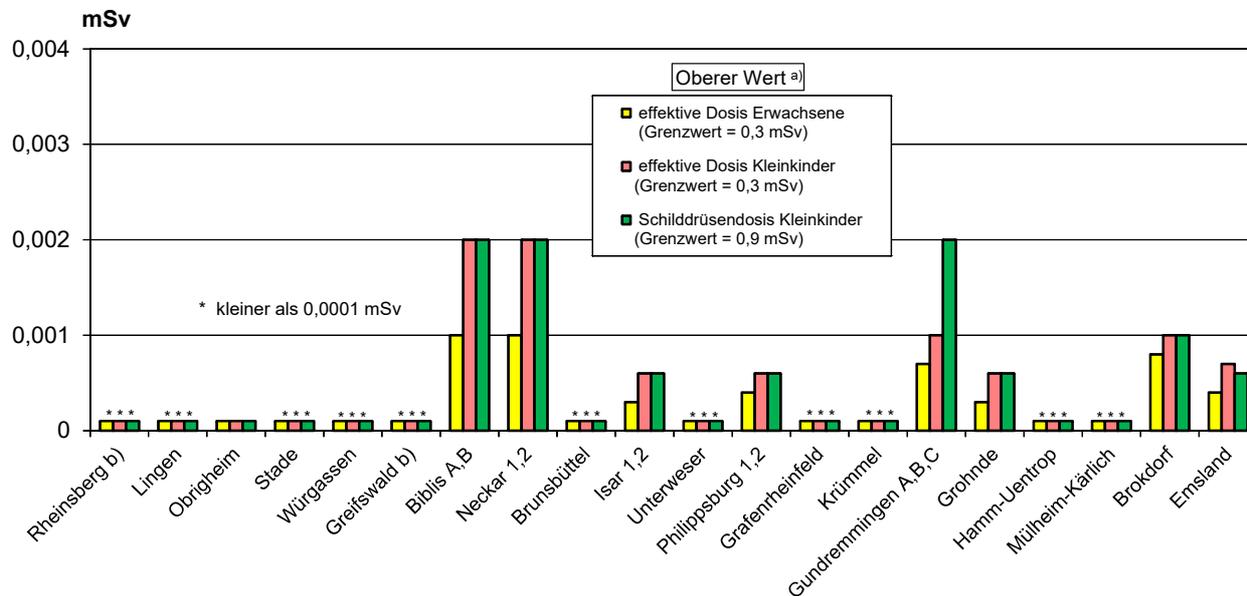
Die in Abbildung III. 1-7 dargestellten Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren stammen teilweise aus den Jahresberichten der Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf und Geesthacht. Die Werte für das Forschungszentrum Garching sind vom BfS errechnet worden. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2018 als höchsten Wert 11 µSv (unter 4 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Jülich sowie 20 µSv (unter 7 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 19 µSv (2 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Jülich.

Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkin-

Abbildung III.1-6

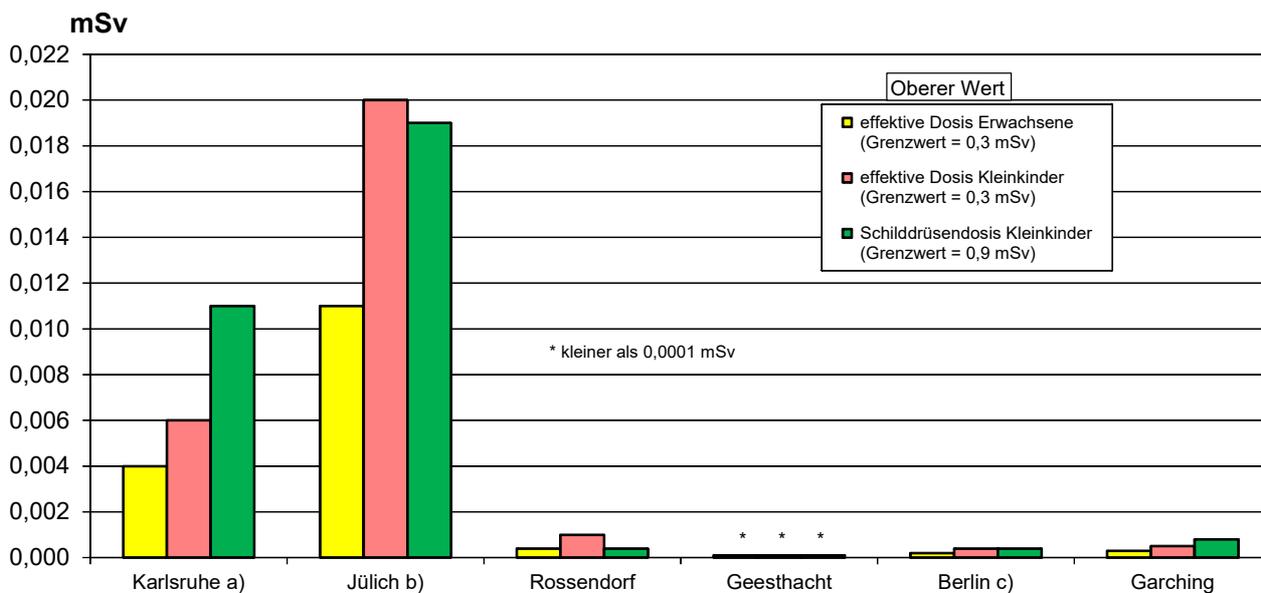
Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



- a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
- b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Abbildung III.1-7

Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

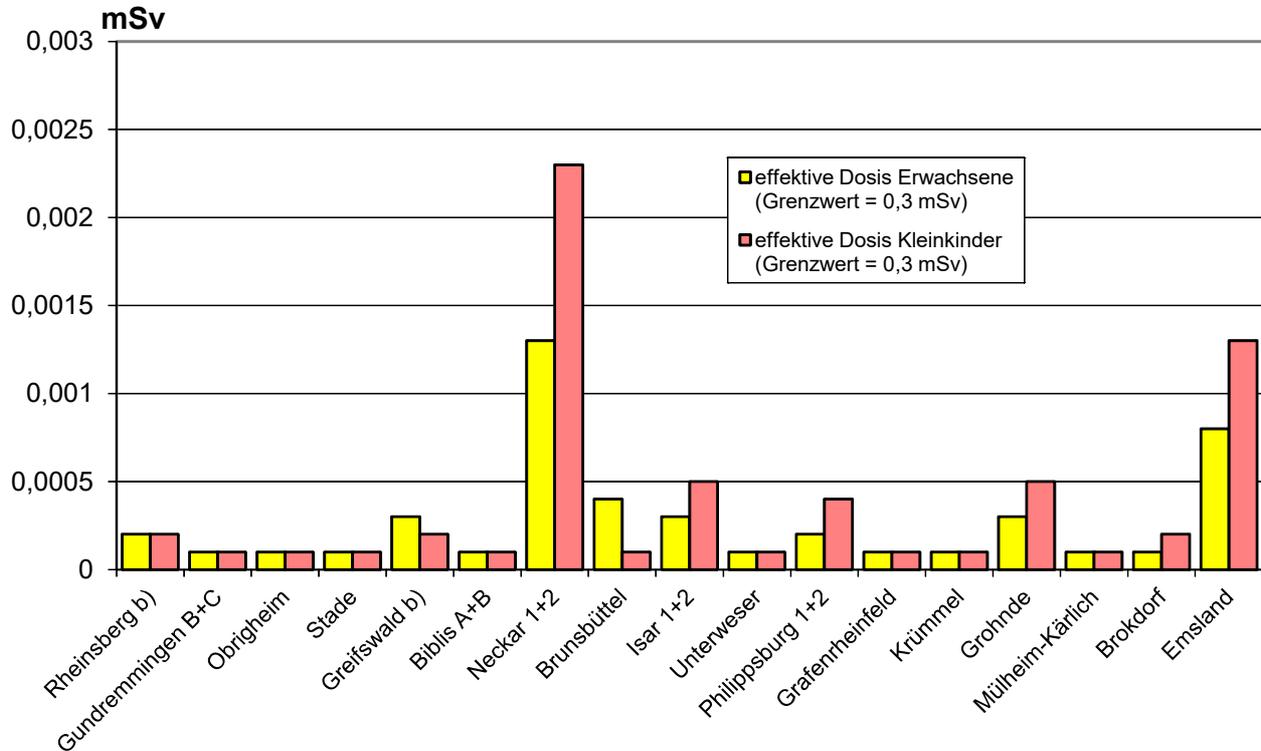


Die Werte für die Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rosendorf, Geesthacht und Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2018 entnommen.

- a) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
- b) einschließlich Versuchsreaktor AVR
- c) einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

Abbildung III.1-8

Strahlenexposition im Jahr 2018 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



der sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft jeweils unter $0,1 \mu\text{Sv}$.

Abwasser

In [Abbildung III. 1-8](#) 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 Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis und der Organdosis für Kleinkinder beträgt $2,3 \mu\text{Sv}$ (entsprechend ca. 0,77 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Neckarwestheim. Der höchste berechnete Wert einer Organdosis beträgt $8,9 \mu\text{Sv}$ und wurde für die Knochenoberfläche der Altersgruppe der 12- bis 17-Jährigen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Greifswald berechnet.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV 2001 wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurde eine effektive Jahresdosis von etwa $0,7 \mu\text{Sv}$ für Erwachsene und $1,1 \mu\text{Sv}$ für Kleinkinder ermittelt; für den Main wurden für beide Personengruppen Werte von weniger als $0,1 \mu\text{Sv}$ und für die Weser von $0,2 \mu\text{Sv}$ für Erwachsene und $0,3 \mu\text{Sv}$ für Kleinkinder berechnet; am Rhein liegen die berechneten effektiven Jahresdosen bei $0,1 \mu\text{Sv}$ und an der Donau bei $0,3$ bzw. $0,5 \mu\text{Sv}$. Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten und auf Ufersediment bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Für die Strahlenbelastung über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2018 in Jülich obere Werte von $20,1 \mu\text{Sv}$ für Kleinkinder. In Karlsruhe und Geesthacht betragen die Werte $< 0,1 \mu\text{Sv}$. Die Angaben stammen aus den jeweiligen Jahresberichten.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder unter 0,1 µSv, der obere Wert der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder liegt in Lingen und in Gronau unter 0,1 µSv.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten oberen Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe liegen wie im Vorjahr auch im Jahr 2018 jeweils unter 0,1µSv.

2. Sonstige kerntechnische Anlagen

2.1 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.

Tabelle IV.2-1 zeigt die gemessene Ortsdosis außerhalb des Geländes der zentralen Zwischenlager (Messwerte der Betreiber). 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 Strahlenexposition 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 III. 2-1 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2018.

Tabelle IV.2-1

Ortsdosis* durch Direktstrahlungen den zentralen Zwischenlagern im Jahr 2018

Zwischenlager	Gamma-Ortsdosis	Neutronen-Ortsdosis
	mSv/a	mSv/a
Transportbehälterlager Ahaus	0,44 (MP3)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 (alle MP, II.HJ)
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,92 (MP15)	0,09 (MP15,21)
Transportbehälterlager Gorleben	0,72 (MP8)	0,34 (MP14)**

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds

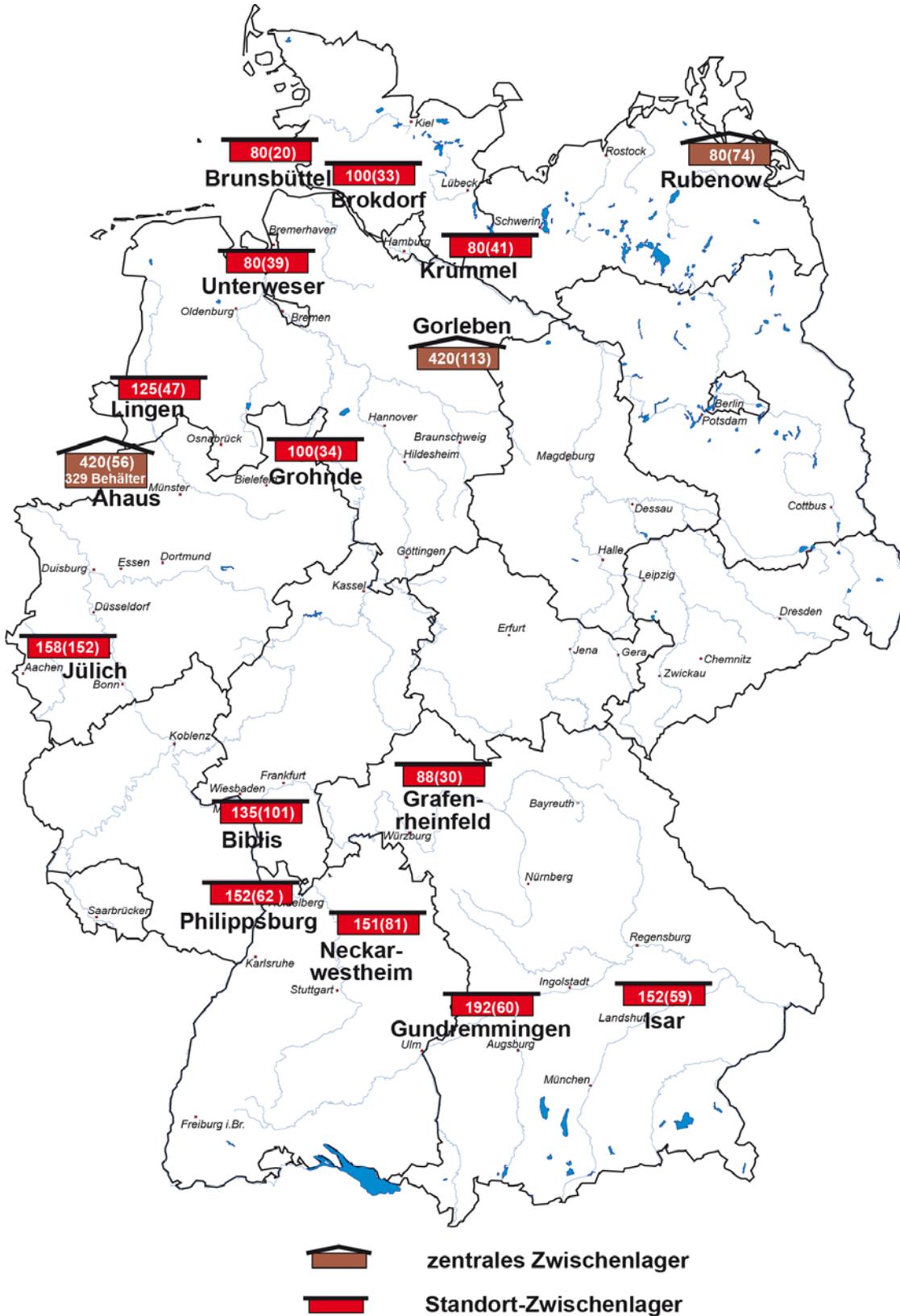
** Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des TBL Gorleben an der Grenze des Betriebsgeländes einschließlich des natürlichen Untergrunds (MP 14 liegt in der Nähe des MP 6 des Betreibers)

MP = Messpunkt, HJ = Halbjahr, < = kleiner Nachweisgrenze

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. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Abbildung III.2-1

Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2018 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2018)



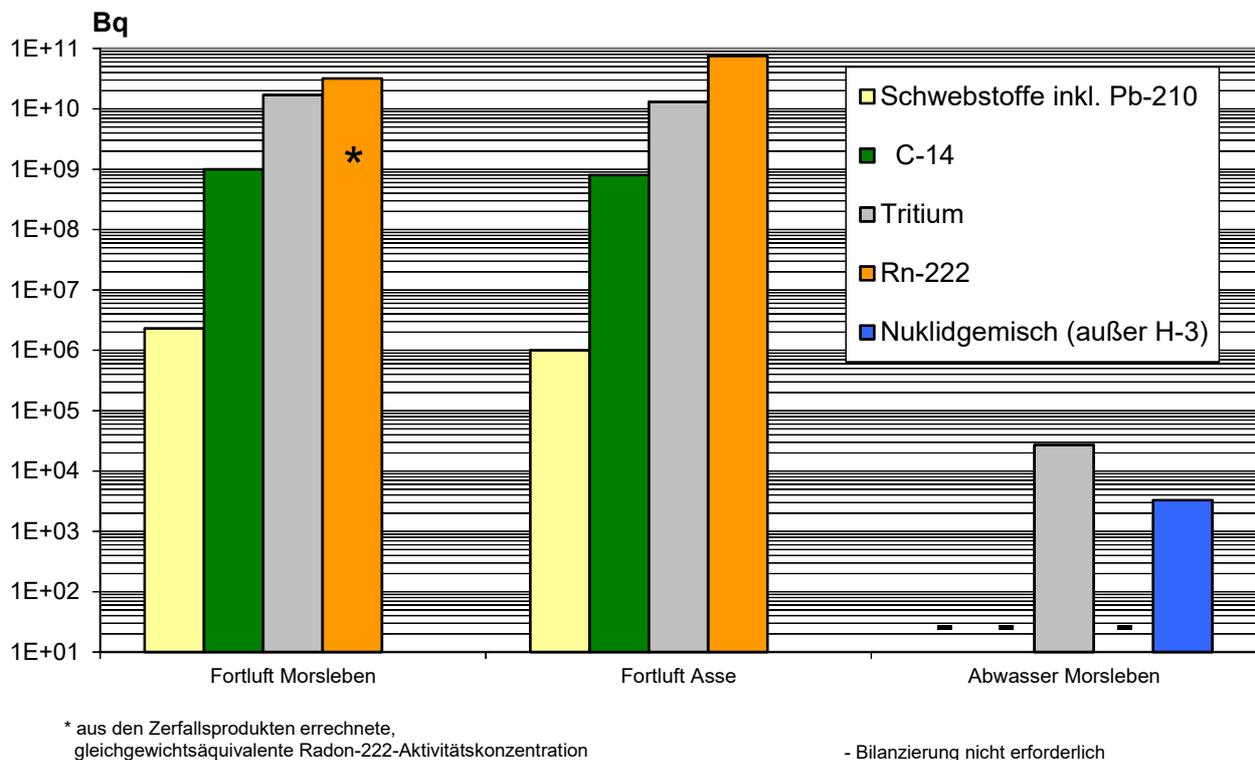
2.2 Endlager

Morsleben

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in [Abbildung III. 2-2](#) dargestellt. Die daraus resultierende Strahlenexposition zeigt [Abbildung III. 2-3](#). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der **Fortluft** ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2018 0,3 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,8 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1 μSv ; dies sind 0,5 %, 0,3 % bzw. 0,1 % des Grenzwertes nach der StrlSchV 2001 von 0,3 mSv. Die Dosis des für alle Altersgruppen kritischen Organs Knochenoberfläche errechnete sich zu 8 μSv für Erwachsene, 8 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 15 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,4 %, 0,4 % bzw. 0,8 % des Grenzwertes von 1,8 mSv). Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2017 unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Abbildung III.2-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse im Jahr 2018



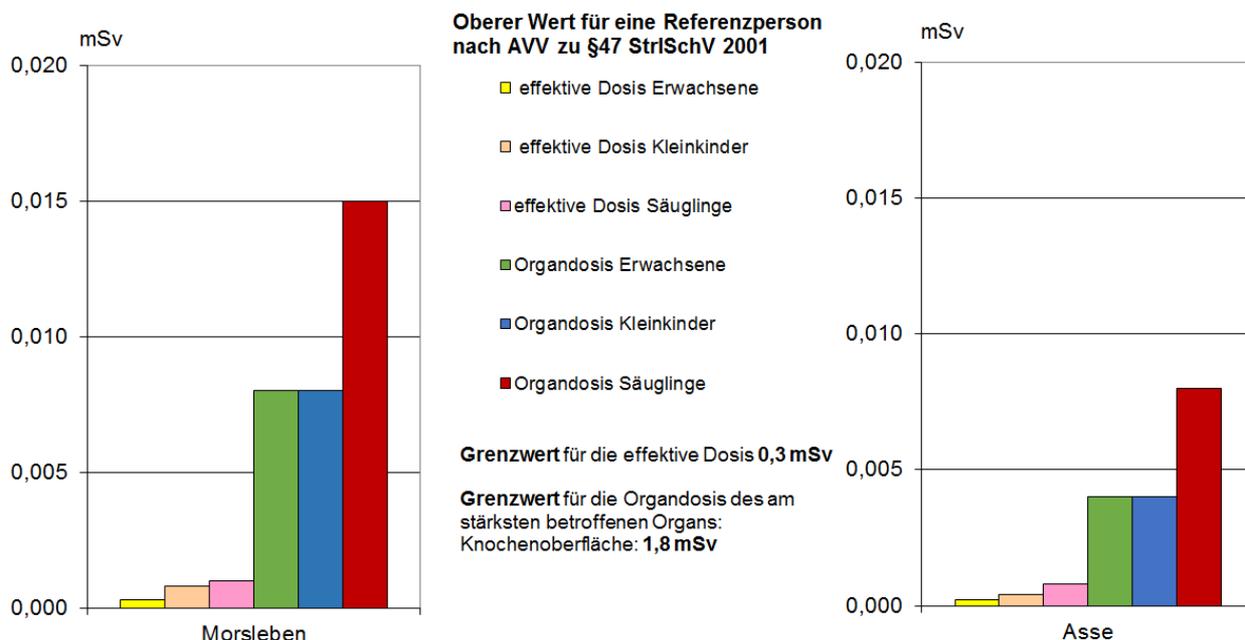
Schachanlage Asse II

Seit 1. Januar 2009 wird die Schachanlage Asse II verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt. In [Abbildung III. 2-2](#) sind die im Jahr 2018 mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse II abgeleiteten radioaktiven Stoffe dargestellt.

Auf Grund der Komplexität des Standorts mit Orografie, zahlreichen Gebäuden in Verbindung mit einer niedrigen Emissionshöhe wurde ab 2015 wie bereits am Standort Morsleben das Lagrange-Modell ARTM angewendet. Bei dieser realistischeren Ausbreitungsrechnung mit ARTM wird eine deutlich größere Kaminüberhöhung simuliert und die konservative Berücksichtigung der Orografie im Gauß-Modell entfällt. Es erfolgten keine Ableitungen über das Abwasser.

Abbildung III.2-3

Maximale Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2018



Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radonfolgeprodukte beträgt im Jahr 2018 für Erwachsene 0,2 μ Sv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,4 μ Sv und für Säuglinge 0,8 μ Sv. (unter 0,1 %, ca. 0,1 % bzw. 0,3 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv). Die Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radon-Folgeprodukte für das kritische Organ Knochenoberfläche wurde mit 8 μ Sv für Säuglinge, 4 μ Sv für Kleinkinder und 4 μ Sv für Erwachsene (ca. 0,4 %, 0,2 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes von 0,3 mSv) ermittelt (Abbildung III. 2-3).

3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen

Die für 2018 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV 2001 berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001) 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 5 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition 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 2018 deutlich unter 10 μ Sv pro Jahr. Die aktuellen Werte für die Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen in tabellarischer Form sind den ausführlichen Jahresberichten des BMU zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-Radium-Zerfallsreihe 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 Immissionüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht. Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit

tigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

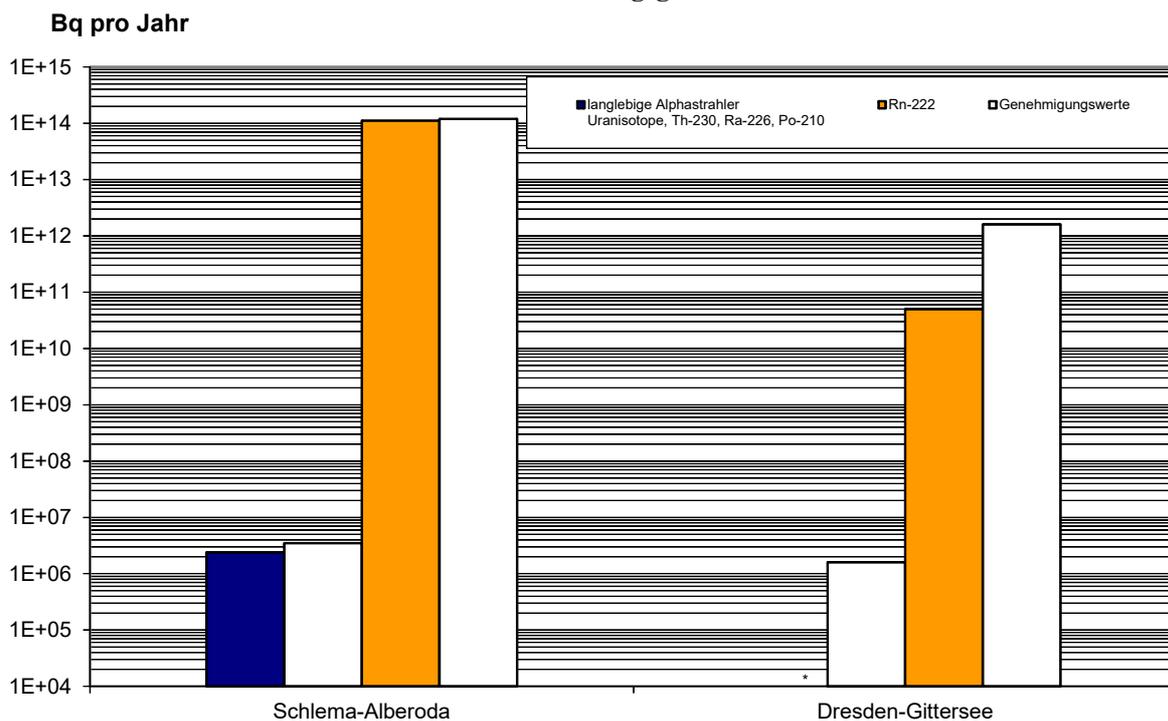
Tabellarische Übersichten über die gemessenen Werte finden sich in den Jahresberichten des BMU zu „Umwelt-radioaktivität und Strahlenbelastung“.

Emissionen

In [Abbildung III. 4-1](#) ist diese Gesamtentwicklung auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. In Schlema/Alberoda liegen die Jahresableitungen von Rn-222 und langlebigen Alpha-Strahlern oberhalb der Vorjahreswerte, da ein weiteres Grubenfeld in den Abwetterstrom eingebunden wurde, um die Radonsituation in darüber gelegenen Häusern zu verbessern. Daher wurde auch der Genehmigungswert erhöht. In Dresden-Gittersee haben sich die Jahresableitungen von Rn-222 gegenüber dem Vorjahr dagegen verringert. Die Messung langlebiger Alphastrahler in Schlema/Alberoda ergab im Vergleich zu 2017 ebenfalls erhöhte Emissionen; in Dresden-Gittersee waren sie wegen zu geringer Konzentrationen nicht mehr bilanzierbar. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und langlebigen Alpha-Strahlern werden jedoch fast vollständig vom Standort Schlema/Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier bis zu 0,5 mSv betragen, was den geltenden Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung deutlich unterschreitet.

Abbildung III.4-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2018

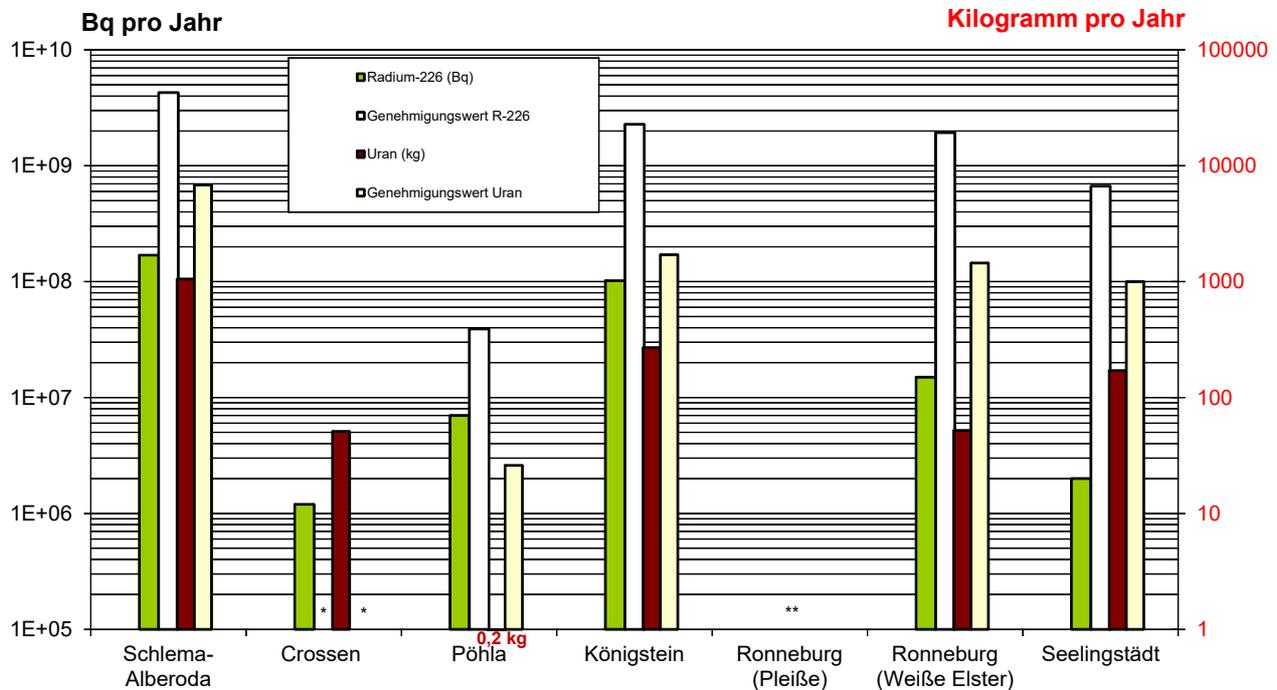


* Emission wegen Konzentrationswerten unterhalb der Nachweisgrenze nicht bilanziert

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in [Abbildung III. 4-2](#) zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die gesamte Abwassermenge ist 2018 gegenüber dem Vorjahr nochmals gesunken 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 Freisetzungen von Uran und Ra-226 sind in ihrer Gesamtmenge und Konzentration geringer als im Jahr 2017. Die Freisetzungen in die Vorfluter Pleiße und Weiße Elbe in Thüringen sowie die Zwickauer Mulde in Sachsen verringerten sich insgesamt deutlich, während die in die Elbe in Sachsen etwas anstiegen, siehe [Abbildung III. 4-2](#). Insgesamt belegen diese Werte die sichere Betriebsweise der weiter optimierten Wasserbehandlungsanlagen. Details zur Errechnung der Genehmigungswerte für flüssige

Abbildung III.4-2

Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2018



* keine Genehmigungswerte, Maximalkonzentrationen für Uran und Radium wurden eingehalten

** keine Ableitungen ab 2018 mehr nach Rückverlegung des Bachs 2017

Ableitungen finden sich in den Jahresberichten des BMU zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,25 mSv/a betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung weit unterschritten wird.

5. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die Erze oder mineralische Rohstoffe verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen oder in technischen Geräten und Einrichtungen besonders an. Dadurch können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben.

Ausführlichere Erläuterungen und eine Tabelle der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität finden sich in den Jahresberichten des BMU zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ im Grundlagenteil, Abschnitt G I 2.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden mit der Strahlenschutzverordnung von 2001 (StrlSchV 2001)) weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV 2001 Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Sie galten ursprünglich ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Seit der Novelle der Strahlenschutzverordnung von 2011 fallen auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen des Teils 3.

Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sowie deren Verbleib werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug der Strahlenschutzaufsicht obliegt, erfasst.

6. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Industrie und Technik sowie im Haushalt

6.1 Industrierzeugnisse und technische Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrierzeugnissen, wie z. B. wissenschaftlichen Instrumenten, elektronischen Bauteilen, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmeldern, Gasglühstrümpfen, Schweißelektroden und keramischen Gegenständen, enthalten sein. Der Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z. B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten gesetzlich festgelegter Aktivitätswerte.

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

Die Strahlenschutzverordnung in der Fassung von 2001 (StrlSchV 2001) regelte den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen und die entsprechende RöV den Einsatz von Röntgengeräten. Das StrlSchG in Verbindung mit der neuen StrlSchV regelt nun ab 31. Dezember 2018 den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen sowie den Einsatz von Röntgengeräten, um sowohl die Arbeitnehmer als auch die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrierzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, ist sehr gering. In der Vergangenheit wurde ein Wert von weniger als 0,01 mSv abgeschätzt.

6.2 Hochradioaktive Strahlenquellen

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) werden in einem zentralen Register erfasst, welches im BfS geführt wird. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Genehmigungs-, Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft sowie Standort aller in Deutschland befindlichen HRQ erhalten können. Ausführlichere Erläuterungen und eine Tabelle zur Entwicklung des Datenbestandes finden sich in den Jahresberichten des BMU zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Bis zum Ende des Jahres 2018 wurden insgesamt 712 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 74 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2018 210 000 Meldungen zu 49 200 registrierten Strahlenquellen über deren Erhalt und Abgabe aufgenommen. Von diesen 49 200 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 30 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da sich ein Großteil dieser Strahlenquellen nicht mehr im Geltungsbereich der deutschen Strahlenschutzverordnung 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.

6.3 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte, oder Vorrichtungen, z. B. Elektronenmikroskope oder Hochspannungsgleichrichter, bei deren Betrieb ungewollt Röntgenstrahlung entsteht, die selbst nicht genutzt wird. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, falls keine Bauartzulassung vorliegt oder sie nach § 5 Absatz 2, 3 oder 4 RöV ausgenommen sind. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt auch 2018 weniger als 0,01 mSv.

6.4 Konsumgüter und sonstige Anwendungen

Die StrlSchV 2001 / das StrlSchG verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen zu bzw. die Aktivierung von bestimmten Produkten wie z. B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse. Sie / es regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige

tige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von diesen Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

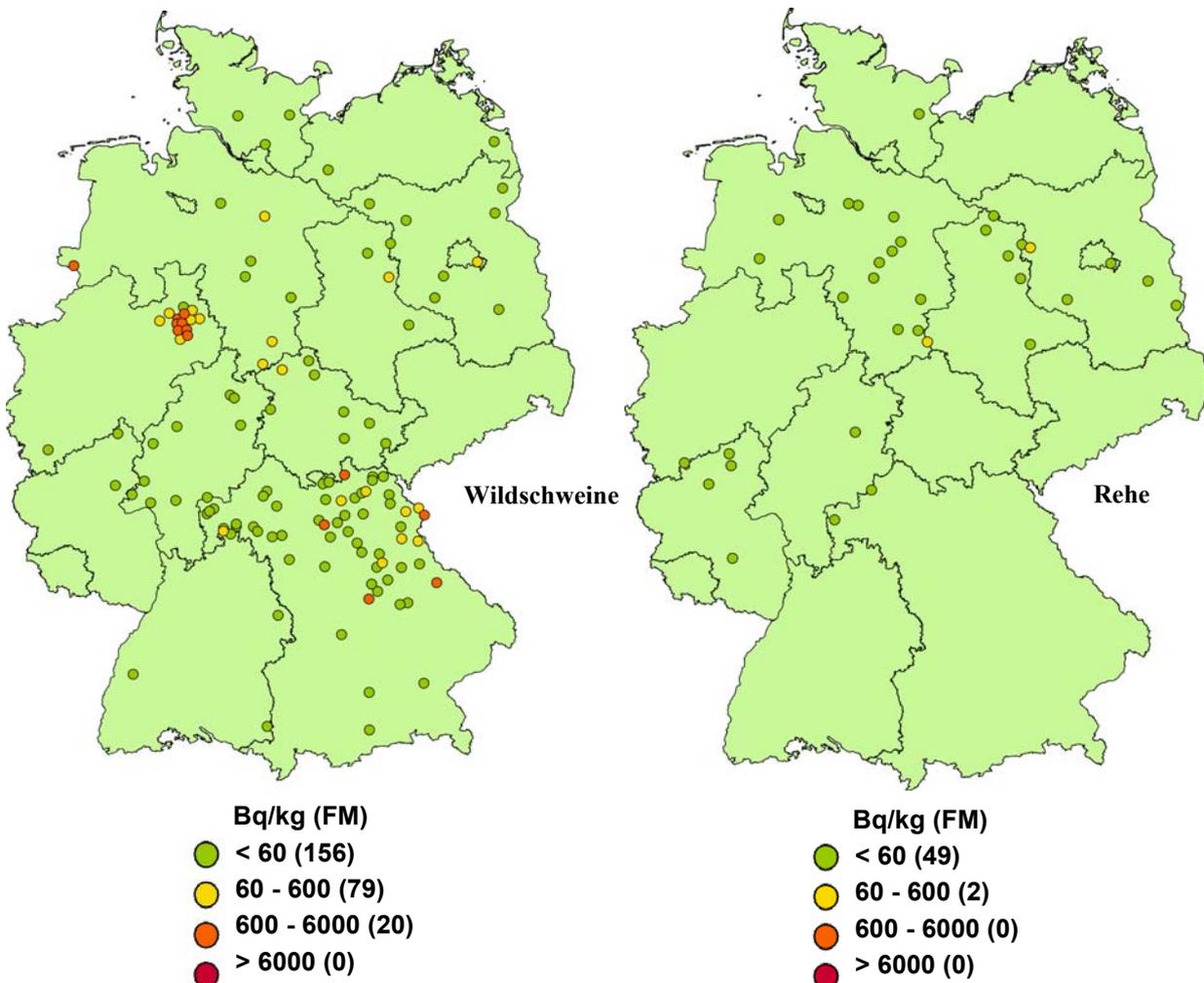
7. Fall-out durch Kernkraftwerksunfälle und durch Kernwaffenversuche

7.1 Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2018 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cäsium-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 47 % 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).

Abbildung III.7-1

**Cäsium-137-Gehalt (Mittelwerte) von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2018
(Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)**



Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit 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 untersucht¹⁰. Dadurch wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt. Nennenswerte Gehalte an Cs-137 finden sich jedoch noch in Pilzen und Wild und vereinzelt bei Fischen. Wildschweinfleisch war im Berichtsjahr mit bis zu 1250 Bq/kg mit Cs-137 belastet, Pfifferlinge bis zu 434 Bq/kg und Flussbarsche bis zu 25 Bq/kg. In **Abbildung III. 7-1** werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Ausführlichere Angaben zu Maximalwerten finden sich in den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

7.2 Fukushima

2018 waren in Deutschland wie schon in der zweiten Jahreshälfte 2011 keine erhöhten Radionuklidaktivitäten aus dem Fukushima-Ereignis mehr nachweisbar. Die Messergebnisse für das Jahr 2011 sind im Bericht der Leitstellen des Bundes zusammengefasst¹¹. Nähere Erläuterungen enthalten die Jahresberichte des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“, Grundlagenteil, G II 1.3.

7.3 Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt. Seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Zuletzt wurden in Nordkorea 2006, 2009, 2013, 2016 und 2017 unterirdische Kernwaffenversuche durchgeführt.

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.

IV. Berufliche Strahlenexposition

1. Zivilisatorische Strahlenquellen

1.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen – mit Ausnahme der kosmischen Strahlung (siehe „2.1 Flugpersonal“) – besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt u. a. m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine Ersatzdosis festsetzen.

Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 6 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitskittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind diese in der folgenden Auswertung berücksichtigt.

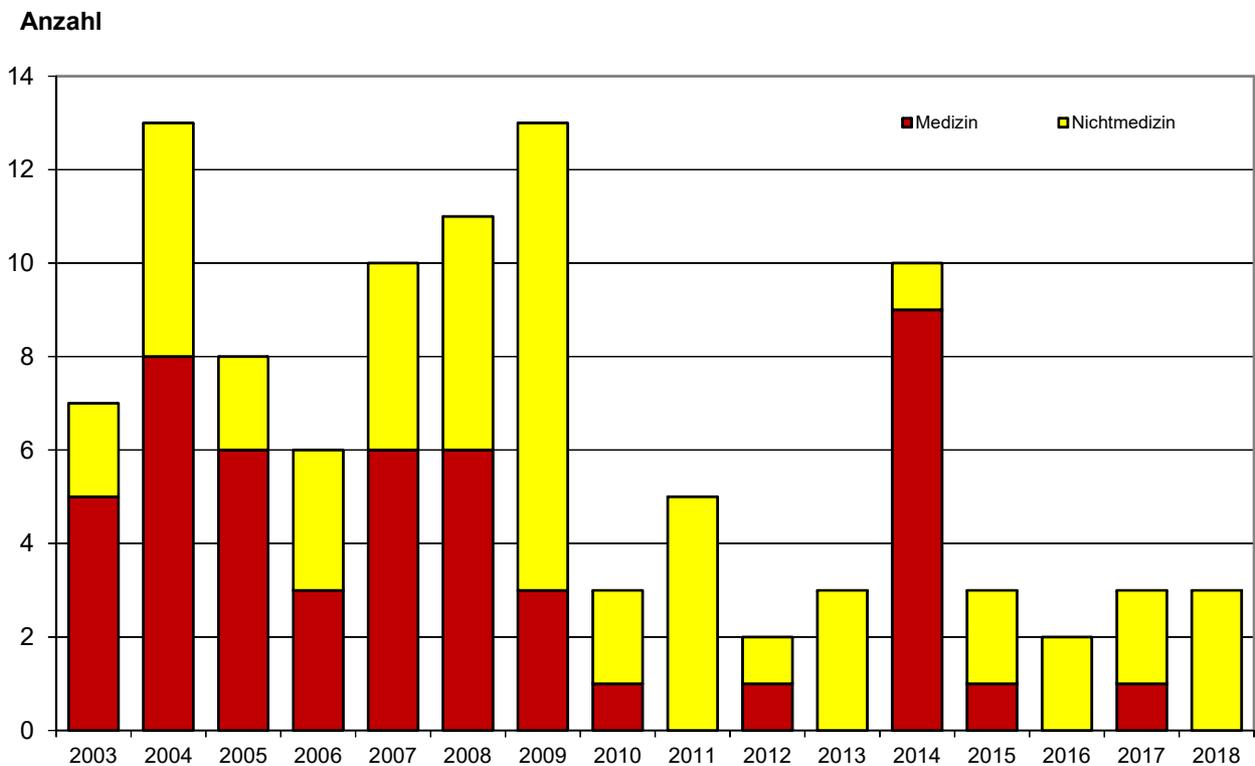
Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis bei den beruflich strahlenschutzüberwachten Personen zu kontrollieren. Im neuen Strahlenschutzrecht sind dies die §§ 77 und 78 StrlSchG (ab 31. Dezember 2018). Der Grenzwert der effektiven Dosis ist dabei gegenüber dem alten Strahlenschutzrecht unverändert und beträgt 20 mSv im Kalenderjahr. Er gilt für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen; ausgenommen sind Jugendliche und

¹⁰ BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2017, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018100516201, Bonn, Oktober 2018

¹¹ BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2011, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201204188048, Bonn, April 2012

Abbildung IV.1-1

Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv



Schwangere, für die strengere Grenzwerte gelten. Der Grenzwert von 20 mSv wurde im Jahr 2018 von drei Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,0008 % (Abbildung IV. 1-1).

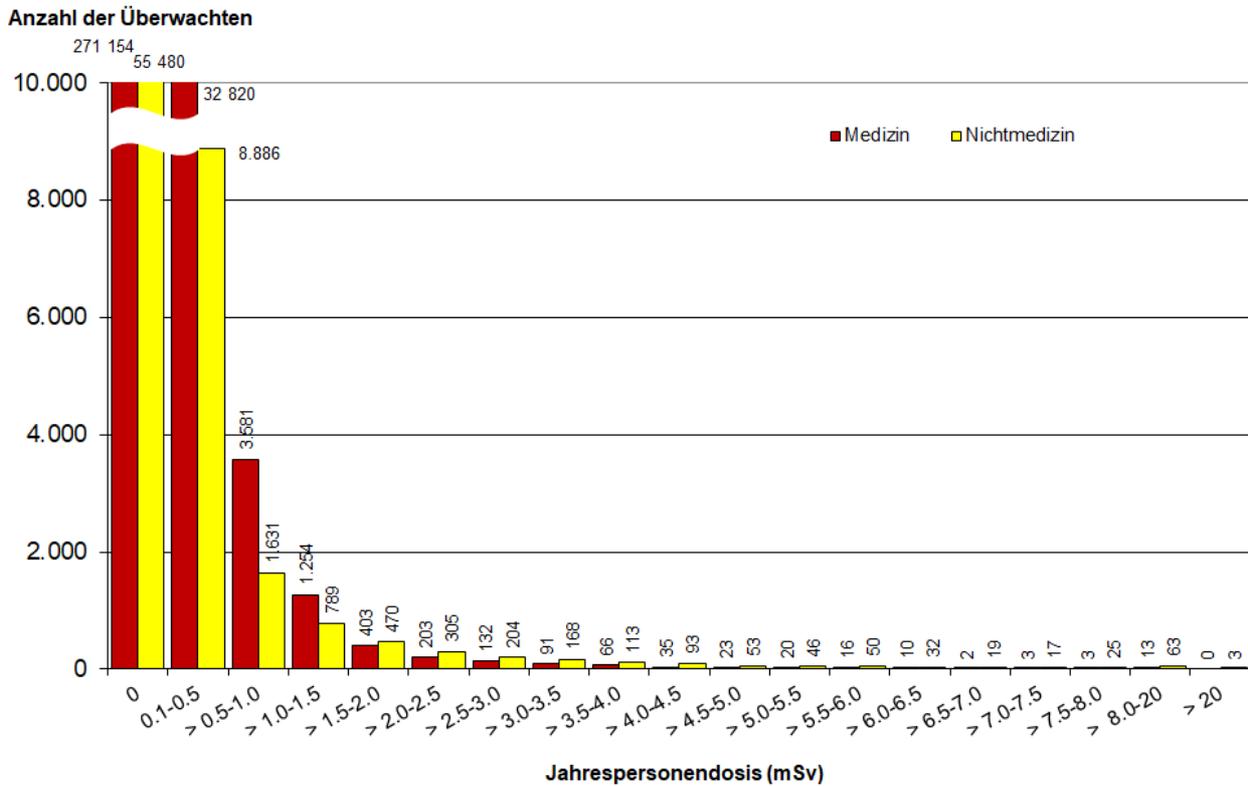
Die Zusammenstellung der Fälle mit Jahrespersonendosen über 20 mSv gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition aller Überwachten vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche externe Strahlenexposition werden dabei subtrahiert. In der [Abbildung IV. 1-2](#) ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen in verschiedenen Dosisintervallen angegeben. Liegt die Strahlenexposition während des ganzen Jahres unterhalb der unteren Erkennungsgrenze für Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv, dann wird von der Messstelle für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Dosiswerte zwischen 0,05 mSv und 0,09 mSv werden auf 0,1 mSv aufgerundet. Dies traf für den größten Teil der überwachten Personen zu. Eine messbare berufliche Strahlenexposition erhielten deshalb nur 14 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2018 betrug 0,06 mSv. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 51 000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,46 mSv (Vorjahr: 0,45 mSv).

Ist vor auszusehen, dass im Kalenderjahr die Teilkörperdosis für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegte Dosiswerte überschreiten kann, so ist die Dosis für diese Körperteile durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2018 für die Hände bei ca. 24 000 Personen durchgeführt. Von diesen 24 000 Überwachten wiesen ca. 7 000 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter). Im Jahr 2018 kam es zu drei Überschreitungen des Grenzwertes für Hände. Diese drei Personen haben den Grenzwert der effektiven Dosis von 20 mSv nicht überschritten.

Abbildung IV.1-2

Verteilung der Jahrespersonendosen der mit Dosimetern überwachten Personen im Jahr 2018



1.2 Beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen

Eine wichtige Teilgruppe der mit Personendosimetern Überwachten ist das Eigen- und Fremdpersonal in kerntechnischen Anlagen, insbesondere in Kernkraftwerken zur Stromproduktion. Grundlage für die folgenden Zeitverläufe sind Erhebungen der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz.

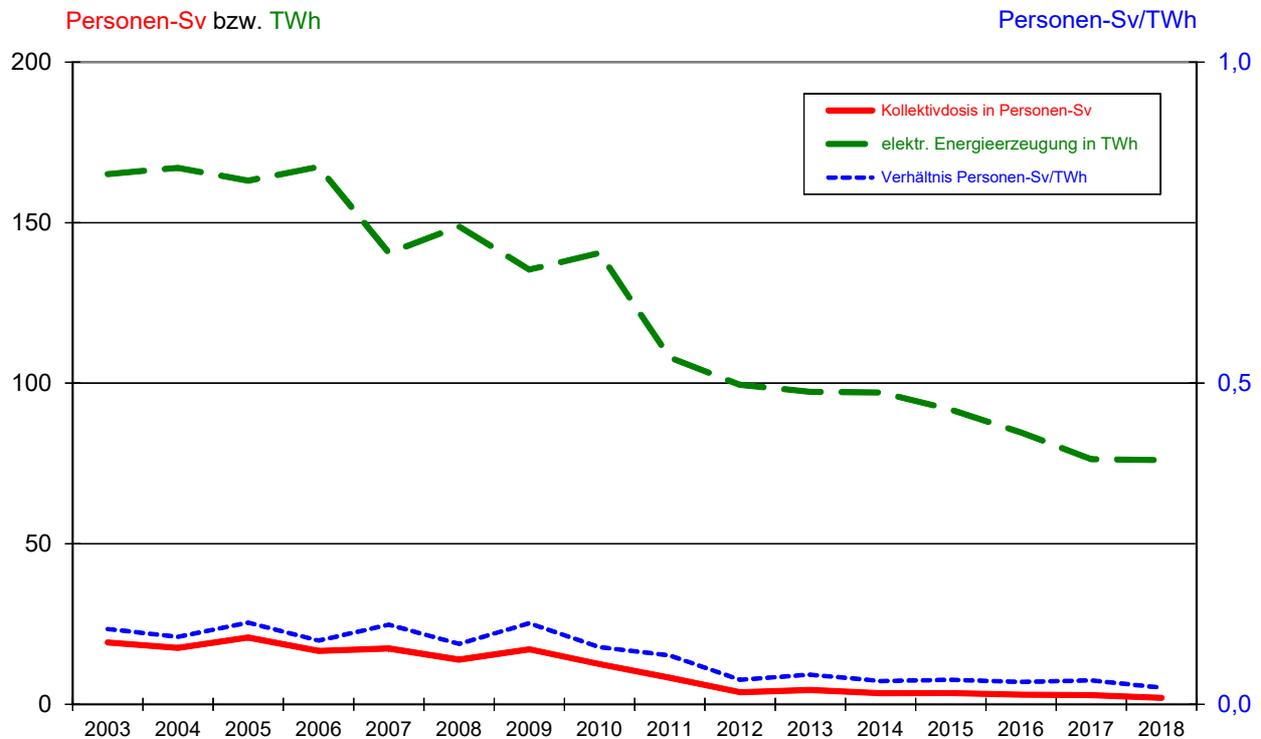
Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Die Werte verringerten sich in den letzten Jahren. Ursache des Rückgangs ist das Abschalten der Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel im Jahr 2011, Grafenrheinfeld im Jahr 2015 sowie Gundremmingen B im Jahr 2017. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2018 bei Beschäftigten in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf. Die Daten für die letzten Jahre sind geschätzt, da eine Zuordnung des Personals zu den in Betrieb befindlichen Reaktoren erst nach Vorlage der aktuellen o. g. GRS-Erhebung möglich ist. Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken sind in [Abbildung IV. 1-3](#) enthalten.

1.3 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Von den Inkorporationsmessstellen wurden 1355 Personen im Jahr 2018 (Vorjahr: 1324) überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,06 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation lag bei 16 mSv. Von den 1355 Überwachten hatten lediglich 86 Personen Dosiswerte oberhalb der Nachweisgrenze.

Abbildung IV.1-3

Erzeugte Energie, Kollektivdosis und Dosis pro Energie



2. Natürliche Strahlenquellen

2.1 Flugpersonal

Mit der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 wurden die Anforderungen der Richtlinie 96/29 Euratom in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch fliegendes Personal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition, ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter.

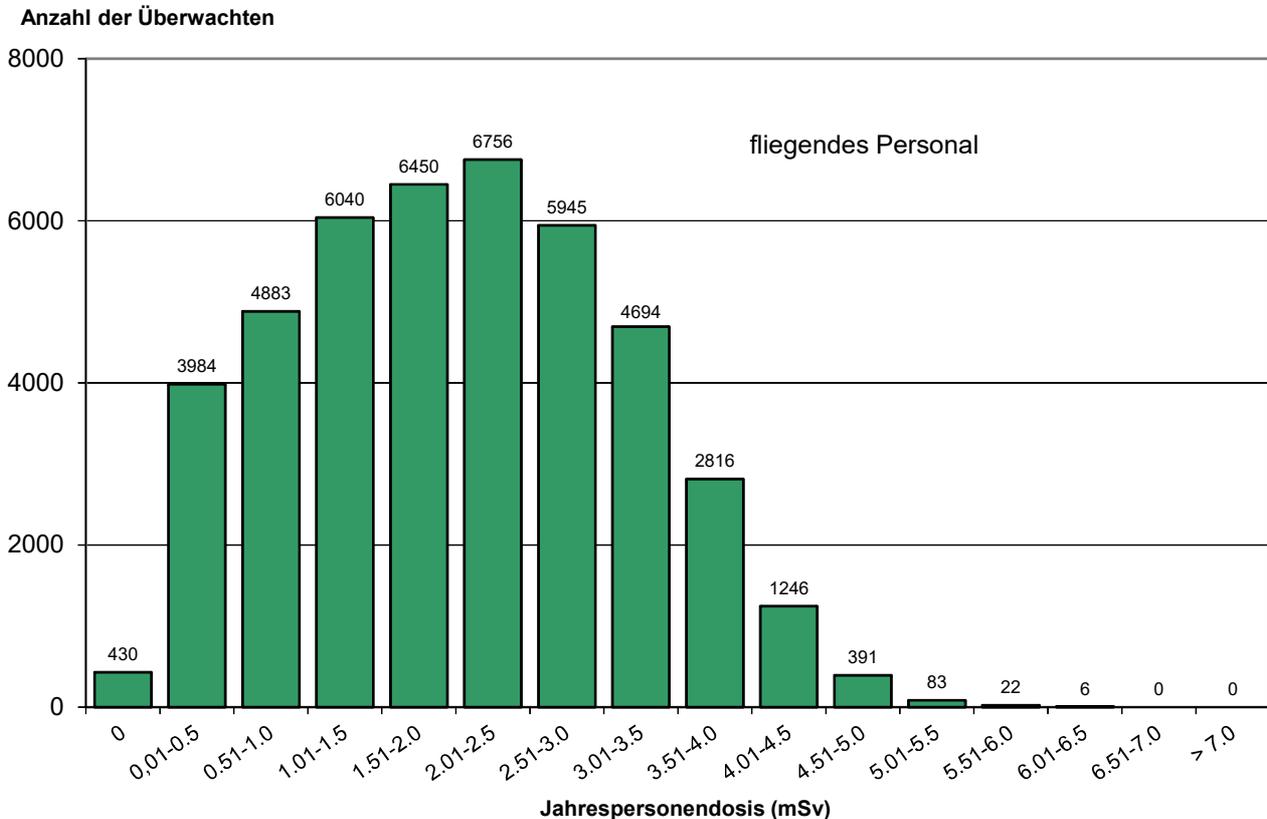
In Deutschland wurden im Jahr 2018 insgesamt 44 000 „fliegende“ Personen (Vorjahr: 45 000) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,0 mSv (Vorjahr 2,1 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 6,2 mSv. Die Verteilung ist in [Abbildung IV. 2-1](#) wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2018 beträgt ca. 89 Personen-Sv. Damit zählt das fliegende Personal bezüglich der Kollektivdosis und der mittleren Jahresdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands. Auch die Form der Dosisverteilung und ihre zeitliche Schwankung ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Wichtige Einflussgröße auf die Jahresdosis ist die zyklische Schwankung der Sonnenaktivität, die physikalisch bedingt die Höhenstrahlung beeinflusst.

2.2 Arbeitsplätze mit erhöhter Radonexposition (Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder und Sanierungsbetriebe)

Für Personen, bei denen am Arbeitsplatz eine Radonexposition von mehr als 6 mSv auftreten kann, ist unter Umständen eine Dosisermittlung durchzuführen (§ 130 Absatz 3 StrlSchG). Dies betrifft z. B. untertägige Bergwerke, Schauhöhlen und Anlagen der Wassergewinnung sowie Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen des Uranerzbergbaus (Beschäftigte der Wismut GmbH).

Abbildung IV.2-1

Verteilung der Jahrespersonendosis beim fliegenden Personal im Jahr 2018



Insgesamt wurden im Jahr 2018 dem Strahlenschutzregister im BfS für 384 Personen (Vorjahr: 396 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen 384 Personen führten 43 Personen (Vorjahr: 38 Personen) Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 384 Beschäftigten betrug 0,8 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 2,4 mSv (Vorjahr: 1,6 mSv). Im Jahr 2018 gab es wie im Vorjahr keine Überschreitung des Jahreshgrenzwertes von 20 mSv. Der höchste Wert der effektiven Jahresdosis betrug 14 mSv (Vorjahr: 16 mSv). Die Dosisverteilung zeigt [Abbildung IV. 2-2](#).

3. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden in den Jahresberichten „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU zusammengefasst.

Ein Großteil der für das Jahr 2018 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 radiologischen Gefährdung.

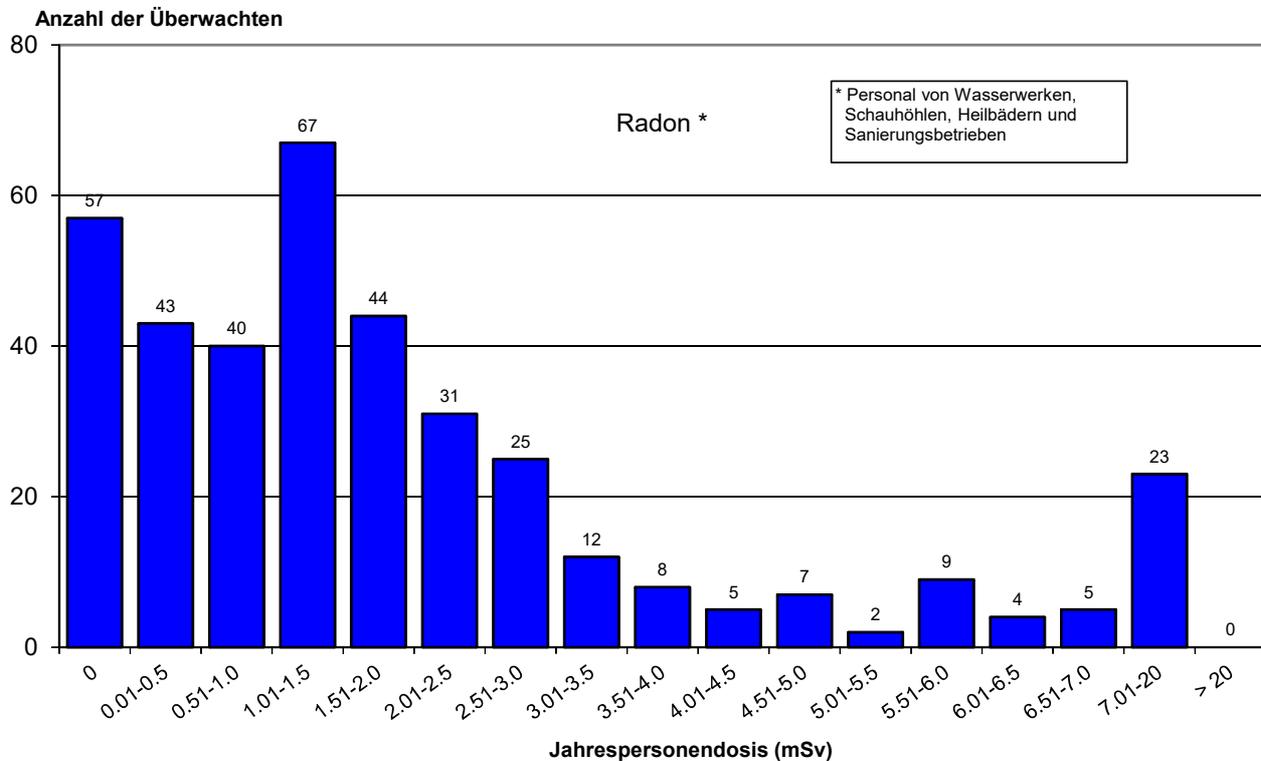
Ein Teil der gemeldeten Vorkommnisse trat im medizinischen Anwendungsbereich auf. Durch menschliche Fehler (z. B. falsche Einstellungen, Patientenverwechslungen, Bedienungsfehler) wurden im Jahr 2018 zwei Vorkommnisse mit unbeabsichtigten Expositionen in der Medizin bekannt.

V. Medizinische Strahlenexposition

Medizinische Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe haben sowohl bei Diagnostik als auch bei Therapie einen hohen Standard erreicht. Bei der Indikationsstellung wie auch bei der Durchführung werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt.

Abbildung IV.2-2

Verteilung der Jahrespersonendosen durch natürlich erhöhte Radonexposition 2018



Eine ausführliche Einführung in das Thema „Medizinische Strahlenexposition“ findet sich in den Jahresberichten „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU (G IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen).

1. Röntgendiagnostik

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 Grundlagenteil „Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen“ der Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU verwiesen. In diesem Bericht werden die zum Redaktionsschluss (November 2019) vorliegenden Daten dargestellt. Diese beziehen sich auf die Jahre 2007 bis 2016. Es wird darauf hingewiesen, dass Abweichungen zu Ergebnissen vorliegen, die in älteren Berichten präsentiert wurden. Diese beruhen im Wesentlichen auf veränderten Datenquellen für den stationären Bereich, siehe auch die Jahresberichte 2015 bis 2017. Zum einen werden – insbesondere für CT-Untersuchungen – Daten des statistischen Bundesamtes berücksichtigt. Zum anderen liegen für den stationären Bereich seit 2017 nun auch aktuellere Daten zu den Häufigkeiten konventioneller Röntgenaufnahmen vor, für die keine Daten des statistischen Bundesamtes existieren und die bislang mithilfe von Ergebnissen eines deutlich zurückliegenden Forschungsvorhabens abgeschätzt werden mussten.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis bzw. der mittleren effektiven Dosis pro Kopf werden überwiegend repräsentative Werte aus Daten der ärztlichen Stellen 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 jeweils eine über die Jahre konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen.

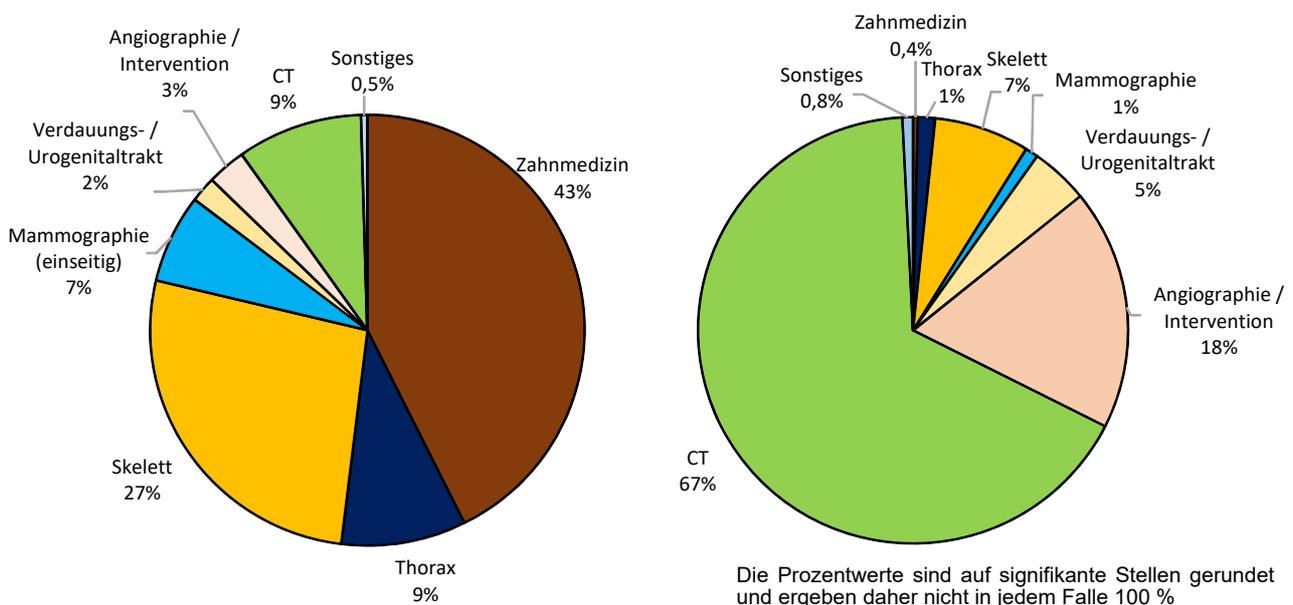
Für das Jahr 2016 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 137 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 78 Millionen Röntgenuntersuchungen). Die mittlere Anzahl von Röntgenanwendungen in Deutschland lag während des betrachteten Zeitraums 2007 bis 2016 nahezu konstant bei etwa 1,7 pro Einwohner und Jahr. Die Häufigkeit von zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen (Zähne und Kiefer) nahm zwischen 2007 und 2016 von etwa 0,6 auf 0,7 Untersuchungen pro Einwohner und Jahr zu, was 2016 etwa mehr als 40 % der Gesamtanzahl aller Röntgenuntersuchungen entspricht. Dieser Anstieg ist durch Röntgenuntersuchungen des Kiefers bedingt, die inzwischen etwa 20 % aller zahnmedizinischen Röntgenuntersuchungen ausmachen. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich entfällt der größte Teil aller Röntgenanwendungen auf konventionelle Untersuchungen des Skeletts (d. h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (Brustkorb, siehe [Abbildung V. 1-1](#)).

Die Anzahl der meisten konventionellen Röntgenuntersuchungen hat im betrachteten Zeitraum abgenommen (z. B. Schädel um mehr als 15 %, Thorax und Wirbelsäule um etwa 25 %, Verdauungs- und Urogenitaltrakt um etwa 40 %). Die Häufigkeit von Mammographien nahm infolge der Einführung des Mammographie-Screening-Programms zwischen 2007 und 2009 um ca. 35 % zu und verläuft – nach anschließender geringfügiger Abnahme – ab 2011 weitgehend konstant.

In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 2007 und 2016 um gut 40 % erhöht. Ein noch deutlicherer Anstieg ist auch bei der Magnetresonanztomographie (MRT) zu verzeichnen, einem Schichtbildverfahren, das keine ionisierende Strahlung verwendet (Zunahme um gut 65 %). 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 V.1-1

Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2016 in Deutschland



Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2016 auf 1,6 mSv. Über den Beobachtungszeitraum 2007 bis 2016 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. Der Anstieg der CT-bedingten pro-Kopf-Dosis fiel wegen der über die Jahre leicht abnehmenden Dosis pro CT-Untersuchung mit etwa 30 % 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 2016 ab. Diese Abnahme 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 interventioneller Maßnahmen) tragen dagegen zwar nur etwa 10 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2016 jedoch mehr als 80 % (siehe [Abbildung V. 1-1](#)).¹²

Röntgenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2016 wurde laut Robert-Koch-Institut¹³ bei etwa 69 000 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt (mittleres Erkrankungsalter: 64 Jahre; Prognose für 2020: rund 76 000 Fälle). Die 5-Jahres-Prävalenz für Brustkrebs, also die Zahl der lebenden Frauen, bei denen innerhalb der vorherigen fünf Jahren diese Erkrankung neu diagnostiziert wurde, ist verglichen mit den restlichen Krebserkrankungen relativ hoch (ca. 314 000 Fälle Ende 2016). Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts verstarben im Jahr 2016 insgesamt 18 600 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschance 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 europäischen Leitlinien 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 (www.mammo-programm.de) gegründet. Im Jahr 2005 wurde die erste Screening-Einheit (SE) zertifiziert und konnte ihren Betrieb aufnehmen; 2009 hat die letzte der insgesamt 94 SE ihren Betrieb aufgenommen. 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 Teilnehmerate lag laut „Jahresbericht Evaluation 2017“, Seite 13 bei 49 %¹⁴.

In den in [Abbildung V. 1-1](#) 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 Brustkrebsmortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMUB in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung des seit Juli 2012 laufenden Vorhabens beteiligen sich das BMU, 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 so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsbewertung 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 Mortalitätsbewertung erfolgt seitens des BMU im Rahmen eines

¹² Nekolla EA, Schegerer AA, Griebel J, Brix G: Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen. Trends zwischen 2007 und 2014. *Radiologe* 57: 555-562, 2017

¹³ „Krebs in Deutschland für 2015/2016“, S.78, www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/krebs_in_deutschland_inhalt.html, abgerufen am 16. Juni 2020)

¹⁴ Jahresbericht Evaluation 2017. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, Oktober 2019, abgerufen am 17. Juni 2020 (fachservice.mammo-programm.de/publikationen-und-stellungnahmen#evaluation)

Ressort-Forschungsvorhabens über einen geplanten Zeitraum von zehn Jahren. 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 startete im Januar 2018 die eigentliche Hauptstudie (Programmreport 2017, S. 192, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018071915600 und Programmreport 2018, S. 143, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808).

2. Nuklearmedizinische Diagnostik

Eine ausführliche Einführung in die Thematik findet sich in den Jahresberichten „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU (G IV Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen).

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Strahlenexposition wurde ab dem Berichtsjahr 2016 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 Krankerversicherung (PKV) bestimmt. 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.^{15, 16}

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 diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen aus dem Jahr 2012. Grundlage hierfür waren die Ergebnisse einer umfangreichen Erhebung der in Deutschland durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen sowie Meldungen der ärztlichen Stellen. 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.

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Fünfjahres-Zeitraum 2012 bis 2016. Pro Jahr wurden 2012 bis 2016 in Deutschland im Mittel ca. 2,5 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von etwa 30 Untersuchungen pro 1 000 Einwohner entspricht. [Abbildung V. 2-1](#) gibt die Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für einzelne Untersuchungskategorien für das Jahr 2016 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 Fünfjahreszeitraum stetig ab, die des Herzens hingegen zu.

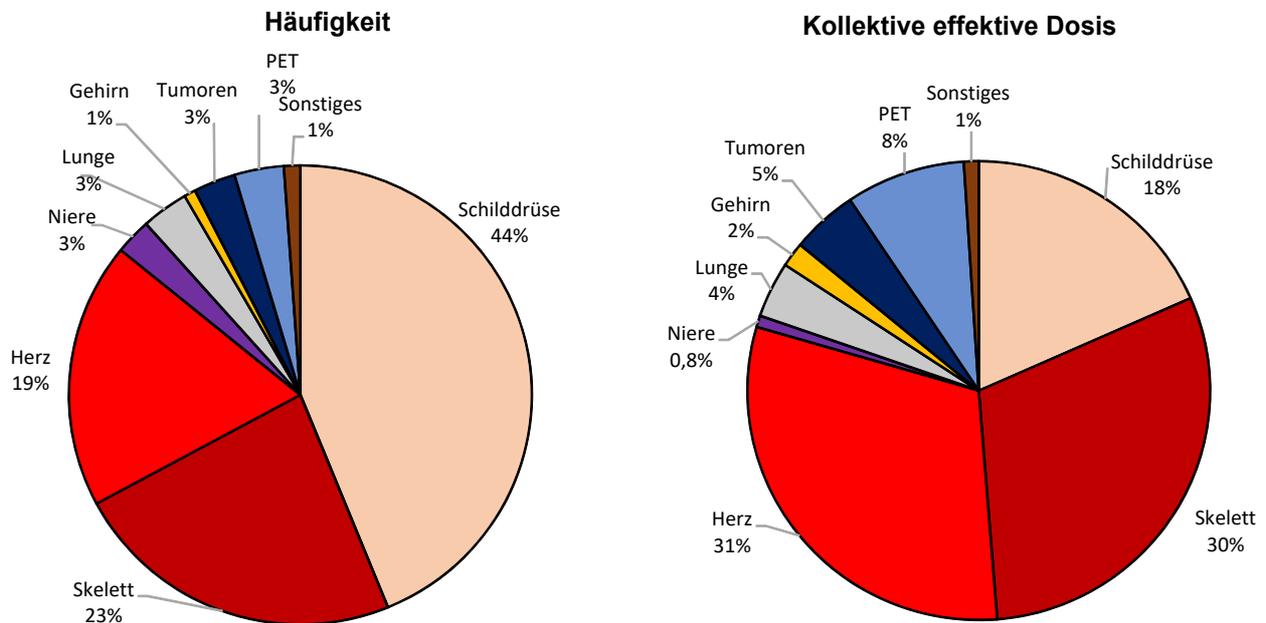
Wie bei der Röntgendiagnostik finden auch in der Nuklearmedizin im ambulanten Bereich deutlich mehr Untersuchungen statt als in Krankenhäusern. Nahezu alle Szintigraphien der Schilddrüse und jeweils mehr als 80 % aller Untersuchungen des Skeletts und des Herzens werden im ambulanten Sektor durchgeführt.

¹⁵ 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

¹⁶ Lindner O, Burchert W, Schäfer W, Hacker M: Myocardial perfusion SPECT 2015 in Germany. Results of the 7th survey. Nuklearmedizin 56: 31-38, 2017

Abbildung V.2-1

Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik 2016 in Deutschland



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

Es wurde eine über den Zeitraum 2012 bis 2016 gemittelte effektive Dosis von rund 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Rund drei Viertel der kollektiven effektiven Dosis werden durch die Skelett-, die Myokard(Herz)- und die Schilddrüsenszintigraphie verursacht (Abbildung V. 2-1).

Die Anzahl von Positronenemissionstomographien (PET) nimmt kontinuierlich zu. Auf Grund der relativ hohen Dosis pro Untersuchung spielt die PET daher bei der durch alle nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachten kollektiven effektiven Dosis zunehmend eine Rolle. Für den kassenärztlichen ambulanten Bereich wurde erst im Jahr 2016 eine Gebührensatz für PET eingeführt. Daher ließ sich hier die Anzahl von PET für den Zeitraum vor 2016 mit der üblichen Methodik nicht bestimmen.

In den Jahresberichten der letzten Jahre erfolgte die Abschätzung der PET-Häufigkeiten auf Basis von Daten aus der Literatur¹⁵. Verwendet man diese Methode auch für das Jahr 2016, so ergäbe dies eine deutlich höhere Anzahl von PET. [Abbildung V. 2-1](#), die sich auf das Jahr 2016 bezieht, richtet sich nach der Anzahl tatsächlich abgerechneter PET. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei um eine Unterschätzung handelt. PET/CT-Untersuchungen ersetzen immer mehr reine PET-Untersuchungen. Im stationären Bereich wurden 2016 bereits mehr als 85 % aller PET-Untersuchungen mittels eines PET/CT-Systems durchgeführt. Der Dosisbeitrag durch die Exposition mit ionisierender Strahlung durch die CT findet sich in [Abbildung V. 2-1](#) nicht wieder. Bei Berücksichtigung der CT wäre der Dosisbeitrag der PET und PET/CT zur kollektiven Dosis schätzungsweise doppelt so hoch.

Die mittleren effektiven Dosiswerte pro nuklearmedizinischer Untersuchung waren bei der Entzündungsdiagnostik mit 7,7 mSv sowie bei PET-Untersuchungen mit 6,4 mSv (ohne CT) am höchsten. Fasst man die Dosis durch Herzsintigraphien (bzw. SPECT) in Ruhe und unter Belastung zusammen, so erhält man ebenfalls eine vergleichsweise hohe Dosis von etwa 7 bis 8 mSv (Protokoll über zwei Tage bzw. einen Tag) pro Untersuchung. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,9 mSv pro Untersuchung auf. Die insgesamt selten, bei Kindern jedoch relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis – ohne CT – pro Untersuchung 2,3 mSv.

3. Strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

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). 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.

Die Themen „Therapie mit ionisierender Strahlung“, „Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen“, „Internationaler Vergleich“ und die strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexposition werden in den BMU-Jahresberichten ausführlich behandelt.

VI. Nichtionisierende Strahlung

Eine Einführung in die Definition verschiedener Komponenten nichtionisierender Strahlung findet sich in den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Das Bundesamt für Strahlenschutz sowie nationale und internationale Expertengremien verfolgen und bewerten nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Bei der Bewertung neuer Erkenntnisse wird jeweils die Gesamtheit der Forschungsergebnisse betrachtet. Dies ist die Grundlage für eine umfassende Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen. Ausführliche Informationen finden sich im „Strahlenschutzforschung Programmreport 2018“ unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808.

1. Elektromagnetische Felder

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).

Der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder ist über gesetzliche Immissionsgrenzwerte geregelt, die von bestimmten Anlagen einzuhalten sind. Für elektrisch betriebene Geräte ist das Produktsicherheitsrecht anwendbar, dessen abstrakte Anforderungen in harmonisierten Normen konkretisiert sind.

Aktuelle Herausforderungen für den Strahlenschutz betreffen die begleitende Forschung zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau, neue Technikentwicklungen und das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen. Technische Weiterentwicklungen sind vor allem bei der drahtlosen Kommunikations- und Energieübertragungstechnik, der Sicherheitstechnik und der Elektrizitätsversorgung zu beobachten, aber auch bei Anwendungen elektromagnetischer Felder zu medizinischen oder kosmetischen Zwecken.

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. Ältere wissenschaftliche Untersuchungen haben für magnetische Flussdichten unterhalb von etwa 4 Tesla keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper gefunden.

Forschungsvorhaben zeigten, dass es durch die Einführung von Magnetresonanztomographen (MRT) mit höheren magnetischen Flussdichten zu keiner Beeinträchtigung des bedienenden Personals kommt.

Beim Stromnetzausbau werden auch Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) errichtet. In der Umgebung der Leitungen treten statische Magnetfelder auf. Der Grenzwert von 500 μ T für magnetische Fluss-

dichten der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) muss jedoch eingehalten werden. Zudem sind bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Feldern nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

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 mit einer Beeinträchtigung der Bevölkerung und der Umwelt nicht zu rechnen. Im Gegensatz zu Wechselstromfreileitungen treten in der Nähe von Gleichstromtrassen auch statische elektrische Felder auf, die bisher wenig erforscht sind. Es wird auch verstärkt zur Ionisierung von Luftpartikeln kommen. Beide Phänomene müssen in naher Zukunft verstärkt erforscht werden. Das BfS führt ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. Es sind 36 Projekte aus 8 Themenfeldern im Laufe der Jahre geplant.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

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 im Körper induzierte elektrische Feldstärke. Die Grenzwerte, zum Beispiel in der 26. BImSchV, werden davon 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.

Epidemiologische Studien deuten bei beruflicher Exposition mit starken niederfrequenten Magnetfeldern darauf hin, dass verstärkt neurodegenerative Erkrankungen auftreten könnten. Es scheint vor allem bei der Alzheimer-Demenz und der amyotrophen Lateralsklerose (ALS, Schädigung der Nervenzellen, die Muskelbewegungen steuern), nicht aber bei der Parkinson-Krankheit und der Multiplen Sklerose einen statistischen Zusammenhang zu geben. Ein Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und diesen Krankheiten konnte jedoch bislang nicht nachgewiesen werden. Die Fragen zu Mechanismen, die an der Entstehung und am Verlauf von Alzheimer-Demenz und ALS beteiligt sind, sind ungeklärt und werden im neuen Forschungsprogramm untersucht.

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. Einige dieser Forschungsvorhaben wurden bereits im Rahmen des Ressortforschungsplans begonnen bzw. sind beendet. Details zum Forschungsprogramm sind den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz bis 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 Langzeitrissen für Handynutzung von mehr als 13 Jahren und der Frage nach einer möglichen Alters- und Geschlechtsabhängigkeit bzw.

der Existenz von empfindlicheren Bevölkerungsgruppen. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) auch hochfrequente elektromagnetische Felder in die Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft hat.

Details zu den im Berichtsjahr laufenden und abgeschlossenen Forschungsvorhaben finden sich im „Strahlenschutzforschung Programmreport 2018“ unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808.

Selbstverpflichtung Mobilfunkbetreiber - weiterführende Forschung

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 Selbstverpflichtung war 2001 die Zusage, das vom BMU 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 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.

Die Forschungsvorhaben, die über die freiwillige Selbstverpflichtung mitfinanziert wurden, sind mittlerweile alle abgeschlossen und auf doris.bfs.de abrufbar.

Risikokommunikation

Die Risikokommunikation des BMU und des BfS basiert auf den Ergebnissen aller durchgeführten Forschungsvorhaben. Die Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF und NF werden zielgruppengerecht und bevölkerungsnah vermittelt.

Die Forschungsvorhaben des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms sind abgeschlossen. Neu auftretende Fragen zu veränderten Expositionsszenarien, z. B. durch neue Mobilfunkstandards, werden jedoch weiterhin untersucht.

Der Bereich Niederfrequenz wird im aktuellen Forschungsprogramm beim Stromnetzausbau ausführlich untersucht. Näheres siehe www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Ein erhebliches Informationsbedürfnis besteht hinsichtlich der Frage, auf welcher Grundlage gesundheitliche Risiken von Expositionen bewertet und Grenzwerte festgelegt werden.

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 mehr Transparenz bei der Vermittlung und Kommunikation von Erkenntnissen im Bereich Strahlenschutz schaffen soll. 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 zu betrachten. 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 aktuelle Mitgliederliste ist unter www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/runder-tisch/runder-tisch_node.html einzusehen.

Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat bereits im Jahr 2001 empfohlen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen“. Für Verbraucher stellt die Nutzung strahlungsarmer Produkte eine Möglichkeit zur Vorsorge gegenüber möglichen, aber nicht nachgewiesenen Wirkungen elektromagnetischer Felder dar.

In den Folgejahren sind unter Mitwirkung des BfS für unterschiedliche Verbraucherprodukte Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ erarbeitet worden, in denen Anforderungen an die Strahlungseigenschaften beschrieben sind. Hersteller können die definierten Qualitätskriterien für die Geräteentwicklung nutzen.

Für strahlungsarme Mobiltelefone gilt der Kriterienkatalog DE-UZ 106: Geräte mit einem unter Laborbedingungen gemessenen SAR-Wert von höchstens 0,6 W/kg (also deutlich unter dem empfohlenen Expositionsgrenzwert von 2 W/kg), die zudem besonders umweltfreundlich konstruiert sind, konnten bis Mitte 2017 ausgezeichnet werden. Anders als Grenzwerte zum Schutz vor nachgewiesenen Wirkungen orientiert sich der niedrigere Wert am technisch Machbaren. Mitte 2017 erfolgte eine Überarbeitung der Vergabekriterien. Im Zuge dessen wurden für die Anwendungsfälle „Betrieb am Ohr“ und „Betrieb am Körper“ neue Höchstwerte von 0,5 W/kg und 1,0 W/kg festgelegt.

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 www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html. Die Liste umfasst insgesamt 3225 klassische Mobiltelefone und Smartphones - wobei für 2940 Geräte ein SAR-Wert vorliegt - und wird in den Jahresberichten des BMU über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ statistisch ausgewertet. Das Angebot strahlungsarmer Geräte blieb bis September 2017 auf gleich hohem Niveau wie in den Vorjahren. In der Dezember-Erhebung weisen 40 % der aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone und Smartphones einen am Kopf ermittelten SAR-Wert von „kleiner/gleich 0,5 W/kg“ auf (für eine Auszeichnung mit dem Umweltzeichen aus strahlenhygienischer Sicht müsste aber auch das neue zweite Strahlenschutzkriterium „SAR-Wert kleiner/gleich 1,0 W/kg in 0 mm Abstand gemessen“ für den Anwendungsfall „Betrieb des Handys am Körper“ erfüllt sein).

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. 2018 waren mehrere Modelle eines deutschen Herstellers mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

Weitere Produkte, die ausgezeichnet werden können, wenn bestimmte Anforderungen an die Strahlungseigenschaften nachgewiesen werden, sind

- Babyüberwachungsgeräte,
- Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch,
- Haushaltslampen,
- Router,
- programmierbare Heizkörperthermostate.

Hersteller strahlungsarmer Produkte nutzen den „Blauen Engel“ bislang leider nur vereinzelt.

2. Optische Strahlung

Eine ausführliche Einführung in das Thema „Optische Strahlung“ findet sich im Grundlagenteil der Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMU.

2.1 Solares UV-Monitoring

Im Rahmen des deutschlandweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html) wurde auch im Jahr 2018 an elf repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich die bodennahe, solare UV-Strahlung spektral aufgelöst gemessen. Im Dezember 2018 wurde mit dem Aufbau einer zusätzlichen spektralen UV-Messstation in Sachsen durch das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung begonnen.

Um alle Bürger*innen verlässlich über die aktuelle solare UV-Belastung zu informieren, erweitert das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sein UV-Messnetz mit zusätzlichen 20 Breitbandradiometer-Stationen. Den Startschuss für die Erweiterung gab Bundesumweltministerin Svenja Schulze am 27. August 2018 bei ihrem Besuch im BfS in Neuherberg bei München. Für die Infrastruktur des Ausbaus nutzt das BfS sein Ortsdosisleistungs (ODL) - Messnetz (www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/luft-boden/odl/odl.html) und ergänzt passende ODL-Sonden mit kompakten Breitbandradiometern. Ende 2018 nahmen zwei Breitbandradiometer-Stationen in Chieming und Waldmünchen den aktiven Messbetrieb im solaren UV-Messnetz auf.

Die Messdaten aller Stationen werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig veröffentlicht.

Von den ermittelten Messwerten der bodennahen, solaren UV-Bestrahlungsstärke wird der so genannte UV-Index (UVI) abgeleitet und die Bevölkerung auf den Internetseiten des BfS (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html) und über das BfS Geoportal (www.imis.bfs.de/geoportal) darüber informiert.

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/uv-newsletter) an Abonnenten verschickt. In den Wintermonaten von Oktober bis März werden 3-Monats-Prognosen veröffentlicht.

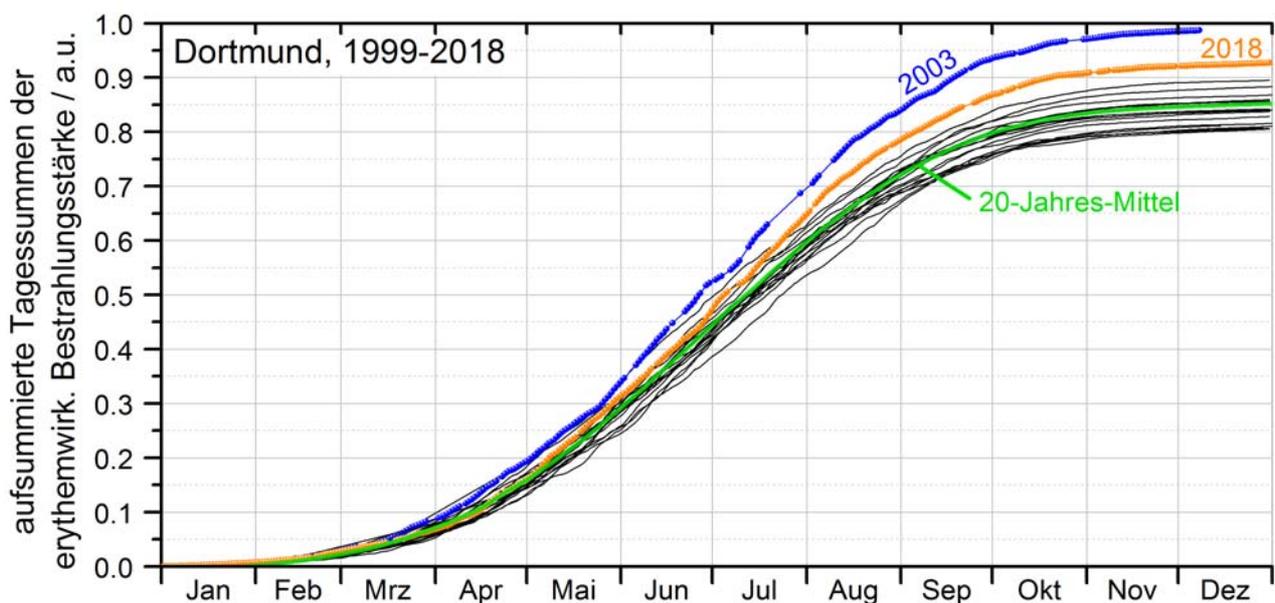
Die kontinuierlichen Messungen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke im Rahmen des solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA ergaben, dass im Jahr 2018 die höchsten ermittelten Tagesspitzenwerte des UV-Index in Nord- und Mitteldeutschland bei UV-Index-Werten von 7 bis 8 im Juni und Juli lagen. Im gleichen Zeitraum wurden in Süddeutschland UV-Index-Werte von 8 bis 9 und im alpinen Hochgebirgsraum UV-Index-Werte von 9 bis 10 gemessen. An zwei Tagen im Juli und August lag der UV-Index-Tagesspitzenwert im alpinen Hochgebirgsraum bei 11.

Laut WHO (www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf) sind ab einem UVI von 3 Sonnenschutzmaßnahmen (siehe hierzu www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/schutz_node.html) erforderlich, ab einem UVI von 8 sind sie dringend erforderlich.

Gemäß den Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes war das Jahr 2018 - analog zum Jahr 2003 - auffallend sonnig (siehe hierzu www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=480164). Auswertungen des BfS der UV-Messdaten der Messstationen in Dortmund von 1999 bis einschließlich 2018 zeigten, dass die aufsummierten Tagessummen für das Jahr 2018 - ebenso wie für das Jahr 2003 - deutlich höher als die Summen aller anderen Jahre liegen (**Abbildung VI. 2-1**). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass eine erhöhte Anzahl an sonnigen Tagen und damit eine erhöhte Sonnenscheindauer über das Jahr direkt mit einer erhöhten erythemwirksamen UV-Jahresdosis korreliert ist¹⁷.

Abbildung VI.2-1

Normierte Darstellung der über das Jahr aufsummierten Tagessummen der gemessenen erythemgewichteten Bestrahlungsstärken in Dortmund der Jahre 1999-2018 (a. u. "arbitrary unit"; willkürliche Einheit)



¹⁷ Baldermann C, Lorenz S: UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 62(5): 639-645, 2019 link.springer.com/article/10.1007/s00103-019-02934-w, Erratum: link.springer.com/article/10.1007/s00103-019-03001-0

2.2 Forschung

Optische Strahlenquellen außerhalb der Medizin

Starke optische Strahlungsquellen wie Laserpointer, (Laser-)Taschenlampen, Showlaser für den Heimgebrauch oder auch starke Fahrradlampen sind in großer Vielfalt auf dem Markt verfügbar. Zur Frage, ob Wirkungsschwellen überschritten werden und dadurch photochemische oder ggf. thermische Gefährdungen für die Augen bestehen, wurde ein Forschungsvorhaben durchgeführt.

Details zu o. g. Forschungsvorhaben finden sich im „Strahlenschutzforschung Programmreport 2018“ unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808.

2.3 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 neun Jahren, die gemäß NiSG erlassene „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher Ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) seit sechs Jahren. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben obliegt den Bundesländern.

Im Rahmen der Deutschen Großstudie „Nationales Krebshilfe-Monitoring zur Solariennutzung“ (National Cancer Aid Monitoring of Tanning Bed Use, NCAM) werden die Risikofaktoren für Hautkrebs in jährlichen Intervallen anhand einer großen, landesweit repräsentativen Stichprobe überwacht. Die NCAM-Daten zeigen, dass die Nutzung von Solarien rückläufig ist: Die Zahl der Nutzer sank von 11,0 % (2015) auf 8,8 % (2018). gleichzeitig stieg jedoch die Nutzung von Solarien durch Minderjährige von 1,6 % auf 4,6 %, obwohl die Nutzung für diese Altersgruppe gesetzlich verboten ist. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass das Sonnenschutzverhalten in den Sommermonaten unzureichend ist (2015 und 2016). Des Weiteren konnten 2018 Defizite bei der Verwendung von Sonnenschutzmitteln festgestellt werden. Dazu gehört z. B. die Anwendung von zu kleinen Mengen von Sonnenschutzmitteln. Die Veröffentlichung der Ergebnisse über den gesamten Zeitraum wird erwartet.

Laut der Berichte der Bundesländer zeigen auch die 2018 durchgeführten Kontrollen, dass viele Betreiber das erforderliche Angebot einer qualifizierten Beratung nicht machen (angedeutet durch fehlende Dokumentationen über Hauttypenbestimmungen und hauttypbezogene Dosierungspläne), Minderjährigen die Nutzung der Solarien erlauben und weiterhin Solarien ohne ausreichende technische Maßnahmen betrieben werden, die gewährleisten würden, dass die Solarien dem Gesetz und der Verordnung gemäß betrieben werden.

Das BMU und das BfS haben sich auch 2018 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt.

Verordnung „Nichtionisierende Strahlung“

Ein Arbeitsschwerpunkt lag im Jahr 2018 auf der fachlichen Unterstützung des BMU bei der Erarbeitung der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV). Mit dieser Verordnung 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 Tattoofremdung mit Lasergeräten - eine Anwendung, die künftig unter Arztvorbehalt stehen wird - sowie die dauerhafte Haarentfernung (Epilationen) mit Lasern oder IPL-Geräten im Vordergrund. Die NiSV tritt am 31. Dezember 2020 in Kraft. Ab diesem Zeitpunkt gilt auch der Arztvorbehalt für bestimmte Anwendungen. Die Anforderung zum Nachweis der Fachkunde tritt am 31. Dezember 2021 in Kraft. Weitere Informationen hierzu sind veröffentlicht unter www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/warum-die-nisv/.

2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

Auf der Basis des Grundsatzpapiers „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ (siehe www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/buendnis/buendnis_node.html) wurde 2018 vom UV-Schutz-Bündnis (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/buendnis/buendnis.html) nach Vorgaben des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ (gesundheitsziele.de/) eine Kriterienanalyse erarbeitet. Diese stellt den wissenschaftlichen Kenntnisstand zum Thema, aufbereitet in Bezug auf die vom Kooperationsverbund vor-

gegebenen Kriterien, dar. Des Weiteren wurde 2018 weiter daran gearbeitet, die weiteren, im Grundsatzpapier konkret genannten Maßnahmen umzusetzen. So wurde vom BfS die Erweiterung des UV-Messnetzes vorangetrieben. Zusätzlich zur Veröffentlichung des UV-Index als Tageshöchstwert-Prognose wurden die aktuellen Messwerte im Tagesverlauf auf den Internetseiten des BfS und im Geoportal des BfS veröffentlicht (siehe Abschnitt 2.1, Solares UV-Monitoring). Des Weiteren wurde durch die Bündnispartner „Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP)“ und „Deutsche Krebshilfe (DKH)“ in Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren weiter daran gearbeitet, einen Grundlagenkatalog für Lehr- und Ausbildungspläne zu erstellen und unterschiedliche Materialien zur Ergänzung von Lehr- und Ausbildungsplänen entsprechender Berufe (s. Grundsatzpapier) wie Lernvideos oder Material für „Spielerisches“ / „Kreatives“ Lernen zu erstellen.

Anhang

Verwendete Abkürzungen

ALS	Amyotrophe Lateralsklerose
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell
AVR	Atomversuchsreaktor (Jülich)
BAnz	Bundesanzeiger
BASE	Bundesamt für die Sicherheit nuklearer Entsorgung
BDBOS	Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
Bq	Becquerel
Bq/m³	Becquerel pro Kubikmeter
CONCERT	European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research (Gemeinschaftliches europäisches Programm zur Integration der Strahlenschutzforschung)
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DRW	Diagnostische Referenzwerte
EMF	Elektromagnetische Felder
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft
FM	Feuchtmasse
HF	hochfrequente elektromagnetische Strahlung
HGÜ	Hochspannungsgleichstromübertragung
Hz	Hertz
IAEA (IAEO)	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergie-Organisation IAEO)
IARC	International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements (Internationale Kommission für Strahlungseinheiten und Messungen)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)

Verwendete Abkürzungen

ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem
mSv	Millisievert
MRT	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie)
NF	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung
NIR	non ionizing radiation (nichtionisierende Strahlung)
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
nSv	Nanosievert
Personen-Sv	Personen-Sievert, siehe Kollektivdosis (Erläuterungen Fachausdrücke)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RöV	Röntgenverordnung - Die RöV wurde zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert und ist am 31. Dezember 2018 außer Kraft getreten.
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (verkündet als Art. 1 des Gesetzes vom 27. Juni 2017; BGBl. I S. 1966)
StrlSchV 2001	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222). Sie trat am 31. Dezember 2018 außer Kraft (Artikel 20 Absatz 1 Satz 2 der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzes vom 29. November 2018).
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), ersetzt die Strahlenschutzverordnung von 2001
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), aufgehoben durch Artikel 4 des Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017
Sv	Sievert
TBL	Transportbehälterlager
UFOPLAN	Umweltforschungsplan / Ressortforschungsplan des BMUB zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung der Fachaufgaben
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung)
UV	Ultraviolette Strahlung
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.

Verwendete Abkürzungen

UVSV	UV-Schutzverordnung
WBA	Wasserbehandlungsanlage

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

Absorption	Aufnahme der Energie 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 Zerfälle 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.
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Amyotrophe Lateralsklerose	Schädigung der Nervenzellen, die Muskelbewegungen steuern
Angiographie	Darstellung der Blutgefäße
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, Bethesda, 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.
athermische Effekte (auch nicht-thermische Effekte)	eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Aufenthaltsraum	Der Aufenthaltsraum ist allgemein betrachtet ein Raum innerhalb von Wohnungen oder Gebäuden, der für einen längeren Aufenthalt von Menschen geeignet ist. Zu Aufenthaltsräumen zählen beispielsweise Wohnräume, Schlafräume und Küchen sowie Büro- und Verkaufsräume.
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt.
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen oder Positronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betaspektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie).
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
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.

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

BOS-Netz	Mobilfunknetz der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen (s.a. Teletherapie)
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
deterministisch	Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung).
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.
Diuretika	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
Dosimetrie	quantitative Erfassung der Exposition durch Dosimeter
Dosimeter	Im Bereich ionisierender Strahlung sind dies Messgeräte zur Messung der Strahlendosis - als Energiedosis oder Äquivalentdosis. Im Bereich nichtionisierender Strahlung existieren Personendosimeter zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder.
Dosis	siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart 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 2001 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.
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)

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

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).
elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
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).
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
elektrostatisches Feld	elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
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), 1 Gy entspricht 1 J/kg.
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen legt damit die quantitative Basis vieler Maßnahmen, die im Interesse der Gesundheit der Bevölkerung unternommen werden.
Exposimeter	von Personen während der Arbeit am Körper getragenes Messgerät zur Ermittlung der Radon-222-Exposition
Fall-Kontroll-Studie	Ein Studiendesign, das in der Epidemiologie entstanden ist. Fall-Kontroll-Studien dienen dem retrospektiven Nachweis von pathogenen Faktoren für gesundheitliche Störungen. 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).

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

	<p>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) zufällig 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.</p>
Fall-out	aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Schwebstoffen 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. Sie ist von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen.
Gamma-Ortsdosisleistung	Gammakomponente der Ortsdosisleistung
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Schwebstoffen und Gasen in der Atmosphäre
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray (Gy)	siehe Energiedosis. Der Zusammenhang der verschiedenen Dosisgrößen ist ausführlich im Anhang des BMU-Jahresberichts über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ erläutert.
Hochfrequenz	hochfrequente elektromagnetische Felder, hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hochspannungsgleichstrom-übertragung (HGÜ)	Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) ist ein Verfahren der elektrischen Energieübertragung mit hoher Gleichspannung.
Hot spots	räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an der Oberfläche dieses Körpers lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarot-Strahlung	optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780nm - 1mm
Ingestion	allgemein: Nahrungsaufnahme speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

Inhalation	allgemein: Einatmung speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	allgemein: Aufnahme in den Körper speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
ionisierende Strahlung	elektromagnetische oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit 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 z. B. 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 a) Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter. b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann
kosmische Strahlung	sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
kosmogene Radionuklide	in der Erdatmosphäre durch kosmische Strahlung erzeugte Radionuklide
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Energietransfer 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.
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).

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

magnetische Flussdichte (magnetische Induktion)	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden. Die Einheit ist das Tesla (T). $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$ (Voltsekunde pro Quadratmeter)
Magnetresonanztomographie (MRT) (Kernspintomographie)	Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden.
Medianwert	derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
Myokardszintigraphie (MSZ)	Nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren, das je nach Durchführung Informationen über die Durchblutungsverhältnisse, Vitalität und Funktion des Herzmuskels liefert.
Nachweisgrenze	Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten zurzeit verfügbaren Nachweismethoden gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann, also in einem vorgegebenen statistischen Konfidenzintervall liegt.
Nahfeldexposition	räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
nichtionisierende Strahlung (NIR)	elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können
NiSG	Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163)
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Notfall	Ereignis, bei dem sich durch ionisierende Strahlung erhebliche nachteilige Auswirkungen auf Menschen, die Umwelt oder Sachgüter ergeben können. Kein Notfall liegt vor, wenn abzusehen ist, dass ein Ereignis, das im Rahmen einer geplanten Tätigkeit eingetreten ist, voraussichtlich durch die für geplante Expositionssituationen geregelten Maßnahmen bewältigt werden kann (§ 5 Absatz 26 StrlSchG)
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 2001. 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, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV 2001 angegebenen Messgrößen
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

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.
Personendosimeter (nicht ionisierende Strahlung)	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
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)
Positronen-Emissions-Tomographie (PET)	Nuklearmedizinisches Schnittbildverfahren, mit dessen Hilfe physiologische Funktionen und Stoffwechselprozesse sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Es beruht auf der Markierung von Biomolekülen mit kurzlebigen Radionukliden (Radiotracer), bei deren Zerfall Positronen entstehen. Die emittierte Strahlung wird mittels eines Detektorrings, der den Patienten umgibt, registriert und in Bilder umgesetzt, die die Verteilung des Radiotracers im Körper darstellen.
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
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
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	radioaktive Jodisotope
Radionuklide	instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
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
Schwebstoffe	Feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft (Durchmesser: 10^{-3} bis 10^{-8} cm). Der überwiegende Teil der natürlichen und künstlichen Radionuklide der Luft ist an Schwebstoffe gebunden.
Sendeleistung	die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI, frz. <i>Système international d'unités</i>). 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 (Sv)	SI-Einheit der Organdosis, der effektiven Dosis sowie der Äquivalentdosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv) = 1 000 000 000 Nanosievert (nSv) Die Einheit Sv entspricht J/kg. Der Zusammenhang der verschiedenen Dosisgrößen ist in Anhang des BMU-Jahresberichts über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ erläutert.
Signaltransduktion	In der Biochemie und Physiologie werden damit Prozesse bezeichnet, mittels derer Zellen zum Beispiel auf äußere Reize reagieren, diese umwandeln und in das Zellinnere weiterleiten. An diesen Prozessen sind oft eine Vielzahl von Enzymen und sekundären Botenstoffen in einer oder mehreren nachgeschalteten Ebenen beteiligt (Signalkaskade).
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). 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
Strahlenbelastung	siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ionisierender Strahlung ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.
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	radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UV-Schutzverordnung (UVSV)	UV-Schutz-Verordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412)
UV-Strahlung	UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf (siehe auch Anhang des BMU-Jahresberichts über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“)
Wirbelstrom	durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

Stichwortverzeichnis

(fette Seitenzahlen beziehen sich auf das Glossar bzw. das Abkürzungsverzeichnis)

A

Abklingbecken 21
Absorption **48**
Abwasser 16, 18, 20
Aerosol **48**
Aktivität (Radioaktivität) **48**
ALLIANCE 9
Alphastrahler 16, 18, 21, **48**
Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) 40
Angiographie 36, **48**
Angiographie 34
Äquivalentdosis **48**
athermische Effekte **48**
Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell
(ARTM) 17, 23, **46**
AVR 17, **46**

B

Baugrund 14
Baumaterialien 10–11, 14
Baustoffe 11
Bayerischer Wald 10, 28
BDBOS **46**
Becquerel **48**
Bergbau 11, 24, 26
Besondere Vorkommnisse 33
Betastrahlung **48**
Betasubmersion **48**
Bims 14
biologische Effekte **48**
Blut-Hirn-Schranke **48**
BMBF **46**
BMG **46**
Böden 10–11
BOS **46**, **49**
Brachytherapie **49**
Brennelemente 21
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 5, 9, 12–14, 27,
32, 36, 39, 41, **46**
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
nukleare Sicherheit (BMU) 5, 41
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit (BMUB) 11, 36, 39, **46**

C

Cäsium-137 28
Computertomographie **49**
Computertomographie (CT) 34–35
CONCERT **46**

D

Dekontamination **49**
deterministisch **49**
Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)
41, **46**
Diagnostische Referenzwerte (DRW) **46**, **49**
Diuretika **49**
Dosimeter 29, **49**
Dosimetrie **49**
Dosis **49**
Dosisfaktor **49**
Druckwasserreaktor 17

E

Edelgase 16–17
effektive Dosis 29, **49**
effektive Jahresdosis 11
elektrische Feldstärke **49**
elektrische Ladung **50**
elektrische Spannung **50**
elektrischer Strom **50**
elektrisches Feld **50**
elektromagnetisches Feld 39
Elektrosensibilität **50**
Elektrosensitivität **50**
elektrostatisches Feld **50**
EMF **46**
Endlager Morsleben 17, 23
Energiedosis **50**
Epidemiologie **50**
Erhöhte natürliche Radioaktivität 26
EURADOS 9
EURAMED 9
Euratom **46**
Euratom-Grundnormen 9, 11
European Joint Programme 8

F

Fall-Kontroll-Studie **50**
Fall-out **51**
Fernfeld **51**
Flugpersonal 32
Flussfisch 20
FM **46**
Forschungszentrum 15, 17–20
Dresden-Rossendorf 18
Garching 18
Geesthacht 18
Jülich 18
Karlsruhe 18

Fortluft 15–16, 19

Frequenz **51**

Fukushima 29

G

Gamma-Ortsdosisleistung 10, 12

Gammastrahlung 10, **51**

Gammasubmersion **51**

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
(GRS) 31

Gips 14

Globalstrahlung **51**

Granit 10

H

Hautkrebspräventionsmaßnahmen 44

Heilbäder 32

Hochfrequenz 40, **51**

Hochradioaktive Strahlenquellen 27

Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) 40,
46, 51

Hot spots **51**

Hz **46**

I

IAEA **46**

IARC 41, **46**

ICNIRP **46**

ICRP **47**

IMIS 12, 29, **47**

Induktion **51**

Industrie 11, 27

Industrieprodukte 11, 27

Influenz **51**

Infrarot-Strahlung **51**

Ingestion **51**

Inhalation 13, **52**

Inkorporation 10, **52**

Inkorporationsüberwachung 31

Interventionelle Radiologie **52**

Ionisierende Strahlung 33

ionisierende Strahlung (Begriff) **52**

Isotop **52**

J

Jod-129 17

Jod-131 15, 17

Jülich 20

K

Kalium-40 10, 13

Kalksandstein 14

Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe 15, 18, 21

Kernkraftwerk 15–16, 18, 20

Biblis 15

Brokdorf 15

Brunsbüttel 15

Emsland 15, 20

Greifswald 15

Gundremmingen 15

Isar 15

Krümmel 15

Lingen 15

Neckar 15, 20

Obrigheim 15

Phillipsburg 15

Rheinsberg 15

Stade 15

Unterweser 15

Würgassen 15

kerntechnische Anlagen 31

Kernwaffenversuche 28–29

Kleinkinder 18

Kohlenstoff-14 16–17

Kohortenstudie **52**

Kollektivdosis **52**

Konsumgüter 27

Kontamination **52**

kosmetische Zwecke 39

kosmische Strahlung **52**

kosmogene Radionuklide 10, **52**

kritische Organe 18

L

Lebensmittel 13, 17

Leukämie **52**

Linearer Energietransfer **52**

M

Machbarkeitsstudie 37, **52**

Magnetfeld **52**

magnetische Feldstärke **52**

magnetische Flussdichte **53**

Main 20

Mammographie-Screening 35–36

MEAL-Studie 13

Medianwert **53**

Meldesystem 5

MELODI 9

Milch 29

MRT **47, 53**

Myokardszintigraphie **53**

N

Nachweisgrenze **53**

Nahfeldexposition **53**

Nahrung 13

Nahrungsmittel 13

Neckar 20
NERIS 9
Neutronen 10
Neutronendosis 21
nicht-ionisierende Strahlung 5, 39, **53**
nicht-thermische Effekte
 siehe athermische Effekte
NIR 47
Notfall 6
Notfallschutz 6
Nuklearmedizin **53**
Nuklearmedizinische Diagnostik 37
Nuklid **53**

O
optische Strahlung 42
Organdosis 18, 24, **53**
Ortsdosis **53**
Ortsdosisleistung **53**

P
Personendosimeter **54**
Personendosis 29–33, **54**
Perzentil **54**
PET 47, **54**
Pyranometer **54**

Q
Querschnittsstudie **54**

R
Radioaktive Stoffe
 im Haushalt 27
 in der Technik 27
Radioaktivität **54**
Radiojod **54**
Radium-226 11
Radon 13–14
 in der Bodenluft 13
 in Wasser 14
Radon-220 10
Radon-222 10
Radon-222 14
REI-Bergbau 24
Rhein 20
Risiko 39, **54**
Risikokommunikation 41, **54**
Risikowahrnehmung **54**
Röntgendiagnostik 34–36
Röntgengerät 27
Röntgenverordnung (RöV) 27, **47**
Rubenow 21
Rückstände 26
Runder Tisch Elektromagnetische Felder (RTEMF) 41

S
Sachsen 10–11
Sachsen-Anhalt 10
Schachanlage Asse 17, 23
Schauhöhlen 32
Schilddrüsendosis 18
Schwarzwald 10
Schwebstoffe 15, **54**
Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber 41
Sendeleistung **54**
SI-Einheiten **55**
Sievert **55**
Signaltransduktion **55**
Solares UV-Monitoring 42
Solarien 44
Spezifische Absorptionsrate (SAR) 42, **55**
stochastisch **55**
Störstrahler 27
Strahlenbelastung **55**
Strahlenexposition
 äußere - siehe externe 13
 berufliche 29–30
 externe 10, 12–13
 im Freien - siehe externe
 in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 17, 24
 in der Umgebung von Kernkraftwerken 19
 innere 10, 13
 kosmische 10, 29
 medizinische 33, 39
 natürliche 10, 13–14, 32
 obere Werte 17
 terrestrische 10
 zivilisatorische 15, 29
Strahlenexposition (Begriff) **55**
Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) 5
Strahlenschutzkommission (SSK) 6, 41, **47**
Strahlenschutzregister 5, 33
Strahlenschutzverordnung 2001 13, 17, 26–27, 32
Stromnetzausbau 39–40

T
Teletherapie **55**
Terrestrische Strahlung 10
terrestrische Strahlung 11, **55**
Thorium-232 10
Thorium-Zerfallreihe 11
Thüringen 10–11
Transportbehälterlager 21
Transportbehälterlager (TBL) **47**
Trinkwasser 13
Tritium 16–18, **55**
Tschernobyl 28

U

Umweltforschungsplan (UFOPLAN) 47

Umweltradioaktivität 24

Umweltzeichen „Blauer Engel“ 41

UNSCEAR 13–14, 47

Uran-235 10

Uran-238 10

Uranbergbau 11

Uran-Radium-Zerfallsreihe 11, 24, 26

UV-Index (UVI) 47

UV-Schutz-Verordnung (UVSV) 44

UV-Strahlung 47, 55

W

Wasserwerke 32

WBA 48

Wirbelstrom 55

Wismut GmbH 24, 33

Z

Zentralstelle des Bundes (ZdB) 5

Zwischenlager 21